การพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติโดยใช้มาตรฐาน Zigbee

นายอมรพงศ์ โกฏวิเชียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

DEVELOPMENT OF REMOTE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR HOME AUTOMATION USING ZIGBEE STANDARD

Mr. Amornpong Kodwichean

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติโดยใช้มาตรฐาน Zigbee
โดย	นายอมรพงศ์ โกฏวิเชียร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์)

อมรพงศ์ โกฏวิเชียร : การพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติโดยใช้มาตรฐาน Zigbee. (DEVELOPMENT OF REMOTE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR HOME AUTOMATION USING ZIGBEE STANDARD) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. วันเฉลิม โปรา, 189 หน้า.

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมเพื่อใช้สำหรับทำการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้ารวมถึงตรวจวัดสถานะต่างๆภายในบ้าน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเกทเวย์, แผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อยและรีโมท ระบบออกแบบให้ติดตั้งแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยภายในแต่ละห้องเพื่อทำการตรวจวัดสถานะและควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยแผงปลั๊กมีปลั๊กเสียบและส่วนที่ต่อกับหลอดไฟ มีจอแอลซีดีสำหรับแสดงค่าสถานะต่างๆภายในห้อง โดยตัวมันเองสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ และรับค่าจากส่วนตรวจวัดย่อย ซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่ แบบแรกทำการวัดอุณหภูมิ, ความชื้น และความสว่าง และแบบที่ 2 ใช้สวิทช์ในการจำลองการทำงานของตัวรับรู้ในการตรวจสอบการเปิด-ปิดประตู, ตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าสถานะต่างๆของห้องจะถูกส่งมาแสดงยังส่วนกลางที่เกทเวย์ โดยผู้อาศัยในบ้านสามารถติดต่อกับระบบด้วยรีโมทควบคุม หรือผ่านเว็บเพจหากอยู่นอกบ้าน เครือข่ายภายในบ้านจะติดต่อสื่อสารผ่านสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิทซ์ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ซึ่งแผงปลั๊กสามารถส่งผ่านข้อมูลเป็นทอดๆได้ในกรณีที่ไม่สามารถติดต่อกับเกทเวย์ได้โดยตรง ทำให้ขยายระยะทำการของระบบได้ เครือข่าย Zigbee ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 เป็นตัวประมวลผล และใช้มอดูล MRF24J40MB ในการติดต่อสื่อสาร สำหรับการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F86J65 ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยเก็บไฟล์เว็บเพจไว้ในหน่วยความจำแบบ EEPROM ภายนอก

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5170515921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: HOME AUTOMATION / ZIGBEE

AMORNPONG KODWICHEAN : DEVELOPMENT OF REMOTE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR HOME AUTOMATION USING ZIGBEE STANDARD. ADVISOR : ASST. PROF. WANCHALERM PORA, Ph.D., 189 pp.

This thesis presents development of a remote monitoring and control system which can turn on/off lights, electric appliances and monitor home's status. This system comprises a gateway, a few plug panels, monitor nodes and a remote control. In this thesis, each room is equipped with one plug panel and two monitor nodes. The plug panel has appliance power outlet, light connectors and an LCD panel to show electric consumption through itself and other room status from all monitor nodes. There are 2 types of the monitor node, the first one measures temperature, humidity and illumination and the second one imitates real operations of door-lock, smoke, methane and CO_2 sensor with DIP switches. All room status can be transferred to the center via the gateway which also acts as a web server. Hence users may communicate with the system by an in home remote control or by the web page where internet access is available. Data transmission in home network via 2.4 GHz radio frequency compiles with the Zigbee/IEEE 802.15.4 standard. The plug panel can forward room status data from the others to gateway in case of some plug panel location is beyond direct communication. This capability is useful for increase network coverage range. In the Zigbee network, applications and Zigbee stack are performed by the dsPIC33FJ256GP506 microcontroller and MRF24J40MB Zigbee modules are used for physical RF transmission. For communication through wired internet, PIC18F86J65 microcontroller is employed as the web server. The webpage image is kept in an external EEPROM.

Department Electrical Engneering Student's Signature.....

Field of Study Electrical Engineering Advisor's Signature.....

Academic Year 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ซึ่งได้ให้คำแนะนำ, ข้อคิดเห็นและให้การสนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ในระหว่างที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแห่งนี้

ขอขอบคุณ คุณสราวุธ เดชจรัสโยธิน, คุณกัมปนาท สุวรรณาวุธ รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและวงจรรวม ทั้งที่จบไปแล้วหรือศึกษาอยู่ทุกท่าน สำหรับสิ่งแวดล้อมที่ดี ไม่ว่าจะเป็นด้านวิชาการ หรือ การอยู่ร่วมกัน คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ที่ได้รับทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และที่สำคัญยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ที่ให้กำเนิด รวมถึงญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การเลี้ยงดู และสนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสที่ดีในชีวิต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย 3

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.6. ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย 5

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 6

2.1. ความหมายและเทคโนโลยีของบ้านอัตโนมัติ 6

2.2. งานวิจัยในขอบข่ายของบ้านอัตโนมัติ 11

2.2.1. กลุ่มงานวิจัยที่พัฒนาบนเทคโนโลยีเครือข่ายต่างๆ 11

2.2.2. กลุ่มงานวิจัยที่พัฒนาบนมาตรฐาน Zigbee 18

2.3. ระบบบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ 22

2.4. การวัดกำลังไฟฟ้า 1 เฟสแบบดิจิทัล 24

หน้า

2.5. มาตรฐาน IEEE 802.15.4 / Zigbee.....25
2.5.1. ประเภทของอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee.....26
2.5.2. รูปแบบโครงสร้างของเครือข่าย.....27
2.5.3. โครงสร้างของชุดโปรโทคอล.....29
2.5.4. การจัดการด้านความปลอดภัยของการรับส่งข้อมูลในเครือข่าย.....39
2.6. การติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....41
2.6.1. ชุดโปรโทคอล TCP/IP.....41
2.6.2. ซอฟต์แวร์ TCP/IP stack ที่ใช้ในระบบบ้านอัตโนมัติ.....44
บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์.....46
3.1. โครงสร้างภายในของส่วนต่างๆในระบบบ้านอัตโนมัติ.....48
3.1.1. เกทเวย์.....48
3.1.2. แผงปลั๊ก.....49
3.1.3. ส่วนตรวจวัดย่อย.....50
3.1.4. รีโมทควบคุม.....50
3.2. รายละเอียดของอุปกรณ์และวงจรต่างๆ.....51
3.2.1. หน่วยประมวลผลกลางในเครือข่าย Zigbee.....51
3.2.2. หน่วยประมวลผลกลางของเว็บเซิร์ฟเวอร์.....54
3.2.3. มอดูล Zigbee.....57
3.2.4. หน่วยความจำ EEPROM.....58
3.2.5. ส่วนการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก.....58

หน้า

3.2.6. ส่วนควบคุมการเปิด/ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าในแผงปลั๊ก 60
3.2.7. ส่วนตรวจจับคนในแผงปลั๊ก.....61
3.2.8. ตัวรับรู้ต่างๆในส่วนตรวจวัดย่อย 62
3.2.9. ส่วนแสดงผล.....64
3.2.10. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง.....65
3.3. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น.....66
บทที่ 4 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์.....71
4.1. การทำงานของระบบบ้านอัตโนมัติ 71
4.1.1.การเข้าร่วมเครือข่ายและการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อย .71
4.1.2. การร้องขอข้อมูล.....72
4.1.3. การส่งคำสั่ง 73
4.1.4. การอัพเดทข้อมูลสถานะห้อง 74
4.1.5. การเปลี่ยนโหมดการทำงานของเกทเวย์.....75
4.2. รายละเอียดการทำงานของเครือข่ายภายในบ้าน 75
4.2.1. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเกทเวย์ 76
4.2.1.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอล Zigbee ของเกทเวย์.....77
4.2.1.2. การทำงานของเกทเวย์ในระบบบ้านอัตโนมัติ 79
4.2.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของแผงปลั๊ก 98
4.2.2.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอล Zigbee ของแผงปลั๊ก.....100
4.2.2.2. การทำงานของแผงปลั๊กในระบบบ้านอัตโนมัติ 101

หน้า

4.2.3. โปรแกรมควบคุมการทำงานของส่วนตรวจวัดย่อย 112
4.2.3.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอล Zigbee ของส่วนตรวจวัดย่อย113
4.2.3.2. การทำงานของส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติ 114
4.2.4. โปรแกรมควบคุมการทำงานของรีโมทควบคุม 118
4.2.4.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอล Zigbee ของรีโมทควบคุม 120
4.2.4.2. การทำงานของรีโมทควบคุมในระบบบ้านอัตโนมัติ 120
4.3. รายละเอียดการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....129
4.3.1. โปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเกทเวย์ 130
4.3.2. เว็บเพจ..... 131
4.3.3. การทำงานส่วนมอดูล Ethernet 134
4.3.4. การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์กับ Zigbee Coordinator ในเกทเวย์...136
บทที่ 5 ผลการทดสอบการทำงาน.....145
5.1. การทดสอบด้านเครือข่ายและคุณภาพการสื่อสารของเครือข่าย Zigbee 146
5.1.1. การทดสอบการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อย 147
5.1.2. การทดสอบระยะทำงานของเครือข่าย Zigbee 148
5.1.3. การรับส่งข้อมูลเมื่ออุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายด้วยรูปแบบต่างๆ 151
5.2. การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ของเครือข่ายภายในบ้าน.....152
5.2.1. ความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก.....152
5.2.2. ทดสอบการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยของแผงปลั๊ก 157
5.2.3. ทดสอบการทำงานของรีโมทควบคุม.....158

หน้า

5.3. การทดสอบการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 163

5.3.1. ทดสอบการแสดงสถานะและการควบคุมผ่านเว็บบราวเซอร์.....163

5.3.2. การตั้งชื่อห้องผ่านเว็บบราวเซอร์.....167

5.3.3. ทดสอบการส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์เมื่อเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท170

บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 171

6.1. ข้อสรุป.....171

6.2. ข้อเสนอแนะ 172

รายการอ้างอิง..... 174

ภาคผนวก 177

ภาคผนวก ก แผนภาพ Schematic วงจรของอุปกรณ์ในงานวิจัย.....178

ภาคผนวก ข จดหมายตอบรับเข้าร่วมประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 186

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....189

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ประเภทของอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.15.4.....26

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 39

ตารางที่ 2-3 โหมดความปลอดภัยของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 40

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลของแผงปลั๊กในเกทเวย์ 86

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลของส่วนตรวจวัดย่อยในเกทเวย์ 86

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลของรีโมทควบคุมในเกทเวย์ 87

ตารางที่ 4-4 การส่งคำสั่งในเกทเวย์ 87

ตารางที่ 4-5 ส่วนตรวจวัดย่อยที่เป็นโหนดลูกของแผงปลั๊ก 104

ตารางที่ 5-1 หมายเลขต่างๆและรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 146

ตารางที่ 5-2 คุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ระยะต่างๆของมอดูล MRF24J40MB 149

ตารางที่ 5-3 คุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ระยะต่างๆระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับอุปกรณ์ที่ใช้มอดูลMRF24J40MA.....150

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างบ้านอัตโนมัติ....6
ภาพที่ 2-2 แนวคิดของระบบบ้านอัตโนมัติ....7
ภาพที่ 2-3 ประเภทของเครือข่ายสื่อสารต่างๆที่สัมพันธ์กับเครือข่ายภายในและภายนอกของบ้านอัตโนมัติ....8
ภาพที่ 2-4 เครือข่ายของกลุ่มสายส่งกำลัง....9
ภาพที่ 2-5 เครือข่ายของกลุ่มใช้สาย....10
ภาพที่ 2-6 เครือข่ายของกลุ่มไร้สาย....11
ภาพที่ 2-7 ระบบควบคุมระยะไกลด้วยเครือข่ายโทรศัพท์....12
ภาพที่ 2-8 ระบบควบคุมด้วยท่าทางของมือ....13
ภาพที่ 2-9 ระบบควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี GPRS....13
ภาพที่ 2-10 ระบบตรวจวัดระยะไกลด้วยเทคโนโลยี Bluetooth....14
ภาพที่ 2-11 เครือข่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสายส่งกำลัง....15
ภาพที่ 2-12 ระบบอ่านข้อมูลภายในบ้านด้วยเทคโนโลยี RFID....16
ภาพที่ 2-13 ระบบควบคุมระยะไกลด้วยเทคโนโลยี USB....17
ภาพที่ 2-14 ระบบควบคุมแสงสว่างด้วยเครือข่ายแลนไร้สาย....17
ภาพที่ 2-15 รีโมทเอนกประสงค์บนพื้นฐานเทคโนโลยี Zigbee....19
ภาพที่ 2-16 ระบบตัวล็อคประตูแบบฉลาด....20
ภาพที่ 2-17 ระบบควบคุมความสว่างภายในบ้าน....20
ภาพที่ 2-18 ระบบควบคุมความร้อนภายในบ้าน....21

หน้า

ภาพที่ 2-19 ระบบเฝ้าระวังสุขภาพภายในบ้าน 22

ภาพที่ 2-20 ระบบบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ 23

ภาพที่ 2-21 การส่งผ่านข้อมูลระหว่างแผงปลั๊กช่วยให้สามารถส่งผ่านข้อมูลในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางและเพิ่มระยะของเครือข่าย 24

ภาพที่ 2-22 ความสัมพันธ์ของประเภทอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee กับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 26

ภาพที่ 2-23 เครือข่ายแบบดาว 28

ภาพที่ 2-24 เครือข่ายแบบกลุ่มโครงสร้างต้นไม้ 28

ภาพที่ 2-25 เครือข่ายแบบตาข่าย 29

ภาพที่ 2-26 เครือข่ายภายในและภายนอกของบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ 29

ภาพที่ 2-27 โครงสร้างของชุดโปรโทคอล Zigbee 30

ภาพที่ 2-28 โครงสร้างของชั้นประยุกต์ 31

ภาพที่ 2-29 Application Profile ภายในโครงสร้างงานประยุกต์ 32

ภาพที่ 2-30 เปรียบเทียบ ZDP ภายในส่วน ZDO กับ Application Profile ในโครงสร้างงานประยุกต์ 33

ภาพที่ 2-31 โครงสร้างของชั้นสนับสนุนย่อย 33

ภาพที่ 2-32 โครงสร้างของชั้นเครือข่าย 34

ภาพที่ 2-33 แพคเก็ตที่อยู่แบบ MAC และแพคเก็ตที่อยู่แบบสั้น 35

ภาพที่ 2-34 ระดับความลึกของเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณการจ่ายเลขที่อยู่ 36

ภาพที่ 2-35 ตัวอย่างการจ่ายเลขที่อยู่ 37

หน้า

ภาพที่ 2-36 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 38

ภาพที่ 2-37 ชุดโปรโทคอล TCP/IP เปรียบเทียบกับแบบอ้างอิง OSI 41

ภาพที่ 2-38 TCP/IP stack ของบริษัท Microchip 45

ภาพที่ 3-1 ฮาร์ดแวร์ของระบบบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น 46

ภาพที่ 3-2 โหมดการทำงาน (ก) โหมดรีโมท (ข) โหมดเกทเวย์ 47

ภาพที่ 3-3 โครงสร้างภายในของเกทเวย์ 48

ภาพที่ 3-4 โครงสร้างภายในของแผงปลั๊ก 49

ภาพที่ 3-5 โครงสร้างภายในของส่วนตรวจวัดย่อย 50

ภาพที่ 3-6 โครงสร้างภายในของรีโมทควบคุม 50

ภาพที่ 3-7 โครงสร้างภายในของ dsPIC33FJ256GP506 51

ภาพที่ 3-8 โครงสร้างภายในของ PIC18F86J65 55

ภาพที่ 3-9 มอดูล Ethernet ภายในของ PIC18F86J65 56

ภาพที่ 3-10 มอดูล MRF24J40MB 57

ภาพที่ 3-11 โครงสร้างภายในของมอดูล MRF24J40MB 57

ภาพที่ 3-12 การติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM 58

ภาพที่ 3-13 หม้อแปลงกระแส 58

ภาพที่ 3-14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงและแรงดันออฟเซต 59

ภาพที่ 3-15 วงจรปรับระดับสัญญาณ 60

ภาพที่ 3-16 วงจรขับรีเลย์ 60

ภาพที่ 3-17 รีเลย์ HRS4 61

หน้า

ภาพที่ 3-18 ตัวรับรู้แบบ PIR สำหรับตรวจจับความเคลื่อนไหว 61

ภาพที่ 3-19 (ก) ชิป SHT11 (ข) การติดต่อกับชิป SHT11 62

ภาพที่ 3-20 ชิป EL7900 63

ภาพที่ 3-21 การติดต่อกับชิป EL7900 63

ภาพที่ 3-22 จอแอลซีดีขนาด 16x4 ของแผงปลั๊ก 64

ภาพที่ 3-23 จอแอลซีดีขนาด 16x2 ของเกทเวย์ 64

ภาพที่ 3-24 จอแอลซีดี NOKIA 5110 ของรีโมทควบคุม 65

ภาพที่ 3-25 สวิทชิ่งอะแดปเตอร์ ขนาดแรงดันไฟตรง 5 โวลต์ 1.2แอมป์ 66

ภาพที่ 3-26 อะแดปเตอร์ ขนาดแรงดันไฟตรง 10 โวลต์ 850 มิลลิแอมป์.....66

ภาพที่ 3-27 ฮาร์ดแวร์ส่วนเกทเวย์ 67

ภาพที่ 3-28 ฮาร์ดแวร์ส่วนแผงปลั๊ก (ก) – (ค) 68

ภาพที่ 3-29 ฮาร์ดแวร์ส่วนตรวจวัดย่อย (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 69

ภาพที่ 3-30 ฮาร์ดแวร์ส่วนรีโมทควบคุม 70

ภาพที่ 4-1 การจับคู่กันระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยในแต่ละห้องเพื่อให้ส่งข้อมูลกลับมาได้อย่างถูกต้อง 72

ภาพที่ 4-2 รอบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ.....73

ภาพที่ 4-3 คำสั่งสามารถใช้รีโมทหรือสั่งทางเว็บบราวเซอร์ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของเกทเวย์.....74

ภาพที่ 4-4 เมื่อได้รับข้อมูลสถานะห้องจากแผงปลั๊กทั้งหมดแล้วก็จะทำการอัพเดทไปยังรีโมทหรือเว็บเพจขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน 74

หน้า

ภาพที่ 4-5 โหมดการทำงานของเกทเวย์ขึ้นกับสถานะของรีโมท ถ้ารีโมทอยู่ในสถานะทำงาน เกทเวย์จะทำงานในโหมดรีโมท หากรีโมทหลับ เกทเวย์จะทำงานในโหมดเว็บ 75

ภาพที่ 4-6 Application Profile ของส่วนต่างๆในเครือข่าย (ก) เกทเวย์ (ข) แผงปลั๊ก (ค) ส่วนตรวจวัดย่อย (ง) รีโมทควบคุม 76

ภาพที่ 4-7 โครงสร้างโปรแกรมของเกทเวย์ 77

ภาพที่ 4-8 (ก) แผนผังการทำงานของเกทเวย์ และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน 78

ภาพที่ 4-9 แผนผังการการทำงานส่วนโปรโทคอล Zigbee Coordinator.....79

ภาพที่ 4-10 แผนผังการทำงานของเกทเวย์ในระบบบ้านอัตโนมัติ 80

ภาพที่ 4-11 แผนผังการทำงานส่วน FSM ของเกทเวย์ เมื่อมีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว 80

ภาพที่ 4-12 แผนผังการทำงานในสถานะนิ่งเฉยของเกทเวย์ 81

ภาพที่ 4-13 แผนผังการทำงานในสถานะร้องขอข้อมูลของเกทเวย์ 82

ภาพที่ 4-14 แผนผังการทำงานในสถานะส่งคำสั่งของเกทเวย์.....83

ภาพที่ 4-15 แผนผังการทำงานในสถานะอัพเดทข้อมูลของเกทเวย์.....84

ภาพที่ 4-16 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของเกทเวย์.....85

ภาพที่ 4-17 แพคเก็ตการลงทะเบียนของแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย 88

ภาพที่ 4-18 แพคเก็ตการลงทะเบียนของรีโมทควบคุม 89

ภาพที่ 4-19 การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อยเมื่อมีการลงทะเบียนของแผงปลั๊ก ..89

ภาพที่ 4-20 การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อยเมื่อมีการลงทะเบียนของส่วนตรวจวัดย่อย 90

หน้า

ภาพที่ 4-21 ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลสถานะห้องโดยการพิจารณาว่ามีแผงปลั๊กใดเข้าร่วมเครือข่ายและแผงปลั๊กใดส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หากยังไม่ส่งก็จะทำการร้องขอ.....91

ภาพที่ 4-22 การร้องขอข้อมูลสถานะห้อง หากยังไม่ได้รับจะทำการร้องขอใหม่อีกครั้งเมื่อครบ 5 วินาที หากยังไม่ได้รับก็จะข้ามไปร้องขอที่แผงปลั๊กถัดไป.....91

ภาพที่ 4-23 แพคเก็ตข้อมูลสถานะห้องที่แผงปลั๊กส่งมายังเกทเวย์ 92

ภาพที่ 4-24 แพคเก็ตคำสั่งจากรีโมทควบคุม.....92

ภาพที่ 4-25 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในเกทเวย์ 93

ภาพที่ 4-26 ขาที่ใช้ในการติดต่อเพื่อรับคำสั่งจากส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ไปยัง Zigbee coordinator ภายในเกทเวย์ 93

ภาพที่ 4-27 แพคเก็ตคำสั่งจากเว็บเซิร์ฟเวอร์.....94

ภาพที่ 4-28 ก่อนเกทเวย์จะส่งคำสั่งที่ได้จากรีโมทหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ จะต้องเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลแผงปลั๊กเพื่อตรวจสอบว่าแผงปลั๊กนั้นอยู่ในเครือข่ายหรือไม่.....94

ภาพที่ 4-29 แพคเก็ตคำสั่งที่ส่งไปยังแผงปลั๊ก.....95

ภาพที่ 4-30 แผนผังการส่งข้อมูลอัพเดทไปยังรีโมทควบคุม 96

ภาพที่ 4-31 แพคเก็ตข้อมูลที่ส่งไปอัพเดทที่รีโมทควบคุม 97

ภาพที่ 4-32 ขาที่ใช้ในการติดต่อเพื่ออัพเดทข้อมูลจากส่วน Zigbee coordinator ไปยังส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ภายในเกทเวย์.....97

ภาพที่ 4-33 แพคเก็ตข้อมูลอัพเดทที่ส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์.....98

ภาพที่ 4-34 โครงสร้างโปรแกรมของแผงปลั๊ก 98

ภาพที่ 4-35 (ก) แผนผังการทำงานของแผงปลั๊ก และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน 99

หน้า

ภาพที่ 4-36 (ก) แผนผังการการทำงานส่วน Zigbee router และ (ข) การเข้าร่วมเครือข่าย 100
ภาพที่ 4-37 แผนผังส่วนหน้าที่ของแผงปลั๊กในระบบบ้านอัตโนมัติ 101
ภาพที่ 4-38 (ก) การลงทะเบียนของแผงปลั๊ก และ (ข) กรณีที่ยังไม่ได้การตอบรับจากเกทเวย์ .103
ภาพที่ 4-39 (ก) การร้องขอข้อมูลของแผงปลั๊กจากส่วนตรวจวัดย่อย และ (ข) การร้องขอซ้ำ
กรณีที่ไม่ได้รับข้อมูลตามเวลาที่กำหนด 105
ภาพที่ 4-40 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของแผงปลั๊ก 106
ภาพที่ 4-41 การชักตัวอย่างและการแปลงสัญญาณของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อก
เป็นดิจิทัล 108
ภาพที่ 4-42 การดึงสัญญาณดิจิทัลที่ได้มาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของ DMA เพื่อนำไปคำนวณ
กำลังไฟฟ้า 109
ภาพที่ 4-43 แผนผังการคำนวณกำลังไฟฟ้า 110
ภาพที่ 4-44 แผนผังการทำงานแบบ FSM เมื่อแผงปลั๊กทำงานโนโหมดอัตโนมัติ 111
ภาพที่ 4-45 โครงสร้างโปรแกรมของส่วนตรวจวัดย่อย 112
ภาพที่ 4-46 (ก) แผนผังการทำงานของส่วนตรวจวัดย่อย และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน 113
ภาพที่ 4-47 (ก) แผนผังการการทำงานส่วน Zigbee end device และ
(ข) การเข้าร่วมเครือข่าย 114
ภาพที่ 4-48 แผนผังส่วนหน้าที่ของส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติ 115
ภาพที่ 4-49 การลงทะเบียนของส่วนตรวจวัดย่อย 116
ภาพที่ 4-50 สถานะที่วัดได้จากส่วนตรวจวัดย่อยถูกส่งไปยังแผงปลั๊ก 116
ภาพที่ 4-51 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของส่วนตรวจวัดย่อย 118

หน้า

ภาพที่ 4-52 โครงสร้างโปรแกรมของรีโมทควบคุม 119

ภาพที่ 4-53 (ก) แผนผังการทำงานของรีโมทควบคุม และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน 120

ภาพที่ 4-54 แผนผังส่วนหน้าที่ของรีโมทควบคุมในระบบบ้านอัตโนมัติ.....121

ภาพที่ 4-55 การลงทะเบียนของรีโมทควบคุม 122

ภาพที่ 4-56 (ก) การส่งสถานะการหลับ และตื่น (ข) ของรีโมทควบคุมไปยังเกทเวย์
(ค) รีโมทควบคุมจะส่งสถานะการหลับหรือตื่นซ้ำทุกๆ 10 วินาทีหาก
ไม่ได้รับการตอบรับจากเกทเวย์ 124

ภาพที่ 4-57 การอัพเดทสถานะห้องล่าสุดไปยังรีโมทควบคุม โดยจำนวนแพคเก็ตที่ส่งขึ้น
กับจำนวนแผงปลั๊กที่ลงทะเบียน.....125

ภาพที่ 4-58 การส่งคำสั่งจากรีโมทควบคุม 125

ภาพที่ 4-59 แผนผัง FSM การทำงานของปุ่มกด 127

ภาพที่ 4-60 หน้าแสดงผลและเงื่อนไขการเปลี่ยนการแสดงผลของรีโมทควบคุม.....128

ภาพที่ 4-61 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของรีโมทควบคุม.....129

ภาพที่ 4-62 โครงสร้างโปรแกรมของเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเกทเวย์.....130

ภาพที่ 4-63 (ก) แผนผังการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน.....131

ภาพที่ 4-64 หน้าต่างๆของเว็บเพจ (ก) หน้าแสดงสถานะห้อง (ข) หน้าควบคุมการเปิด-ปิดไฟ
และอุปกรณ์ไฟฟ้า (ค) หน้าสำหรับตั้งชื่อห้องและโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก .133

ภาพที่ 4-65 ไฟล์ต่างๆที่เก็บในหน่วยความจำ EEPROM 133

ภาพที่ 4-66 การแปลงค่าตัวแปรในไฟล์ HTML ก่อนส่งให้เว็บบราวเซอร์ 134

ภาพที่ 4-67 แผนผังการรับคำสั่งจากเว็บบราวเซอร์ด้วย Method Post 136

หน้า

ภาพที่ 4-68 แผนผังการทำงานในส่วน Gateway Task ในการติดต่อกับส่วน Zigbee coordinator 137

ภาพที่ 4-69 แผนผัง FSM การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์กับ Zigbee coordinator (ก) สถานะ FSM ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ (ข) สถานะ FSM ฝั่ง Zigbee coordinator 138

ภาพที่ 4-70 (ก) ขั้นตอนการเตรียมรับแพคเก็ตอัพเดท (ข) ขั้นตอนการรับแพคเก็ตอัพเดท ผ่าน SPI (ค) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลอัพเดทห้องต่อไปหากยังอัพเดทไม่ครบ (ง) ขั้นตอนการสิ้นสุดการอัพเดท.....141

ภาพที่ 4-71 (ก) ขั้นตอนการเตรียมส่งแพคเก็ตคำสั่ง (ข) ขั้นตอนการส่งแพคเก็ตคำสั่ง ผ่าน SPI (ค) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลคำสั่งห้องต่อไปหากยังส่งคำสั่งไม่ครบ (ง) ขั้นตอนการสิ้นสุดการส่งคำสั่ง..... 144

ภาพที่ 5-1 ฮาร์ดแวร์ของระบบบ้านอัตโนมัติที่ใช้ในการทดสอบ 145

ภาพที่ 5-2 (ก) – (ค) ลำดับการเข้าร่วมเครือข่ายในการทดสอบ.....147

ภาพที่ 5-3 ตัวอย่างผลการทดสอบการจับคู่กันระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย ที่เกทเวย์ 148

ภาพที่ 5-4 ทดสอบระยะทำการของอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB 148

ภาพที่ 5-5 ทดสอบระยะทำการของอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับ MRF24J40MA .149

ภาพที่ 5-6 เปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB และอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับ MRF24J40MA 150

ภาพที่ 5-7 (ก) – (ง) รูปแบบเครือข่ายในการทดสอบการส่งผ่านข้อมูลของ router.....152

ภาพที่ 5-8 ระบบทดสอบความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก 153

หน้า

ภาพที่ 5-9 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0 องศา.....154
ภาพที่ 5-10 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง 30 องศา.....154
ภาพที่ 5-11 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง 60 องศา.....155
ภาพที่ 5-12 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า 30 องศา.....155
ภาพที่ 5-13 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า 60 องศา.....156
ภาพที่ 5-14 เปรียบเทียบความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ตัวประกอบกำลังต่างๆ.....156
ภาพที่ 5-15 ทดสอบการร้องขอข้อมูลของแผงปลั๊กจากส่วนตรวจวัดย่อย.....157
ภาพที่ 5-16 ตัวอย่างผลการทดสอบการแสดงผลสถานะห้องที่แผงปลั๊ก (ก) การแสดงผลที่จอแอลซีดีแบบแรก (ข) การแสดงผลที่จอแอลซีดีแบบที่สอง (ค) สวิทช์เลือกการแสดงผลจอแอลซีดี 158
ภาพที่ 5-17 ทดสอบการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กที่รีโมท (ก) หน้าแรกใช้เลือกการทำงาน (ข) กรณียังไม่ได้รับการอัพเดทจากเกทเวย์ (ค) เมื่อได้รับการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กแล้ว.....159
ภาพที่ 5-18 ทดสอบการดูค่าสถานะของห้องที่รีโมท (ก) ค่าสถานะห้องหน้าแรก (ข) ค่าสถานะห้องหน้าที่สอง 160
ภาพที่ 5-19 ปุ่มควบคุมที่รีโมท 160

หน้า

ภาพที่ 5-20 ทดสอบการควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่รีโมท (ก) หน้าสถานะการเปิด-ปิด (ข) เลือกควบคุมการเปิด-ปิด (ค) หน้าจอยืนยันคำสั่ง (ง) รีเลย์ที่แผงปลั๊กทำงานตามคำสั่งจากรีโมทควบคุม 162

ภาพที่ 5-21 คำสั่งปิดไฟทั้งหมดและคำสั่งเลือกโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก.....162

ภาพที่ 5-22 การเชื่อมต่อเกทเวย์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายแลนและ UART.....163

ภาพที่ 5-23 ทดสอบการส่งคำสั่ง Ping ไปยังเกทเวย์ 163

ภาพที่ 5-24 ทดสอบการอัพเดทสถานะการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊ก (ก) หน้าเว็บเพจเมื่อยังไม่มีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่าย (ข) หน้าเว็บเพจเมื่อมีการอัพเดทสถานะการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กเรียบร้อยแล้ว.....164

ภาพที่ 5-25 ทดสอบการแสดงสถานะห้องผ่านหน้าเว็บเพจ (ก) สถานะต่างๆ ภายในห้อง (ข) สถานะการเปิด-ปิดไฟและปลั๊กแต่ละห้อง.....166

ภาพที่ 5-26 ทดสอบการส่งคำสั่ง (ก) เลือกเปิด-ปิดไฟหรือปลั๊กผ่านทางเว็บบราวเซอร์ (ข) ผลการส่งคำสั่งที่แผงปลั๊ก.....167

ภาพที่ 5-27 ทดสอบการตั้งชื่อห้อง (ก) เลือกชื่อห้องในหัวข้อ Set Name (ข) ทำการบันทึกชื่อที่เลือก(ค) ชื่อห้องในแต่ละหน้าของเว็บเพจเปลี่ยนไปตามชื่อที่เลือกไว้ 169

ภาพที่ 5-28 ทดสอบการอัพเดทชื่อห้องไปยังรีโมท (ก) หน้าเว็บเพจเมื่อมีรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายและอยู่ในสถานะตื่น (ข) เมื่อเกทเวย์อัพเดทค่าสถานะไปยังรีโมทพบว่าชื่อห้องเปลี่ยนไปตามที่เลือกไว้ 170

ภาพที่ 5-29 คำสั่งที่ถูกส่งผ่านเว็บบราวเซอร์ไม่ทำงานเมื่อเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท.....170

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายมีการพัฒนาให้มีความสามารถสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในด้านความเร็วในการส่งข้อมูล ความง่ายในการติดตั้ง อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง รวมทั้งการใช้พลังงานที่น้อยลง จึงมีการวิจัยเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานภายในบ้าน ซึ่งเรียกว่าระบบบ้านอัตโนมัติ (Home Automation) เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัยในด้านต่างๆ แต่ในปัจจุบันในประเทศไทยนั้นมีการนำระบบนี้มาใช้จริงค่อนข้างน้อย เนื่องจากติดปัญหาหลายประการ เช่น อุปกรณ์มีราคาแพง ความยุ่งยากในการติดตั้ง รวมถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง และอาจมีการทำงานที่เกินความจำเป็น เช่น ทางด้านความบันเทิงต่างๆ สำหรับผู้ที่มีงบน้อยแล้ว ระบบดังกล่าวจึงไม่มีความน่าสนใจ

ภายในที่อยู่อาศัยทั่วไปนั้นอย่างน้อยต้องมีหลอดไฟให้ความสว่างและปลั๊กสำหรับเสียบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งหากสามารถทำการควบคุมระยะไกลได้ ย่อมมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ผู้อยู่อาศัยไม่จำเป็นต้องเดินไปทำการเปิด-ปิดอุปกรณ์โดยตรงทำให้ลดความเหนื่อยล้าในกรณีที่อุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ไกลหรืออยู่คนละชั้นของบ้าน ซึ่งการเดินขึ้นลงบันไดบ่อยๆอาจไม่สะดวกนักและอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุหรือความเสื่อมทางร่างกายต่างๆ โดยเฉพาะผู้สูงอายุซึ่งมักมีปัญหาเกี่ยวกับข้อต่อหรือกระดูก ส่วนการรับรู้ถึงสถานะต่างๆภายในบ้านจากส่วนกลางนั้น ย่อมช่วยในการลดภาระในการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นเปิดหรือปิดอยู่ในทำนองเดียวกับการควบคุม คือไม่จำเป็นต้องไปถึงตัวอุปกรณ์ ช่วยลดปัญหาการหลงลืมซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตราย หรือการสิ้นเปลืองพลังงาน รวมถึงสามารถนำค่าสถานะต่างๆที่ตรวจวัดได้มาวิเคราะห์เพื่อวางแผน ตัวอย่างเช่น พิจารณาว่าในห้องที่เก็บอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือกล้องดิจิทัล มีอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งหากไม่เหมาะสมแล้วจะส่งผลเสียต่ออุปกรณ์ดังกล่าว เช่น เกิดการลัดวงจร หรือเกิดเชื้อราบนเลนส์กล้อง หรือในด้านการใช้พลังงาน หากพบว่าบริเวณไหนมีการใช้พลังงานมาก ก็ไม่ควรนำอุปกรณ์ไฟฟ้าไปต่อเพิ่ม หรือบริเวณไหนมีการใช้พลังงานมากผิดปกติ อาจวิเคราะห์ได้ว่า เกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากการควบคุมและตรวจวัดที่ผู้อาศัยเป็นผู้สั่งงานแล้ว หากสามารถทำงานได้อัตโนมัติ

ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้สำหรับทำการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ก็จะช่วยเพิ่มความสะดวกสบายได้อีกด้วย

สำหรับเทคโนโลยีเครือข่ายที่นำมาใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารนั้น สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือแบบที่ใช้สายและแบบไร้สาย ในปัจจุบันนิยมใช้แบบไร้สายในการสร้างเครือข่ายภายในบ้านเนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าแบบที่ใช้สายหลายอย่าง เช่น ลดความยุ่งยากจากการเดินสาย ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย เพิ่มทัศนวิสัย เป็นต้น เทคโนโลยีไร้สายมีอยู่ด้วยกันหลายมาตรฐาน เช่น Wi-Fi, bluetooth, infrared และ zigbee[1] แต่ละมาตรฐานถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล, ระยะในการติดต่อสื่อสาร, การประหยัดพลังงาน, การรองรับจำนวนโหนดในเครือข่ายและค่าใช้จ่าย สำหรับ Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g) เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง มักใช้ในงานด้านความบันเทิง เช่น ส่งภาพ หรือวีดิโอไร้สาย ซึ่งหากนำมาใช้ควบคุมการเปิด-ปิดหรือส่งข้อมูลขนาดเล็กย่อมเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน เทคโนโลยี infrared ส่วนใหญ่ใช้ในการควบคุมด้วยรีโมท มีระยะการทำงานใกล้ และต้องไม่มีสิ่งกีดขวางสัญญาณ ส่วนเทคโนโลยี bluetooth ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีจำนวนโหนดในเครือข่ายได้น้อย มักใช้กับพวกอุปกรณ์พกพามากกว่า สำหรับมาตรฐาน zigbee นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้พลังงานและอัตราการส่งข้อมูลต่ำ, รองรับจำนวนโหนดได้มาก[2] เหมาะกับเครือข่ายภายในบ้านที่ข้อมูลมีขนาดเล็กและไม่ต้องการอัตรารับส่งข้อมูลสูง

นอกจากระบบเครือข่ายภายในบ้านแล้ว ความสามารถในการควบคุมจากภายนอกก็เป็นอีกส่วนสำคัญในระบบควบคุม การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตส่งผลให้อินเทอร์เน็ตเป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ และมีความเร็วมากขึ้นเรื่อยๆ การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้นั้นย่อมหมายถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารได้จากทุกที่ในโลก ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะใช้อินเทอร์เน็ตมาเชื่อมต่อกับเครือข่าย zigbee ภายในบ้านเพื่อให้สามารถควบคุมอุปกรณ์หรือตรวจสอบสถานะต่างๆ ในกรณีที่ผู้อาศัยไม่ได้อยู่ที่บ้าน

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบระบบบ้านอัตโนมัติเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า, วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง, ตรวจจับคน รวมถึงจำลองการตรวจจับการเปิด-ปิดประตู, ตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณต่างๆ ของบ้าน โดยใช้เครือข่าย zigbee ระบบสามารถควบคุมด้วยรีโมทเมื่อผู้อยู่อาศัยอยู่ภายในบ้านและติดต่อผ่านเว็บเพจเมื่อผู้อาศัยอยู่นอกบ้าน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาเครือข่ายสื่อสาร ตามมาตรฐาน zigbee (IEEE 802.15.4) สำหรับสร้างเครือข่ายภายในบ้าน โดยระบบที่ออกแบบขึ้นมีราคาถูก รองรับการใช้งานตามที่อยู่อาศัยทั่วไปและมีขนาดเล็ก
2. พัฒนาการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายภายในบ้านกับอินเทอร์เน็ตโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นเกทเวย์ ซึ่งช่วยในการประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้คอมพิวเตอร์
3. พัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเทคโนโลยีเว็บเพจและรีโมท

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ระบบเครือข่ายควบคุมและตรวจวัดระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติมีรายละเอียด ดังนี้

1. ออกแบบระบบบ้านอัตโนมัติโดยอุปกรณ์ในเครือข่ายสื่อสารด้วยโปรโทคอล zigbee สามารถควบคุมที่อุปกรณ์โดยตรง รวมถึงส่งข้อมูลมายังส่วนกลางได้
2. ระบบประกอบด้วยเกทเวย์ 1 ตัว แผงปลั๊ก 2 ตัว ส่วนตรวจวัด 4 ตัว และรีโมท 1 ตัว
3. ระยะห่างสูงสุดระหว่างอุปกรณ์คือ 30 เมตร
4. ระบบสามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความสว่าง และตรวจจับคน ควบคุมการเปิด-ปิดไฟและปลั๊กเสียบได้
5. สามารถควบคุมผ่านรีโมทควบคุมได้
6. สามารถติดต่อผ่านอินเทอร์เน็ตได้ผ่านทางโปรโทคอล TCP/IP
7. ติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางเว็บเพจได้
8. รองรับแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยเพิ่มเติมได้

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยของบ้านอัตโนมัติที่ผ่านมา
2. ศึกษามาตรฐาน IEEE 802.15.4 และการใช้งานซอฟต์แวร์ zigbee stack ของบริษัท Microchip
3. ออกแบบฮาร์ดแวร์ของโหนดในเครือข่าย zigbee และทดสอบการรับส่งข้อมูล

4. ศึกษาการรับส่งข้อมูลผ่านเว็บและการใช้งานซอฟต์แวร์ TCP/IP stack ของบริษัท Microchip
5. ศึกษาการเขียนเว็บเพจด้วยภาษา HTML รวมถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น Java script, CSS และ CGI
6. ออกแบบฮาร์ดแวร์ส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์, ส่วนติดต่อกับผู้ใช้และทดสอบการทำงาน
7. ออกแบบฮาร์ดแวร์ส่วนตรวจวัดย่อย และรีโมท รวมถึงออกแบบส่วนเมนูของรีโมท
8. ศึกษาการวัดกำลังไฟฟ้า การใช้งานมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลร่วมกับมอดูล DMA และการคำนวณกำลังไฟฟ้าภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
9. ออกแบบฮาร์ดแวร์ส่วนแผงปลั๊กและเกทเวย์
10. ออกแบบการทำงานของระบบทั้งหมด และเขียนซอฟต์แวร์การทำงานแต่ละโหนด
11. ทดสอบการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในระบบ
12. รวบรวมผลการทดลอง, สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบการตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ในที่อยู่อาศัย
2. ความรู้เกี่ยวกับการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4
3. ความรู้ในการทำงานของชุดโปรโตคอล TCP/IP ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
4. ความสามารถในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และทักษะในการใช้โปรแกรมในการสร้างบอร์ดวงจร
5. เพิ่มทักษะการเขียนโปรแกรมภาษาซี, ความเข้าใจในการทำงานของมอดูลต่างๆภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
6. เพิ่มทักษะในการออกแบบเว็บเพจด้วยภาษา HTML รวมถึงการใช้เทคนิค Javascript, CSS และ CGI ในการพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้
7. ความเข้าใจในการทำงานของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าเฟสเดียว และสามารถออกแบบการทำงานเบื้องต้นได้
8. ประสบการณ์ในการใช้งานตัวรับรู้ต่างๆ เป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

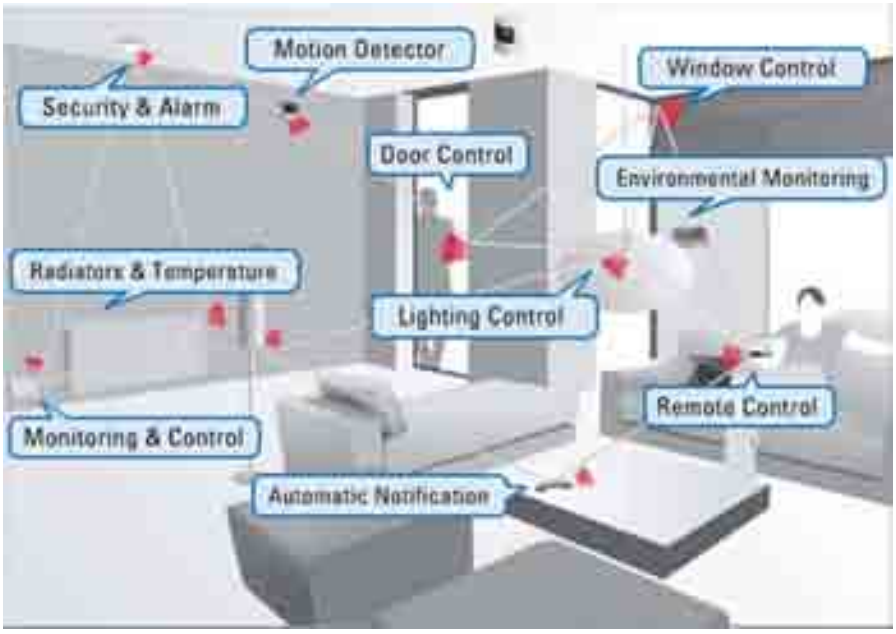
1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท บทแรกกล่าวถึงเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์และขอบเขตการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แนวคิดรวมถึงแนวทางการวิจัยของบ้านอัตโนมัติ, พื้นฐานเครือข่ายไร้สาย zigbee และโปรโทคอล TCP/IP เป็นต้น บทที่ 3 กล่าวถึงระบบที่ออกแบบขึ้นและรายละเอียดของฮาร์ดแวร์ต่างๆที่ใช้ บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดการทำงานซอฟต์แวร์ของโหนดต่างๆในระบบ บทที่ 5 เป็นผลการทดสอบการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น และบทที่ 6 เป็นการสรุปงานวิจัยรวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ความหมายและเทคโนโลยีของบ้านอัตโนมัติ

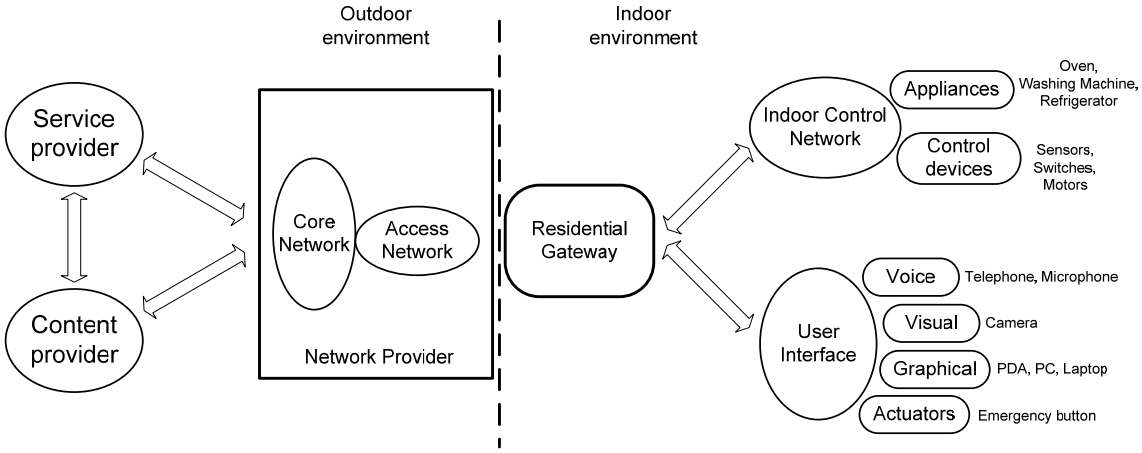


ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างบ้านอัตโนมัติ

บ้านอัตโนมัติเมื่ออธิบายในทางเทคโนโลยีแล้วหมายถึง บ้านที่ติดตั้งอุปกรณ์ซึ่งมีความสามารถที่จะโต้ตอบกับผู้ใช้เพื่อดูสถานะหรือควบคุม รวมถึงแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันเองเพื่อทำหน้าที่บางอย่าง หรือติดต่อกับเครือข่ายภายนอก[3] มีจุดประสงค์เพื่อยกระดับความเป็นอยู่ของผู้อาศัยโดยนำเทคโนโลยีการสื่อสารต่างๆ มาประยุกต์ใช้ภายในบ้าน เช่น การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าระยะไกล หรือทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลต่างๆภายในบ้านเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หรือตัดสินใจ โดยติดตั้งตัวรับรู้ต่างๆ แล้วส่งข้อมูลมาแสดงยังส่วนกลาง ไม่ว่าจะผ่านแผงควบคุมภายในบ้าน หรือส่งผ่านไปยังเครือข่ายภายนอก ในงานบางอย่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งนั้นสามารถทำงานโดยอัตโนมัติอีกด้วย

โดยทั่วไปสามารถแบ่งสภาพแวดล้อมของบ้านอัตโนมัติได้เป็น 2 ส่วน คือเครือข่ายภายในบ้านกับเครือข่ายภายนอก[3] เครือข่ายภายในบ้านแบ่งเป็นส่วนควบคุมและส่วนติดต่อผู้ใช้ ส่วนควบคุมนั้นจะติดต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เตาอบ, ตู้เย็น อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ เช่น สวิทช์, มอเตอร์ และตัวรับรู้ต่างๆ สำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้มีได้หลายแบบ เช่น ใช้เสียง, ภาพ หรือปุ่มควบคุม ในเครือข่ายภายในนั้นจะมีเกทเวย์ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างอุปกรณ์ในระบบและเป็นช่องทางสำหรับติดต่อกับเครือข่ายภายนอก

สำหรับเครือข่ายภายนอกประกอบด้วยส่วนเข้าถึงเครือข่ายและเครือข่ายหลัก ส่วนเข้าถึงเครือข่ายหมายถึงระบบที่รองรับการติดต่อกับเครือข่ายหลัก ผู้ใช้ติดต่อกับเครือข่ายหลักผ่านอุปกรณ์สื่อสาร เช่น เราท์เตอร์ หรือ มอดูล GSM โดยขอรับบริการจากผู้ให้บริการ การติดต่อเมื่อผู้ใช้อยู่นอกบ้านจะผ่านเครือข่ายหลักเช่น เครือข่ายโทรศัพท์หรืออินเทอร์เน็ต

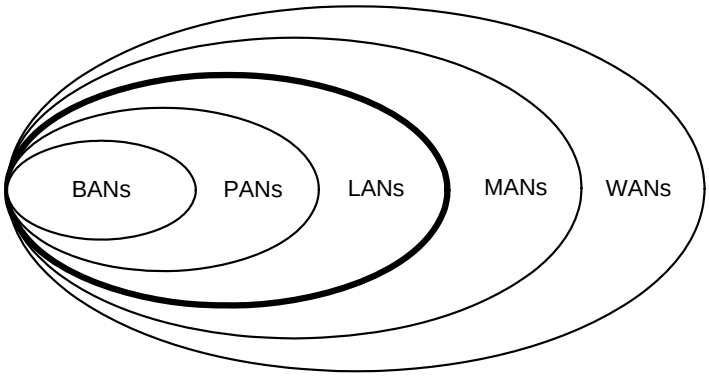


ภาพที่ 2-2 แนวคิดของระบบบ้านอัตโนมัติ

เทคโนโลยีเครือข่ายต่างๆที่สามารถนำมาใช้กับบ้านอัตโนมัติ แบ่งตามระยะการทำงานได้ดังนี้

- WAN (Wide Area Network) รองรับการติดต่อสื่อสารระหว่างพื้นที่ที่มีภูมิศาสตร์ต่างกันและอยู่ห่างกันมากๆ อาจใช้ดาวเทียมหรือเทคโนโลยีโทรศัพท์
- MAN (Metropolitan Area Network) รองรับการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มเครือข่าย LAN ในบริเวณพื้นที่เดียวกันเข้าด้วยกัน เช่น เครือข่ายภายในเมืองใหญ่

- LAN (Local Area Network) รองรับเครือข่ายเฉพาะกลุ่มที่มีขนาดเล็กๆ ระยะทำการไม่ไกลนัก โดยต้องรับผิดชอบและจัดการเกี่ยวกับเครือข่ายของตนเอง
- PAN (Personal Area Network) รองรับความต้องการของผู้ใช้กับอุปกรณ์ใกล้ตัว เช่น PDA, คอมพิวเตอร์, โทรศัพท์มือถือ ซึ่งมีระยะทำการใกล้หรืออยู่รอบตัวผู้ใช้
- BAN (Body Area Network) เป็นการพัฒนาต่อจาก PAN แต่เป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ที่เล็กลงกว่าเดิม โดยพื้นฐานแล้วเป็นอุปกรณ์ที่ติดอยู่บนร่างกาย



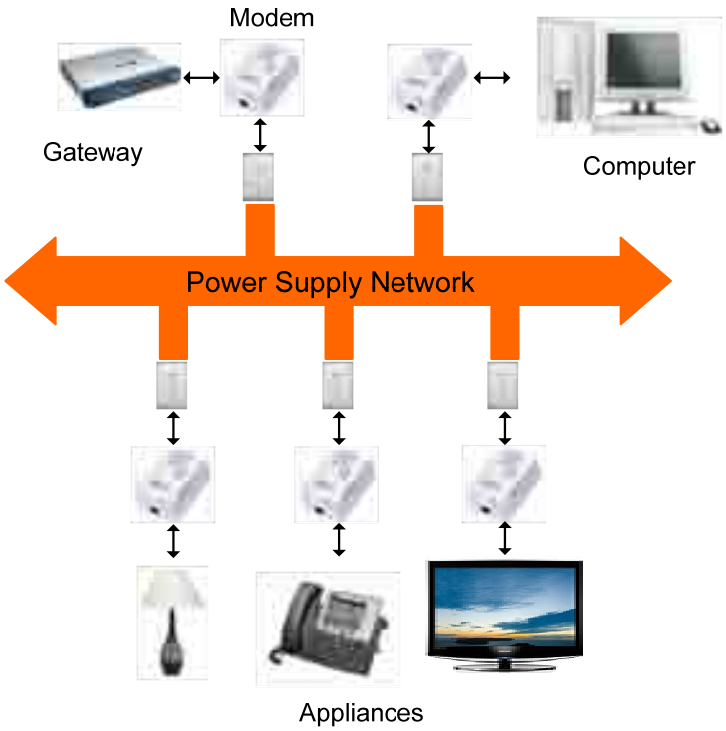
ภาพที่ 2-3 ประเภทของเครือข่ายสื่อสารต่างๆ ที่สัมพันธ์กับเครือข่ายภายในและภายนอกของบ้านอัตโนมัติ

เครือข่ายภายนอกของบ้านอัตโนมัตินั้นจะใช้ประเภทเครือข่ายแบบ WAN หรือ MAN ในเครือข่ายแบบ WAN นั้นมีเทคโนโลยี EDGE หรือ GPRS สามารถรับส่งข้อมูลในระยะทางได้ถึง 30 กิโลเมตรจากบ้านไปยังสถานีฐาน เครือข่ายแบบ MAN สามารถใช้เทคโนโลยี WIMAX ซึ่งมีระยะการรับส่งข้อมูลได้ไกลถึง 20 กิโลเมตร สำหรับเครือข่ายภายนอกที่นิยมคือเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งนับวันจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเลือกเชื่อมต่อกับเครือข่ายระยะไกลเหล่านี้จะขึ้นกับตำแหน่งที่ตั้งของบ้านว่ามีผู้ให้บริการรองรับหรือไม่

สภาพแวดล้อมภายในนั้นจะใช้ประเภทเครือข่ายแบบ LAN, PAN หรือ BAN แนวทางการพัฒนาของบ้านอัตโนมัตินั้นจะเน้นที่เครือข่ายภายในบ้าน เนื่องจากมีอิสระในการเลือกใช้เทคโนโลยีมากกว่า และโดยปกติแล้วการเชื่อมต่อจากเครือข่ายภายนอกมายังเครือข่ายภายในบ้านนั้นมักใช้ในด้านความปลอดภัย หรือประหยัดพลังงานในกรณีที่ผู้อยู่อาศัยลืมปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น นั่นคือมีการเชื่อมต่อเป็นครั้งคราว แต่สำหรับเครือข่ายภายในบ้านแล้วผู้อาศัยจะ

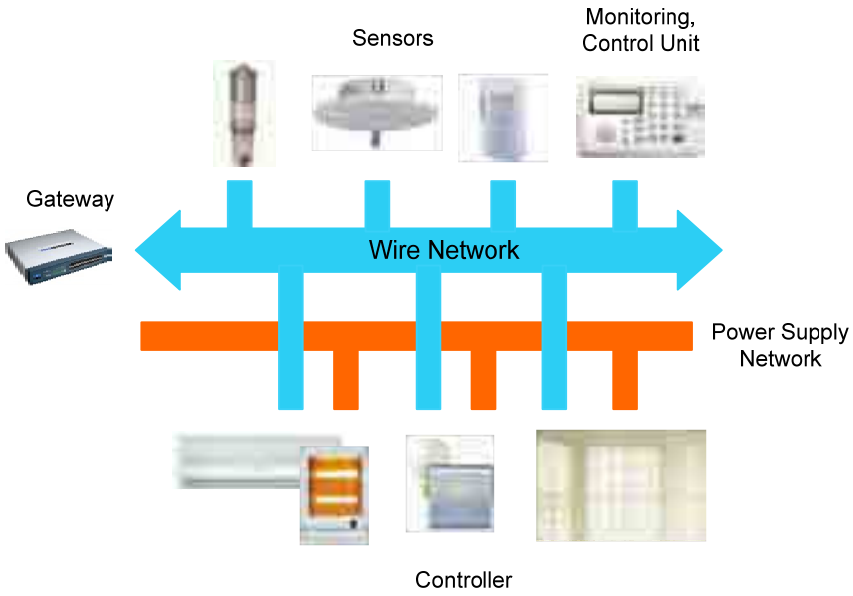
ได้รับประโยชน์ในแง่ความสะดวกสบาย และการเชื่อมต่อมักเป็นการเชื่อมต่อตลอดเวลา การเลือกเทคโนโลยีเครือข่ายภายในบ้านนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้งานในด้านใด ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากน้อยเพียงใด งบประมาณและความยากง่ายในการติดตั้ง สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ภายในบ้านนั้นแบ่งเป็นกลุ่มหลักๆ ได้ 3 กลุ่ม[4] คือ กลุ่มสายส่งกำลัง (Power line) กลุ่มติดต่อผ่านบัส (Bus line) และกลุ่มคลื่นวิทยุและInfrared (Radio Frequency & Infrared)

กลุ่มสายส่งกำลัง ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับไฟบ้านโดยตรงโดยใช้สายไฟบ้านในการรับส่งข้อมูล เริ่มนำระบบนี้มาใช้ในบ้านอัตโนมัติโดยกลุ่มผู้ใช้ในยุคเริ่มแรกเนื่องจากมีการติดตั้งที่ง่าย เริ่มการทำงานของระบบได้เร็ว รวมถึงมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ส่วนใหญ่แล้วระบบนี้จะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการสังเกตการณ์ หรือส่งคำสั่ง ถึงแม้ระบบมีการพัฒนาเรื่อยมาจนมีการใช้การเข้ารหัสแบบ X10 ซึ่งใช้ชิปประมวลผลแทนคอมพิวเตอร์ ปัญหาหลักๆที่พบในระบบสายส่งกำลังนั้นเกี่ยวข้องกับการรบกวนกันของสัญญาณ และปัญหาไฟดับ ซึ่งอาจทำให้ระบบทำงานผิดพลาดได้



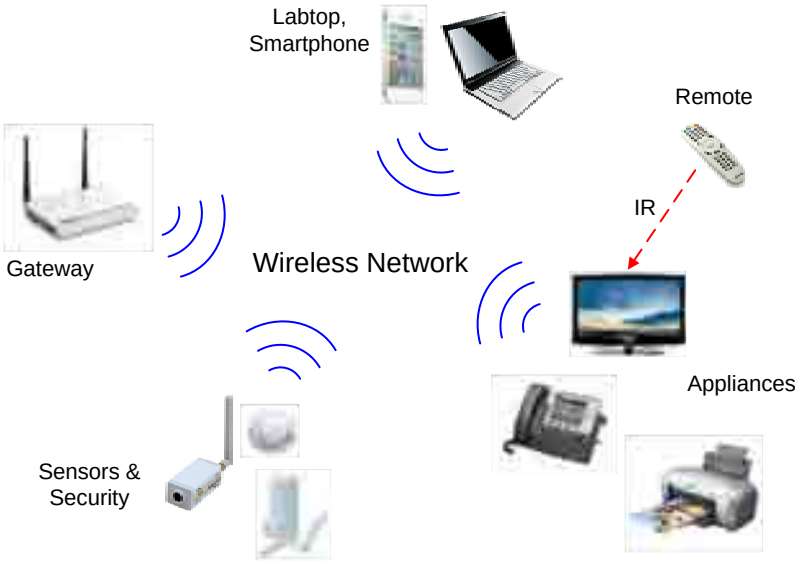
ภาพที่ 2-4 เครือข่ายของกลุ่มสายส่งกำลัง

กลุ่มใช้สาย เช่นมาตรฐาน EIB, C-bus, Lonwork, EHS จะใช้สายเกลียวคู่ขนาดแรงดัน 12-35 โวลต์ในการรับส่งข้อมูล โดยสายเกลียวคู่นี้จะเดินคู่ไปกับสายหลักทำให้เป็นอิสระจากระบบไฟบ้าน อุปกรณ์ในระบบบัสต้องติดตั้งในพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำงานเพื่อความแม่นยำในการตรวจวัด ทำให้มีความยุ่งยากในการเดินสาย แต่ระบบนี้ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ สามารถทำงานได้แม้ไฟในบ้านดับ โดยโปรโทคอลแบบสองทางของระบบทำให้สามารถสังเกตการณ์สถานะในระบบได้โดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ภายนอก



ภาพที่ 2-5 เครือข่ายของกลุ่มใช้สาย

กลุ่มคลื่นวิทยุและ Infrared เป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากไม่ต้องใช้สายในการรับส่งข้อมูล ทำให้ติดตั้งง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย กลุ่มผู้ผลิตอุปกรณ์บ้านอัตโนมัติส่วนใหญ่มักมีผลิตภัณฑ์ที่ใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูล เทคโนโลยีที่นิยมใช้ ได้แก่ Wi-Fi (IEEE 802.11a/g/n), blutooth, RFID, zigbee เป็นต้น เทคโนโลยีเหล่านี้ในช่วงแรกมักเกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ และระยะการทำงานไม่สูง ต่อมาได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากขึ้น มีการนำไปใช้ร่วมกับกลุ่มสายส่งกำลังหรือกลุ่มใช้สาย สำหรับInfrared เป็นเทคโนโลยีไร้สายแรกเริ่ม มีระยะการทำงานใกล้และข้อมูลในการรับส่งขนาดเล็ก ในปัจจุบันจะพบเห็นการนำไปใช้ในรีโมทควบคุมเป็นส่วนใหญ่



ภาพที่ 2-6 เครือข่ายของกลุ่มไร้สาย

2.2. งานวิจัยในขอบข่ายของบ้านอัตโนมัติ

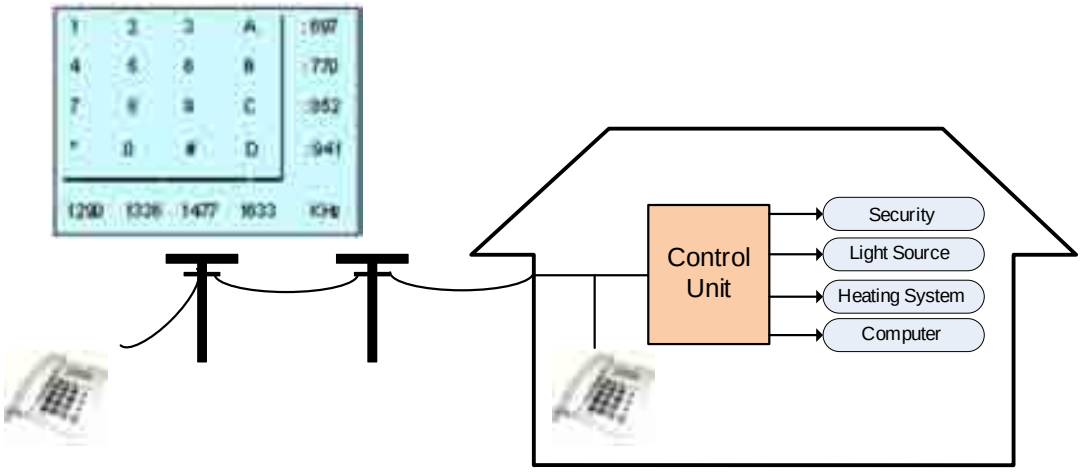
งานวิจัยเกี่ยวกับบ้านอัตโนมัติมีมาอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มเห็นได้ชัดจากมาตรฐาน X10 ซึ่งเป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกมาในปี 1975 สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจำกัดการควบคุมในขอบเขตของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านบนพื้นฐานของเทคโนโลยีสายส่งกำลัง ต่อมาเมื่อมีเทคโนโลยีด้านเครือข่ายใหม่ๆ เกิดขึ้นก็จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ระบบบ้านอัตโนมัติจึงมีพัฒนาการเรื่อยมาและเริ่มเป็นที่สนใจในแวดวงการศึกษา ดังจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยในระดับมหาวิทยาลัยออกมามากมาย ยกตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายอื่นๆที่นอกเหนือจาก zigbee และกลุ่มที่ใช้เทคโนโลยี zigbee

2.2.1. กลุ่มงานวิจัยที่พัฒนาบนเทคโนโลยีเครือข่ายต่าง ๆ

1) การพัฒนาการควบคุมระยะไกลผ่านสายโทรศัพท์

ระบบทำการควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยโทรศัพท์[6] ซึ่งหลักสำคัญอยู่ที่การถอดรหัสสัญญาณ DTMF (Dual Tone Multiple Frequency) ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ 2 ความถี่ผสมกัน เกิดจากการกดแป้นตัวเลขบนโทรศัพท์ สัญญาณที่ได้คือสัญญาณความถี่ในแนวแกนตั้งรวมกับสัญญาณความถี่ในแนวแกนนอน ตัวถอดรหัสจะทำการแปลงสัญญาณ DTMF

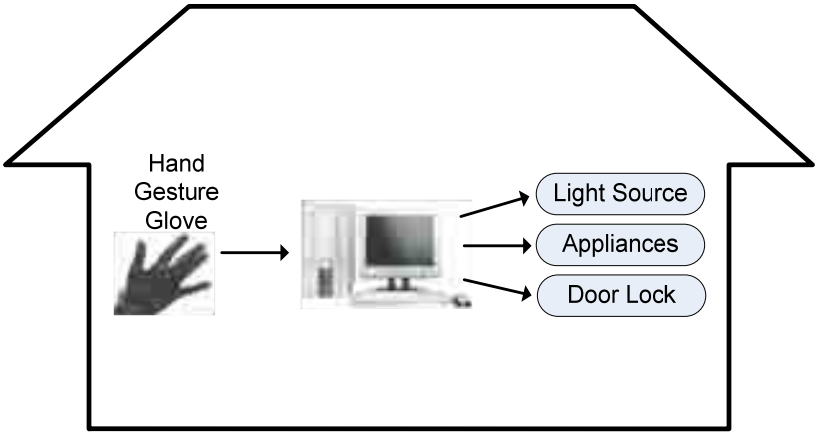
เป็นรหัส BCD เพื่อทำการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ข้อดีของระบบนี้คือการใช้สายโทรศัพท์ที่มีการติดตั้งไว้แล้ว สามารถเข้าถึงระบบโดยใช้โทรศัพท์เครื่องใดก็ตามที่รองรับสัญญาณ DTMF แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถแสดงผลแบบ GUI (Graphic User Interface) ผู้ใช้จะต้องจำรหัสในการเข้าถึงระบบเอง รวมถึงคำสั่งของแต่ละปุ่มสำหรับควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 2-7 ระบบควบคุมระยะไกลด้วยเครือข่ายโทรศัพท์

2) การควบคุมอุปกรณ์ในเครือข่ายด้วยท่าทางของมือ (hand gestures)

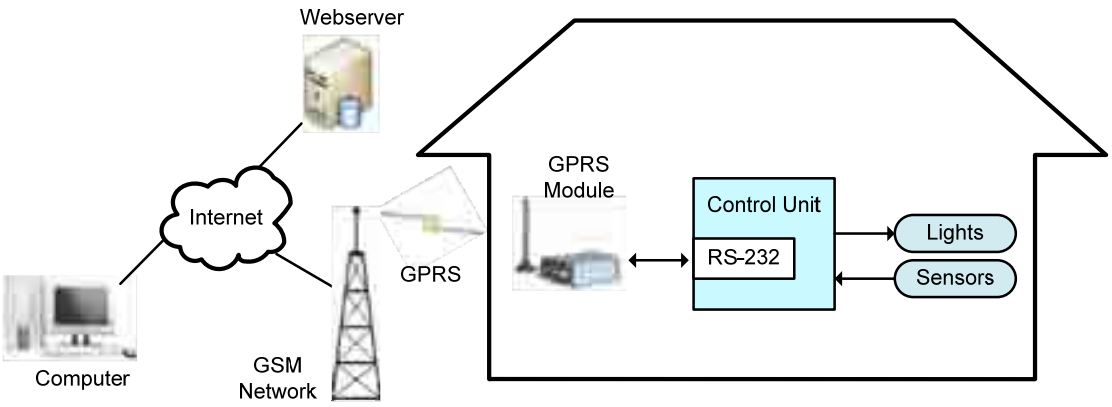
อุปกรณ์ภายในบ้านจะถูกควบคุมโดยใช้ใช้ถุงมือที่ติดตัวรับรู้ในการจับท่าทางของมือและส่งข้อมูลให้ระบบประมวลผล ซึ่งวิธีนี้ยังมีข้อเสียคือ ความไม่แม่นยำในการเคลื่อนไหวมือตามท่าทางที่กำหนด รวมถึงแปลความหมายของท่าทางอาจเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากการการที่แขนมีการเคลื่อนไหว ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งคือ การควบคุมด้วยวิธีนี้ต่อเนื่องบ่อยๆ ทำให้ผู้ใช้เหนื่อยล้าหรือส่งผลต่อกล้ามเนื้อ[5]



ภาพที่ 2-8 ระบบควบคุมด้วยท่าทางของมือ

3) **การควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย** GPRS

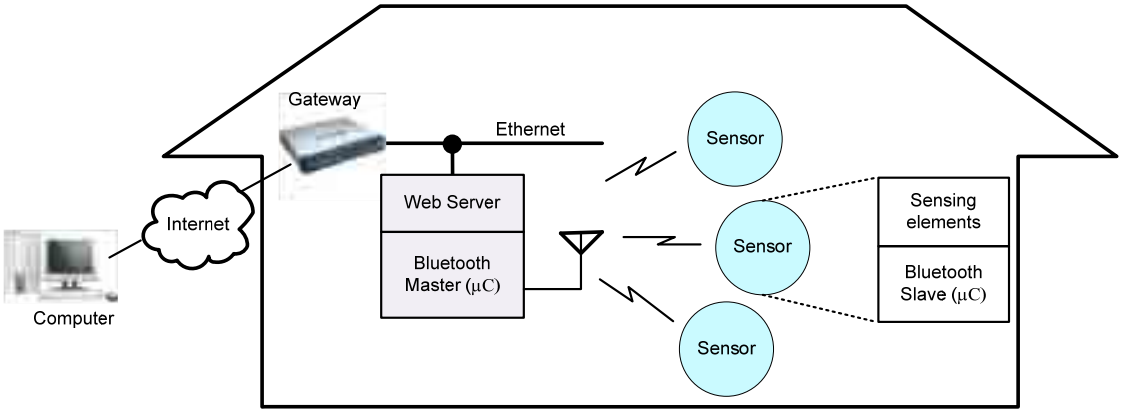
ระบบนี้ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่าน GPRS โดยส่วนควบคุมใช้รีเลย์ในการเปิด-ปิด[7] ภายในส่วนควบคุมนี้จะมีชิปที่ใช้เชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วย GPRS อีกส่วนจะเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยเว็บเพจเก็บไว้ที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ ข้อมูลสถานะเปิด-ปิดจากส่วนควบคุมจะถูกส่งไปแสดงผลยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ ผู้ใช้สามารถควบคุมการเปิด-ปิดได้โดยสั่งผ่านเว็บเพจ ซึ่งคำสั่งถูกส่งผ่าน GPRS มายังส่วนควบคุม ระบบนี้มีข้อเสียคือจำเป็นต้องใช้งานแพคเกจ GPRS และต้องมีเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายกับผู้ให้บริการ



ภาพที่ 2-9 ระบบควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี GPRS

4) การพัฒนาเครือข่ายตัวรับรู้ด้วยเทคโนโลยี Bluetooth

ระบบนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเครือข่าย Piconet และเครือข่าย Ethernet เครือข่าย Piconet ติดต่อสื่อสารกันด้วยเทคโนโลยี Bluetooth ทำหน้าที่เป็นเครือข่ายตัวรับรู้[8] ประกอบด้วยตัวประสานงาน (Bluetooth master) 1 ตัวทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากตัวตรวจวัด (Bluetooth slave) ซึ่งติดต่อกับตัวรับรู้ต่างๆ เช่น ตัววัดอุณหภูมิ โดยการจัดการความหนาแน่นในการรับส่งข้อมูลจะใช้วิธี TDD (Time Division Duplex) หน้าที่ของตัวประสานงานอีกอย่างหนึ่งคือเป็นเกทเวย์ทำหน้าที่เชื่อมต่อเครือข่าย Piconet กับ Ethernet โดยข้อมูลจะถูกนำไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ ระบบนี้มีข้อเสียคือการใช้งานร่วมกันของตัวรับรู้หลายตัวต่อมอดูล Bluetooth หนึ่งตัวทำให้มีการหน่วงเวลา หากใช้ตัวรับรู้ 1 ตัวต่อมอดูลก็จะมีค่าใช้จ่ายสูง และอาจต้องเดินสายเพิ่มเติมหากต้องการเพิ่มอุปกรณ์ในระบบ

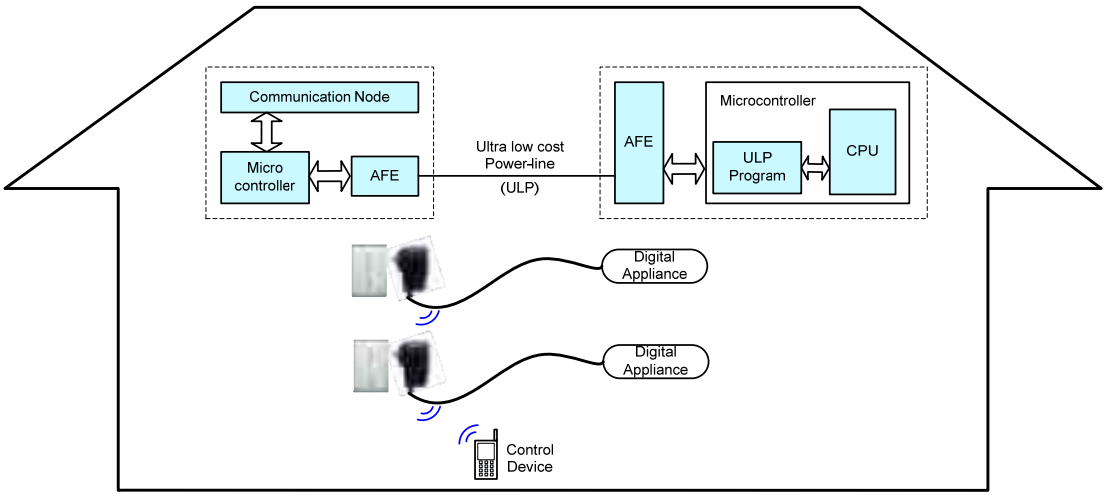


ภาพที่ 2-10 ระบบตรวจวัดระยะไกลด้วยเทคโนโลยี Bluetooth

5) การพัฒนาเครือข่ายของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายบ้านบนพื้นฐานเทคโนโลยีสายส่งกำลัง

ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยส่วนหนึ่งของระบบนี้ถูกนำไปใช้เป็นต้นแบบของโครงการ TEAHA (The European Application Home Alliance)[9] ซึ่งมีจุดประสงค์ในการสร้างแพลตฟอร์มเปิดสำหรับการเชื่อมต่อภายในบ้าน ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วนคือ smart adaptor, ส่วนที่ติดอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และส่วนควบคุม โดยส่วนที่ติดอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และมอดูลแอนะล็อกส่วนหน้า (Analog front end) จะทำหน้าที่ดึงข้อมูลหรือสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยติดต่อกับ smart adaptor ผ่านทางสายปลั๊กเสียบ การส่งข้อมูลจากเครื่องใช้ไฟฟ้าไปยัง smart adaptor จะ

ใช้การมอดูเลตแบบ OOK (On/Off Key modulation) ของกำลังไฟฟ้าในขณะนั้น ข้อมูลจะถูกถอดรหัสโดยการวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละลูกคลื่น (cycle) ของแรงดันไฟฟ้า สำหรับกาส่งข้อมูลจาก smart adaptor ไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าจะใช้การสร้างสัญญาณ glitch ขนาดเล็ก (แอมปลิจูด 20 โวลต์) เข้าจังหวะ (synchronize) กับสัญญาณผ่านศูนย์ (Zero-crossing) ข้อมูลจะถูกมอดูเลตแบบ PPM (Pulse Position Modulation) โดยสัญญาณที่ส่งไปจะไม่เกินข้อกำหนดของสัญญาณรบกวนที่ยอมรับได้ ภายใน smart adaptor จะมีมอดูลการสื่อสารไร้สายเพื่อติดต่อกับเครือข่ายภายในบ้านหรือส่วนควบคุมซึ่งเป็นอุปกรณ์แบบพกพา

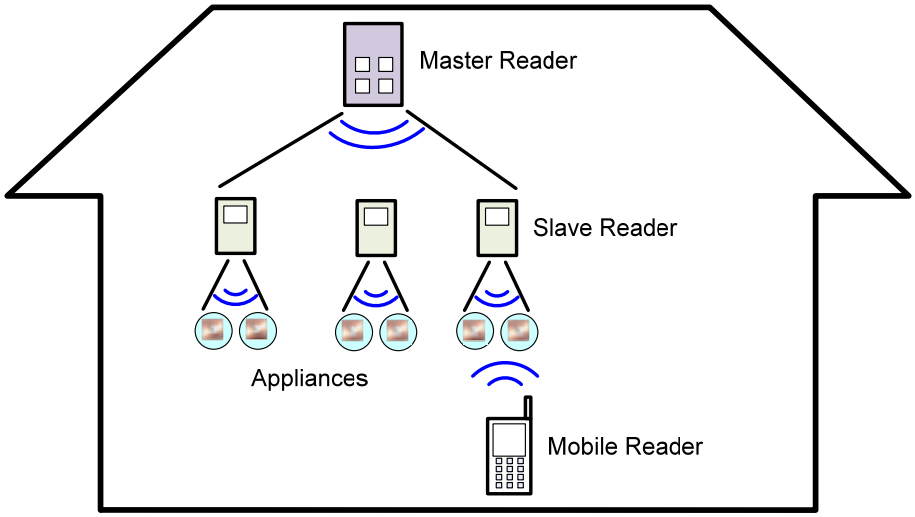


ภาพที่ 2-11 เครือข่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสายส่งกำลัง

6) การพัฒนาระบบอ่านข้อมูลภายในบ้านด้วย RFID

ระบบ RFID ประกอบด้วย ตัวอ่าน (RFID reader), ป้าย (tag) และส่วนทำงานเบื้องหลัง (back-end system)[10] เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือประมวลผลค่าที่อ่านได้ซึ่งต้องมีการเชื่อมต่อเป็นเครือข่าย เช่น WLAN การนำระบบ RFID มาใช้โดยตรงจะเกิดข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ใช้ตัวอ่านติดอยู่กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในการอ่านป้ายที่อยู่ใกล้ก็จะเกิดปัญหาคือ ตัวอ่านนั้นมีขนาดใหญ่และค่อนข้างแพง หากใช้ตัวอ่านแบบ multi-antenna ก็ยังมีความยุ่งยากในการเดินสายเพื่อนำข้อมูลที่อ่านได้มาใช้ หากใช้ตัวอ่านแบบเคลื่อนที่ได้ก็พบปัญหาคือมีระยะทำการต่ำ หากใช้แบบที่มีระยะทำการสูงขึ้นหรือแบบ UHF ก็จะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักที่มาก รวมถึงใช้พลังงานสูงทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ตลอดวัน จึงมีการคิดวิธีแก้ปัญหาโดยการแบ่งตัวอ่านเป็น master–slave ซึ่ง

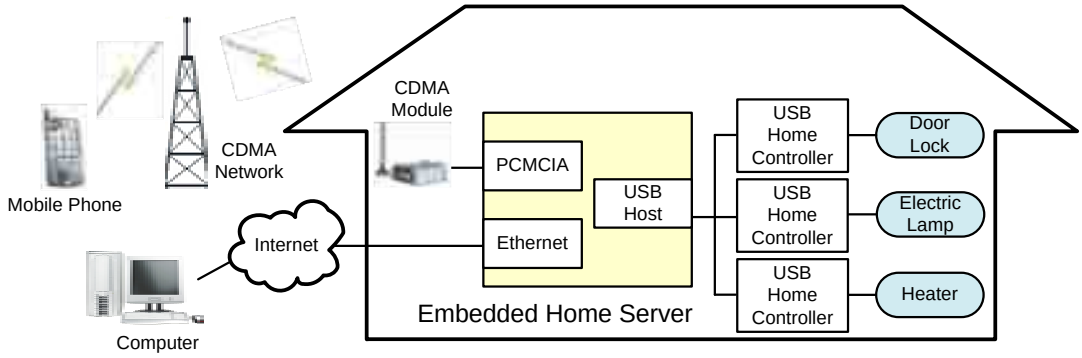
เป็นตัวอ่านที่อยู่กับที่ ตัวอ่าน master จะมีความสามารถในการอ่านสูง ทำหน้าที่เริ่มการทำงานของตัวอ่านแบบ slave โดยตัวอ่าน master สามารถติดต่อกันเองและติดต่อกับระบบเบื้องหลัง ตัวอ่านแบบ slave เป็นตัวอ่านแบบง่าย ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากป้ายที่ระยะการทำงานของตัวอ่านแบบ master ไม่ครอบคลุม ตัวอ่าน master และ slave จะเป็นตัวให้พลังงานกับป้าย (RF energy generator) ทำให้ผู้อาศัยสามารถใช้ตัวอ่านแบบพกพาที่ไม่จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพสูง โดยทำหน้าที่เป็นตัวอ่านแบบ passive



ภาพที่ 2-12 ระบบอ่านข้อมูลภายในบ้านด้วยเทคโนโลยี RFID

7) การพัฒนาระบบควบคุมภายในบ้านด้วย USB

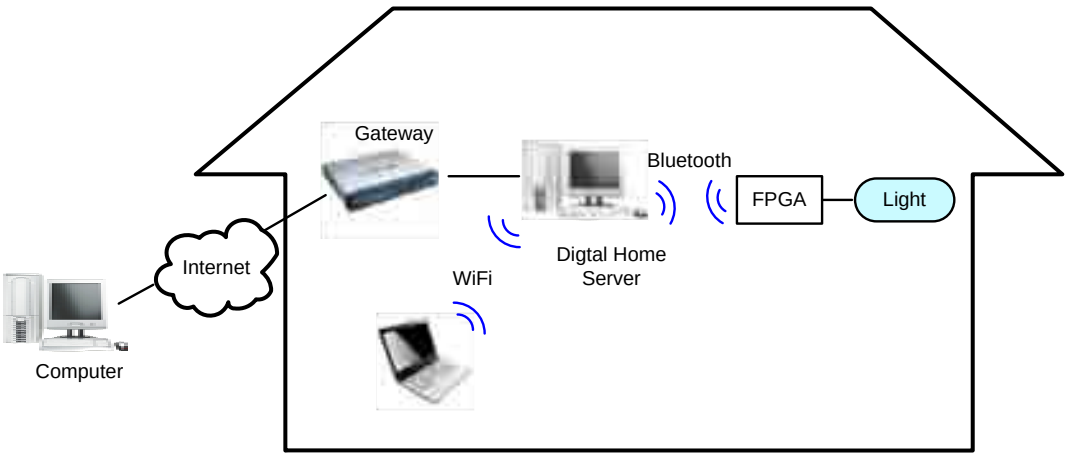
ระบบใช้เซิร์ฟเวอร์ในบ้านแบบฝังตัว (Embedded home server) มี USB host, ส่วนติดต่อ PCMCIA และ Ethernet ใช้หน่วยประมวลผลกลางแบบ ARM ซึ่งเป็นแบบ SOC (System On Chip) ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์แบบฝังตัวในการทำงาน[11] ส่วน USB host จะติดต่อกับตัวควบคุม USB (USB home controller) ได้สูงสุด 127 ตัว ภายในตัวควบคุม USB มีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางโดยติดต่อกับ USB host เพื่อรับส่งข้อมูลและติดต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านทั้งแบบแอนะล็อกและดิจิทัล ส่วนติดต่อ PCMCIA ติดต่อกับมอดูล CDMA เพื่อติดต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือในกรณีต้องการติดต่อระยะไกล ผู้อาศัยสามารถใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อทำการควบคุมหรือรับข่าวสาร นอกจากนี้ยังมีส่วน Ethernet สำหรับติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย



ภาพที่ 2-13 ระบบควบคุมระยะไกลด้วยเทคโนโลยี USB

8) **การพัฒนาระบบควบคุมแสงสว่างภายในบ้านบนพื้นฐานของเครือข่ายแลนไร้สาย**

ระบบใช้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ภายในบ้านโดยผู้ใช้สามารถใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุคหรืออุปกรณ์PDA ติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายแลนไร้สาย[12] โดยโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้สำหรับติดต่อจะเขียนด้วยภาษาจาวาบนอุปกรณ์พกพา(J2ME) เซิร์ฟเวอร์ภายในบ้านติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านเทคโนโลยี XDSL ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ในส่วนนี้เขียนด้วยภาษาจาวาเช่นกัน (J2EE) โดยผู้ใช้ควบคุมผ่านเว็บบราวเซอร์ คำสั่งในการควบคุมความสว่างจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมผ่าน Bluetooth โดยเซิร์ฟเวอร์ติดต่อกับมอดูล bluetooth ผ่าน RS-232 สำหรับตัวควบคุมจะต่อกับหลอดไฟแบบแอลอีดี โดยมีชิป FPGA ทำหน้าที่ประมวลผล



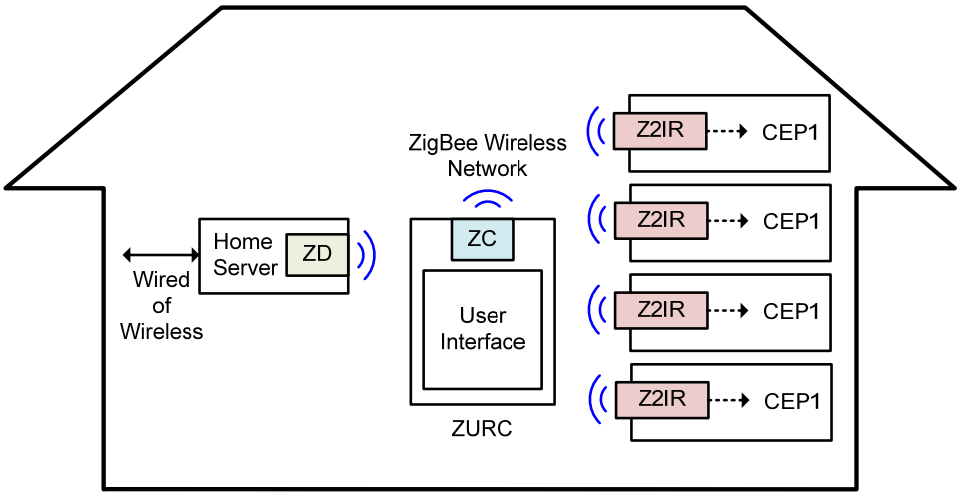
ภาพที่ 2-14 ระบบควบคุมแสงสว่างด้วยเครือข่ายแลนไร้สาย

2.2.2 กลุ่มงานวิจัยในขอบข่ายของบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาบนมาตรฐาน Zigbee

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับบ้านอัตโนมัติบนพื้นฐานของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย Zigbee นั้นจะเน้นไปในทางการประสานงานระหว่างมาตรฐาน Zigbee กับมาตรฐานไร้สายที่ทำงานบนย่านความถี่ ISM เช่น Bluetooth แ ละ Wi-Fi เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่พบในอุปกรณ์ส่วนใหญ่ในท้องตลาด เช่นพัฒนาเกทเวย์เพื่อทำการเข้าถึงระบบผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้มาตรฐาน Zigbee และ Wi-Fi โดยแบ่งอุปกรณ์เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีอัตรารับส่งข้อมูลต่ำ เช่น เปิด-ปิดไฟ จะใช้มาตรฐาน Zigbee ส่วนอุปกรณ์ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงเช่น PDA, โทรศัพท์มือถือ จะใช้มาตรฐาน Wi - Fi และงานวิจัยเกี่ยวกับการรบกวนกันของคลื่นวิทยุภายในบ้านระหว่างมาตรฐานต่างๆ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบบ้านอัตโนมัติบนพื้นฐานเของมาตรฐาน Zigbee ที่น่าสนใจ มีดังนี้

1) **การพัฒนารีโมทควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเอนกประสงค์** (Universal Remote Control)

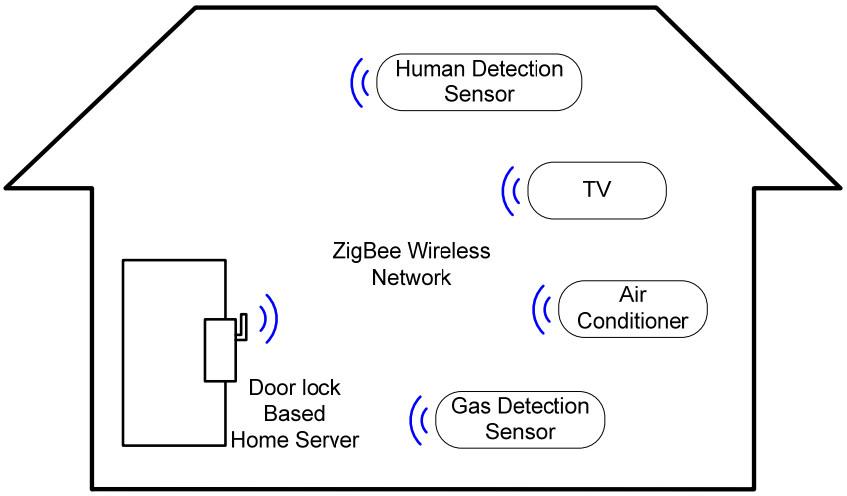
ใช้เทคโนโลยี Zigbee ร่วมกับ Infrared ในการสร้างรีโมทควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า[13] โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนรีโมทควบคุมและส่วนแปลงสัญญาณจากรูปแบบของ Zigbee ไปเป็นสัญญาณควบคุมด้วยInfrared โดยส่วนรีโมทจะทำหน้าที่ในการจัดตั้งเครือข่าย ซึ่งรายการของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมได้ขณะนั้นจะขึ้นอยู่กับว่า ผู้อาศัยนำรีโมทไปยังบริเวณใด มีอุปกรณ์ใดอยู่ภายในขอบเขตที่รีโมทสามารถติดต่อได้ โดยรีโมทจะทำการจัดตั้งเครือข่ายแบบพลวัต (dynamic) และภายในรีโมทมีการโปรแกรมการควบคุมแต่ละอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้าเพื่อที่จะแสดงกราฟฟิกส่วนควบคุมต่อผู้ใช้ เมื่อผู้ใช้ส่งคำสั่งไปยังส่วนแปลงสัญญาณ ส่วนแปลงสัญญาณจะแปลงคำสั่งจากเครือข่าย Zigbee เป็นรหัสคำสั่งของ Infrared ต่อไป ปัญหาคือในอุปกรณ์ชนิดหนึ่งๆนั้นแต่ละยี่ห้อก็มีการทำงานที่แตกต่างกัน จึงต้องเขียนโปรแกรมควบคุมขนาดใหญ่ และส่วนแปลงสัญญาณInfraredนั้นจะต้องติดอยู่กับส่วนรับสัญญาณ Infrared ของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำให้สิ้นเปลืองและอาจไม่สะดวกในการติดตั้ง



ภาพที่ 2-15 รีโมทเอนกประสงค์บนพื้นฐานเทคโนโลยี Zigbee

2) **ตัวล็อคประตูแบบฉลาด** (Smart Digital Door Lock)

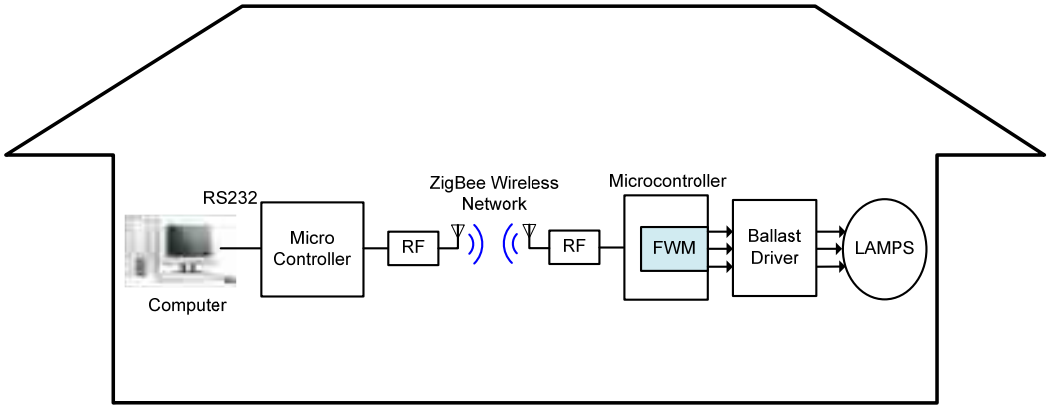
ระบบนี้ติดตั้งส่วนควบคุมการทำงานไว้ที่ประตู โดยผู้อาศัยใช้ข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล เช่น สมาร์ทการ์ด ลายนิ้วมือ หรือรหัสต่างๆ ในการพิสูจน์บุคคล เพื่อทำการเปิด-ปิดประตูแทนกุญแจที่สำคัญคือมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้แสดงบนจอแอลซีดี โดยใช้ระบบสัมผัสในการควบคุมส่วนต่างๆ รวมถึงดูสถานะต่างๆภายในบ้าน[14] ภายในตัวล็อคประตูแบบฉลาดประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนล็อคประตูซึ่งใช้มอเตอร์ จอแสดงผล และส่วนติดต่อสื่อสารโดยใช้มอดูล Zigbee ซึ่งการควบคุมก็จำกัดอยู่ที่การเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ ระบบมีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดเมื่อผู้อาศัยอยู่ในบ้านและโหมดที่ไม่อยู่ในบ้าน ในโหมดที่ผู้อาศัยอยู่ที่บ้าน จะมีโหมดการทำงานตามปกติ คือผู้อาศัยสามารถควบคุมหรือดูสถานะของอุปกรณ์ภายในบ้าน แต่หากไม่ได้สัมผัสจอแอลซีดีในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเข้าสู่โหมดการทำงานอัตโนมัติ นั่นคืออุปกรณ์ต่างๆภายในบ้านจะมีลำดับความสำคัญ คือ อุปกรณ์ที่ควรจะเปิด กับอุปกรณ์ที่ควรจะปิด ซึ่งต้องกำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งหากอยู่ในโหมดนี้จะมีการส่งคำเตือนเมื่อมีเหตุการณ์ฉุกเฉินต่างๆ เช่นมีผู้บุกรุก หรือเกิดควันขึ้นภายในบ้าน จะมีการส่งสัญญาณเตือนมาแสดงที่ตัวล็อคประตู



ภาพที่ 2-16 ระบบตัวล็อคประตูแบบฉลาด

3) **การควบคุมความสว่างระยะไกล**

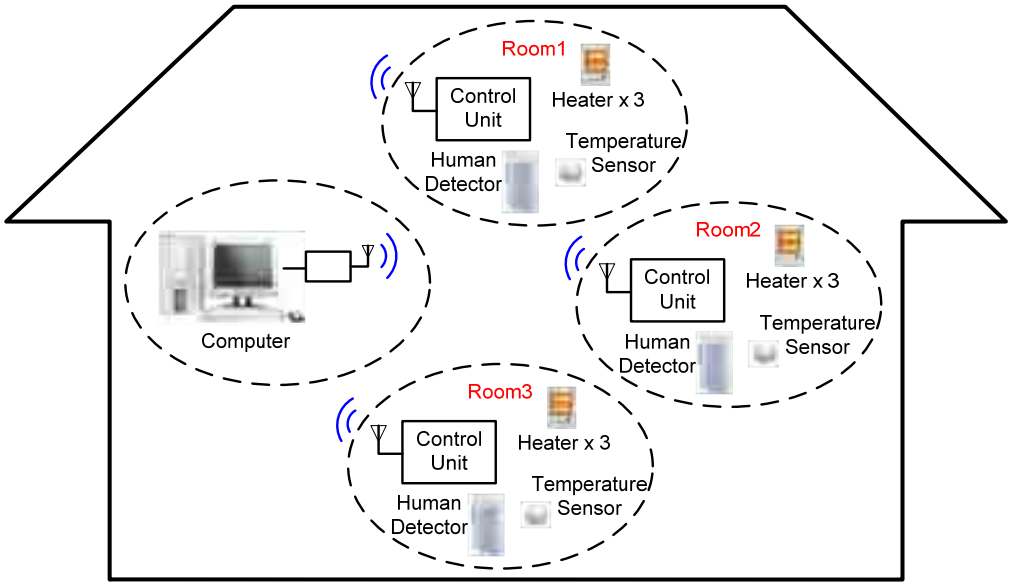
ระบบใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยต่อกับชิปแบบ SOC ซึ่งออกแบบสำหรับติดต่อสื่อสารมาตรฐาน Zigbee โดยเฉพาะ โดยตัวส่งติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 คำสั่งถูกส่งผ่านเครือข่าย Zigbee ไปที่ตัวรับซึ่งทำการควบคุมผ่านตัวขับบัลลาสต์ด้วยพอร์ต PWM เพื่อไปควบคุมวงจรหลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถควบคุมการเปิด-ปิด ระดับความสว่าง รวมถึงมีโหมดเพื่อปรับรูปแบบความสว่างตามอารมณ์(scene) ที่ตั้งเอาไว้[15]



ภาพที่ 2-17 ระบบควบคุมความสว่างภายในบ้าน

4) ระบบควบคุมเครื่องทำความร้อนภายในที่อยู่อาศัย

ทำการควบคุมเครื่องทำความร้อนภายในบ้านหรืออพาร์ตเม้นท์ด้วยมาตรฐาน Zigbee โดยการคำนวณการใช้พลังงานทั้งแบบรายวันและรายปี นอกจากนั้นยังคำนวณการใช้ก๊าซมีเทนเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องทำความร้อน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากสูตรคำนวณซึ่งเป็นผลมาจากการเปิดใช้งานเครื่องทำความร้อน มีห้องควบคุมส่วนกลางในการทำการเปิด-ปิดเครื่องทำความร้อน ในแต่ละห้องภายในบ้านหรืออพาร์ตเม้นท์จะมีตัวรับรู้ทำการวัดอุณหภูมิตรวจจับคน และมีเครื่องทำความร้อน 3 ตัว การควบคุมจะทำการกำหนดการใช้พลังงานสูงสุดหรือการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดโดยกำหนดทั้งรายวัน, รายปี, อุณหภูมิสูงสุดของแต่ละห้อง เพื่อทำการตัดสินใจในการเปิด-ปิดเครื่องทำความร้อนตามความเหมาะสม รวมถึงสั่งเปิด-ปิดเครื่องทำความร้อนได้โดยตรง[16]

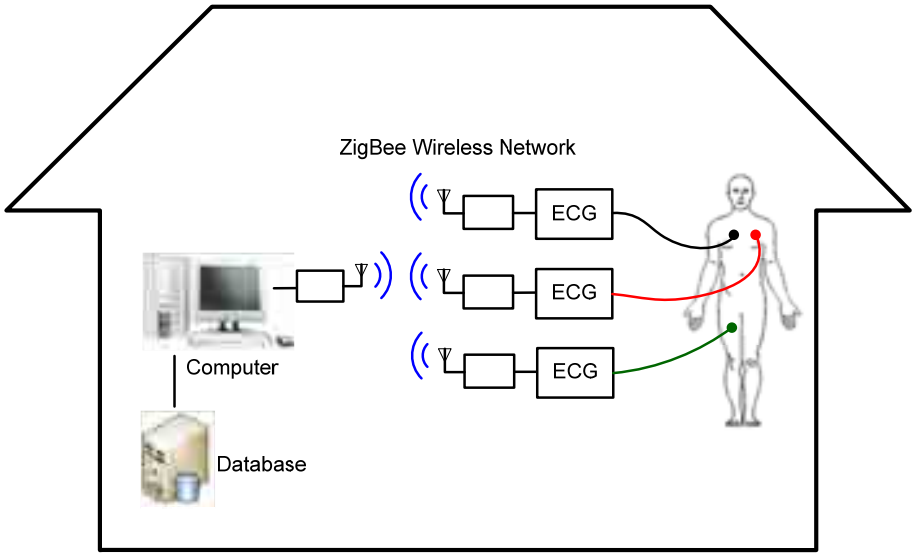


ภาพที่ 2-18 ระบบควบคุมความร้อนภายในบ้าน

5) ระบบเฝ้าระวังสุขภาพของผู้อาศัยภายในบ้าน

ทำการติดตั้งตัวรับรู้สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ที่ร่างกายของผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน[17] โดยเก็บค่าข้อมูลไปใช้ในการวินิจฉัยหรือเฝ้าระวังเพื่อการรักษาที่ทันท่วงที โดยข้อมูลจาก ECG ที่ได้จะถูกนำมาปรับแต่งสัญญาณและแปลงเป็นแบบดิจิทัลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บไว้ในหน่วยความจำและรอการร้องขอ เมื่อมีการร้องขอข้อมูลจากส่วนกลางก็จะอ่านข้อมูลภายในหน่วยความจำและส่งกลับไปโดยผ่านเครือข่าย Zigbee ที่ส่วนกลางใช้คอมพิวเตอร์ในการ

แสดงผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจในรูปแบบกราฟ และบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในภายหลัง

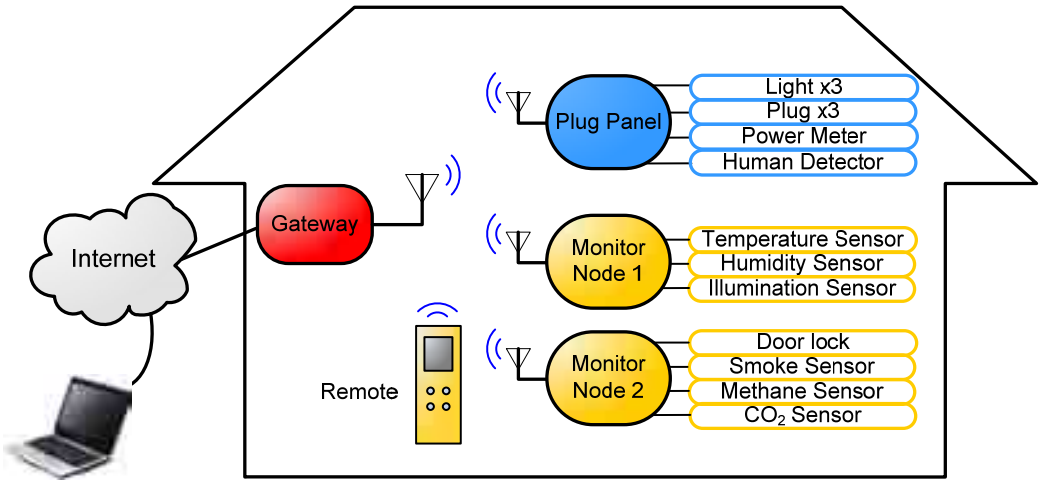


ภาพที่ 2-19 ระบบเฝ้าระวังสุขภาพภายในบ้าน

2.3. ระบบบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ

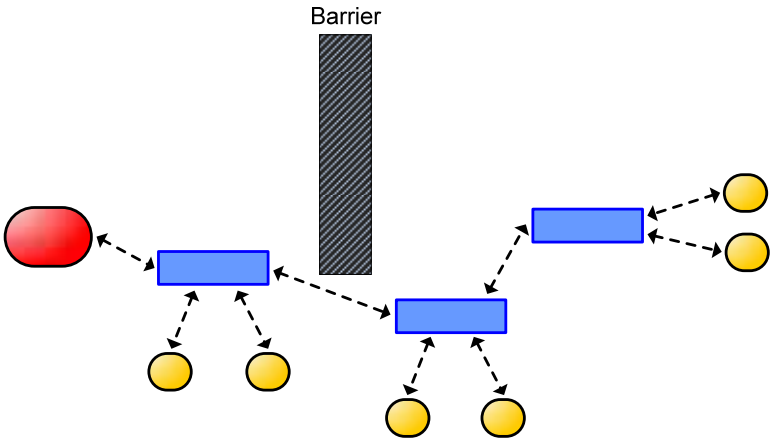
ในงานวิจัยเลือกใช้การติดต่อสื่อสารของเครือข่ายภายในบ้านเป็นแบบไร้สาย เนื่องจากมีความสะดวกในการติดตั้งมากกว่าการใช้สายในการรับส่งข้อมูล ระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถควบคุมเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในส่วนนี้จะทำการพัฒนาอุปกรณ์ที่เป็นแผงปลั๊กสำหรับติดตั้งภายในห้องต่างๆของบ้าน ภายในแผงปลั๊กมีส่วนที่ต่อกับสายไฟของหลอดไฟ และปลั๊กเสียบสำหรับเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากควบคุมการเปิด-ปิดแล้วยังสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในแผงปลั๊กนั้นได้อีกด้วย ระบบที่ออกแบบยังมีส่วนตรวจวัดเพื่อทำการวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง และทำการเฝ้าระวัง โดยสามารถตรวจดูการเปิด-ปิดของประตู ตรวจจับควันและก๊าซมีเทนเพื่อช่วยป้องกันไฟไหม้ และตรวจระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย สำหรับการแสดงผลข้อมูลต่างๆนั้นสามารถแสดงข้อมูลของแต่ละห้อง รวมถึงส่งไปแสดงผลยังส่วนกลางซึ่งใช้เกทเวย์ทำหน้าที่ประสานการทำงานของระบบ ผู้ใช้สามารถควบคุมหรือดูข้อมูลต่างๆด้วยรีโมทเมื่ออยู่ในบ้านและในกรณีที่อยู่นอกบ้านก็สามารถติดต่อกับเครือข่ายภายในบ้านโดยการติดต่อกับเกทเวย์ผ่านอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้แผงปลั๊กยังสามารถทำงานอัตโนมัติโดยเปิดไฟเมื่อมี

คนเข้ามาในห้องและปิดไฟเมื่อไม่มีคนอยู่ซึ่งขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก โดยใช้ตัวรับรู้แบบจับความเคลื่อนไหว



ภาพที่ 2-20 ระบบบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ

การใช้โปรโทคอล Zigbee สำหรับเครือข่ายภายไร้สายภายในบ้านในระบบที่ออกแบบขึ้นนั้นมีความเหมาะสมด้วยกันหลายประการ ที่สำคัญคือเครือข่ายของระบบที่ออกแบบขึ้นนี้มีการติดต่อภายในห้องและการติดต่อส่วนกลางเป็นแบบโครงสร้างต้นไม้ ในกรณีที่การติดต่อระหว่างแผงปลั๊กกับเกทเวย์ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรงซึ่งเกิดขึ้นในกรณีตำแหน่งที่ตั้งของบางห้องอยู่ไกลจากเกทเวย์หรืออาจอยู่คนละชั้นของบ้านก็สามารถส่งต่อข้อมูลจากแผงปลั๊กของห้องหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งได้ ซึ่งทำให้ขอบเขตการทำงานของระบบมีความยืดหยุ่นมากขึ้น นอกจากนี้มาตรฐานนี้ยังใช้พลังงานต่ำและมีค่าใช้จ่ายน้อยอีกด้วย สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้า, มาตรฐาน Zigbee และการติดต่อผ่านอินเทอร์เน็ตจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปตามลำดับ



ภาพที่ 2-21 การส่งผ่านข้อมูลระหว่างแผงปลั๊กช่วยให้สามารถส่งผ่านข้อมูลในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางและเพิ่มระยะของเครือข่าย

2.4. การวัดกำลังไฟฟ้า 1 เฟสแบบดิจิทัล

ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านซึ่งใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟสนั้น สัญญาณกระแสและแรงดันของสายในแผงปลั๊กเป็นแบบแอนะล็อก ในการคำนวณแบบดิจิทัล [18] จึงต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล โดยทำการชักสัญญาณแรงดัน $v(t)$ และกระแส $i(t)$ ซึ่งเป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง (continuous) มาเป็นสัญญาณแรงดัน v_n และ i_n ซึ่งเป็นสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) ด้วยความถี่ในการชักสัญญาณ (Sampling frequency) f_s หรือคาบเวลาชักสัญญาณ (Sampling period) T_s ซึ่งกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบเวลาต่อเนื่อง(P_c) เป็นไปตามสมการ (2.1)

$$P_c(T) = \int_0^T v(t)\, i(t)\, dt \qquad \text{วัตต์} \tag{2.1}$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้า ในช่วงเวลา $T = \Delta t = t_2 - t_1$ โดยมีการชักสัญญาณแรงดัน $v(t)$ สัญญาณกระแส $i(t)$ ทุกคาบเวลา T_s โดย $t = t_1 + nT_s$ และ $t_2 - t_1 = NT_s$ โดย N คือจำนวนการชักสัญญาณในแต่ละคาบเวลา และ n คือลำดับในการชักสัญญาณโดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง $N-1$ ก็จะได้ตัวอย่างสัญญาณ v_n และ i_n ตามลำดับ จากนั้นทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าแอคทีฟแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (P_d) ตามสมการ (2.2)

$$\mathrm{P}_d(T) = \frac{T}{N}\sum_0^{N-1} v_n\, i_n \qquad \text{วัตต์} \tag{2.2}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการชักสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องนั้นจะใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเมื่อความถี่ในการชักสัญญาณมากขึ้น และผลจากความคลาดเคลื่อนของวงจรไฟฟ้าสำหรับการคำนวณแบบดิจิทัลสามารถแก้โดยการสอบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐานเพื่อหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง (K) ซึ่งเมื่อนำไปคูณกับค่าที่วัดได้ จะมีความแม่นยำมากขึ้น ดังสมการ (2.3)

$$P_c \approx \mathrm{K}\mathrm{P}_d \tag{2.3}$$

2.5. **มาตรฐาน** IEEE 802.15.4 /Zigbee

Zigbee เป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายที่พัฒนาโดยกลุ่มบริษัทที่เรียกว่า Zigbee Alliance ประกอบด้วยบริษัทต่างๆเช่น Invensys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola, Phillips ซึ่งทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานทั่วไป โดยสร้างขึ้นบนชั้นสื่อสารกายภาพ (PHY layer) และชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (MAC layer) ที่เข้มแข็งของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

จุดมุ่งหมายของมาตรฐาน Zigbee เพื่อใช้ในการสื่อสารไร้สายโดยเน้นที่การประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่อยู่ในกลุ่มเครือข่ายระยะใกล้ด้วยกัน พบว่า Bluetooth และ IEEE 802.11b นั้นไม่เหมาะกับงานที่ประหยัดพลังงาน เพราะมีค่าใช้จ่ายต่อโหนดสูงและมีความซับซ้อน มาตรฐาน Zigbee มีความใกล้เคียงกับ Bluetooth แต่มีอัตราการรับส่งข้อมูลและความซับซ้อนน้อยกว่า ใช้เวลาส่วนใหญ่ในการหลับ มีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานกว่าและสามารถรองรับจำนวนโหนดในเครือข่ายได้มากกว่าอีกด้วย เนื่องจากงานทางด้านตรวจวัดและควบคุมนั้นไม่ได้เน้นความเร็วในการรับส่งข้อมูลและใช้พลังงานน้อย มาตรฐาน Zigbee จึงออกมาเพื่อรองรับความต้องการนี้ ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเครือข่าย Zigbee มาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น ระบบเครือข่ายภายในบ้านหรืออาคาร, ระบบควบคุมอุตสาหกรรม, ระบบอ่านค่ามิเตอร์อัตโนมัติ, อุปกรณ์ทางการแพทย์, อุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์, ระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น

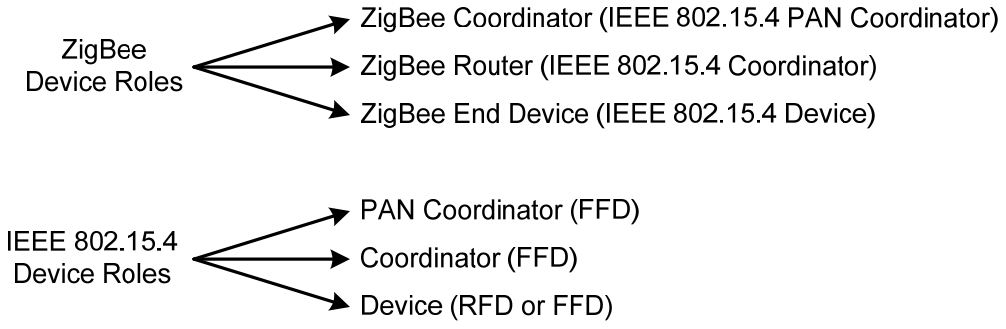
2.5.1. ประเภทของอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee

ในเครือข่ายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แบ่งอุปกรณ์ 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) และ RFD (Reduced Function Device) อุปกรณ์ประเภท FFD สามารถทำงานได้ทุกอย่างตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ส่วน RFD นั้นจะมีข้อจำกัดในการทำงาน

ตารางที่ 2-1 ประเภทของอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.15.4

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

อุปกรณ์ FFD สามารถมีหน้าที่แตกต่างกันได้ 3 แบบ คือ coordinator ซึ่งสามารถส่งผ่านข่าวสารได้ โดยหากตัว coordinator นั้นเป็นส่วนควบคุมหลักของเครือข่าย WPAN (Wireless Personal Area Network) จะเรียกว่าเป็น PAN coordinator ส่วนอุปกรณ์อื่นที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็น coordinator จะเรียกง่ายๆว่า device สำหรับมาตรฐาน Zigbee จะเรียกประเภทอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างจากมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เล็กน้อย คือ Zigbee coordinator ทำหน้าที่เป็น PAN coordinatror, Zigbee router ทำหน้าที่เป็น coordinator และ Zigbee end device ทำหน้าที่เป็น device



ภาพที่ 2-22 ความสัมพันธ์ของประเภทอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee กับมาตรฐาน IEEE 802.15.4

เครือข่าย Zigbee นั้น ต้องการ FFD อย่างน้อย 1 ตัวทำหน้าที่เป็น Zigbee coordinator ของเครือข่าย และอุปกรณ์ Zigbee end device อื่นๆ สามารถเป็นแบบ RFD เพื่อลดการใช้พลังงานได้ สำหรับอุปกรณ์ประเภท FFD สามารถทำหน้าที่ได้ทั้ง Zigbee coordinator, Zigbee router และ Zigbee end device ส่วน RFD ทำหน้าที่เป็น Zigbee end device ได้เท่านั้น

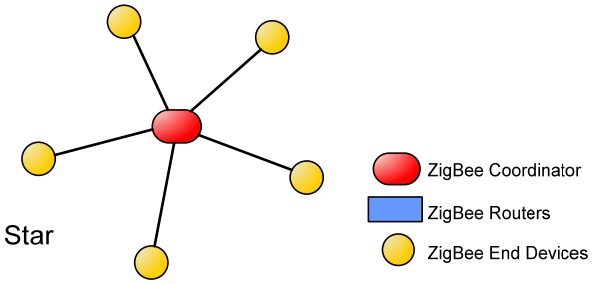
Zigbee coordinator มีหน้าที่จัดตั้ง บริหารจัดการโหนดในเครือข่าย เก็บค่าข่าวสารต่างๆ ส่งผ่านข้อมูลข่าวสารระหว่างโหนด ปกติแล้วจะอยู่ในสถานะเป็นผู้รับ อุปกรณ์ FFD ที่ทำหน้าที่นี้จะต้องมีหน่วยความจำเพียงพอเพื่อเก็บสถานะต่างๆของเครือข่าย รวมถึงสมรรถนะการประมวลผลที่สูง นั่นคือต้องใช้พลังงานสูงกว่าโหนดอื่นๆจึงต้องคำนึงถึงแหล่งพลังงานด้วย สำหรับ Zigbee router ทำหน้าที่ ในการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลระหว่างโหนดที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง หรือช่วยเพิ่มระยะครอบคลุมของเครือข่ายให้กว้างขึ้น ส่วน Zigbee end device ใช้สำหรับงานที่มีความง่ายมากๆ เช่นเปิด-ปิดสวิทช์ไฟ, ติดต่อกับตัวรับรู้อุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องส่งข้อมูลขนาดใหญ่และอาจติดต่อกับอุปกรณ์ FFD เพียงตัวเดียวในช่วงเวลาหนึ่ง จึงสามารถใช้ทรัพยากรระบบและหน่วยความจำเพียงเล็กน้อย สามารถใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน และหลับได้เมื่อไม่มีการทำงาน

ระบบบ้านอัตโนมัติที่ออกแบบขึ้นนั้นเครือข่าย Zigbee ภายในบ้านนั้นจะกำหนดให้เกทเวย์เป็น coordinator ทำหน้าจัดตั้งเครือข่ายและประสานการทำงานของอุปกรณ์ แผงปลั๊กกำหนดให้เป็น router ซึ่งมีความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลไปยังแผงปลั๊กถัดไปได้ ส่วนตรวจวัดและรีโมทควบคุมเป็น end device เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งสองนี้ไม่จำเป็นต้องทำงานอยู่ตลอด นอกจากนี้การที่ end device ใช้แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ได้นั้นทำให้สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ ทำให้สามารถนำส่วนตรวจวัดไปติดตั้งได้ในพื้นที่ที่แคบหรือยากต่อการเข้าถึง ส่วนรีโมทเมื่อมีขนาดเล็กทำให้สะดวกต่อการพกพา

2.5.2 **รูปแบบโครงสร้างของเครือข่าย**

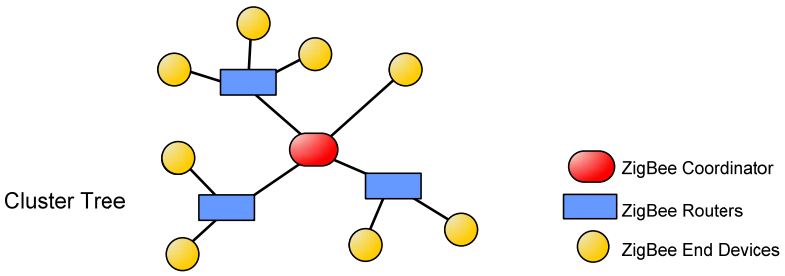
มาตรฐาน IEEE 802.15.4/Zigbee รองรับรูปแบบเครือข่าย 3 แบบคือแบบดาว, กลุ่มโครงสร้างต้นไม้ และตาข่าย

1. เครือข่ายแบบดาว(star) มี coordinator เป็นศูนย์กลางในการติดต่อ โดย end device สามารถคุยกับ coordinator ได้เพียงตัวเดียว หาก end device ต้องการส่งข้อมูลถึงกันจะส่งให้ coordinator จากนั้น coordinator ก็จะส่งให้ end device ปลายทางต่อไป



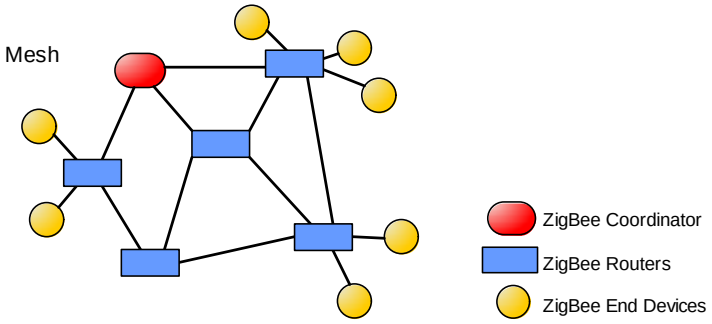
ภาพที่ 2-23 เครือข่ายแบบดาว

2. เครือข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ (cluster tree) ลักษณะเครือข่ายจะเป็นแบบดาวหลาย ๆ เครือข่ายมาเชื่อมโยงกัน มี coordinator 1 ตัว เป็นตัวดูแลทั้งเครือข่ายโดย end device แต่ละตัวไม่จำเป็นต้องติดต่อผ่านทาง coordinator การส่งข้อมูลจะติดต่อผ่านทาง router ก็ได้ทำให้เพิ่มระยะทางของเครือข่ายได้ไกลมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการติดต่อกันในชั้นเครือข่ายขึ้นไปก็ยังต้องผ่านตัว coordinator ก่อนและ end device แต่ละตัวไม่สามารถติดต่อกันเอง ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อกันโดยตรง หรือติดต่อผ่านทาง router



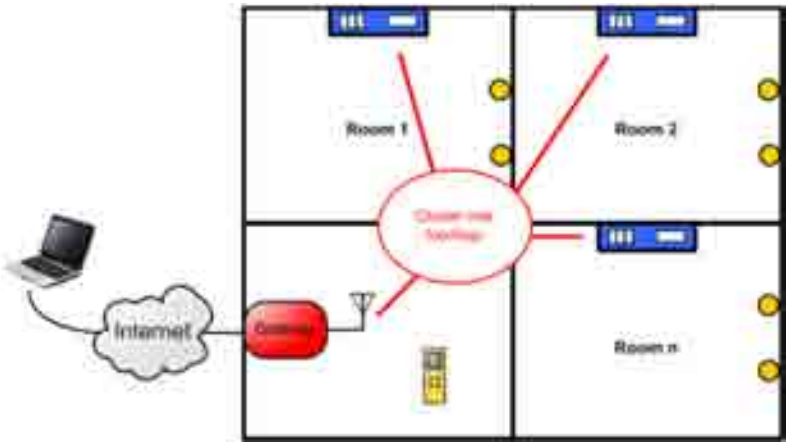
ภาพที่ 2-24 เครือข่ายแบบกลุ่มโครงสร้างต้นไม้

3. เครือข่ายแบบตาข่าย (mesh) ลักษณะเครือข่ายจะมีความคล่องตัวสูง router สามารถติดต่อกันได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องผ่านตัว coordinator อย่างไรก็ตามเครือข่ายต้องมี Zigbee coordinator 1 ตัว เป็นตัวไว้ติดต่อกับเครือข่าย Zigbee อื่นที่อยู่รอบๆ



ภาพที่ 2-25 เครือข่ายแบบตาข่าย

โครงสร้างเครือข่าย Zigbee ภายในบ้านเป็นแบบกลุ่มต้นไม้ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ละห้องจะมีแผงปลั๊กอย่างน้อย 1 ตัว จะติดต่อส่วนตรวจวัดที่เป็น end device มีอยู่ 2 แบบด้วยกัน แบบแรกจะทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความสว่าง แบบที่สองทำการดูสถานะการเปิด-ปิดประตู ตรวจจับควัน ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผู้อาศัยสามารถดูสถานะของห้องที่จอแอลซีดีหรือทำการเปิด-ปิดไฟด้วยสวิทช์ที่แผงปลั๊ก เกทเวย์ซึ่งเป็น coordinator จะติดต่อกับแผงปลั๊กทั้งหมดภายในบ้านในการนำข้อมูลมาแสดงที่ส่วนกลาง รวมถึงส่งคำสั่งไปยังแผงปลั๊กที่ต้องการ โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อกับรีโมทควบคุมซึ่งผู้อาศัยใช้เมื่ออยู่ภายในบ้าน

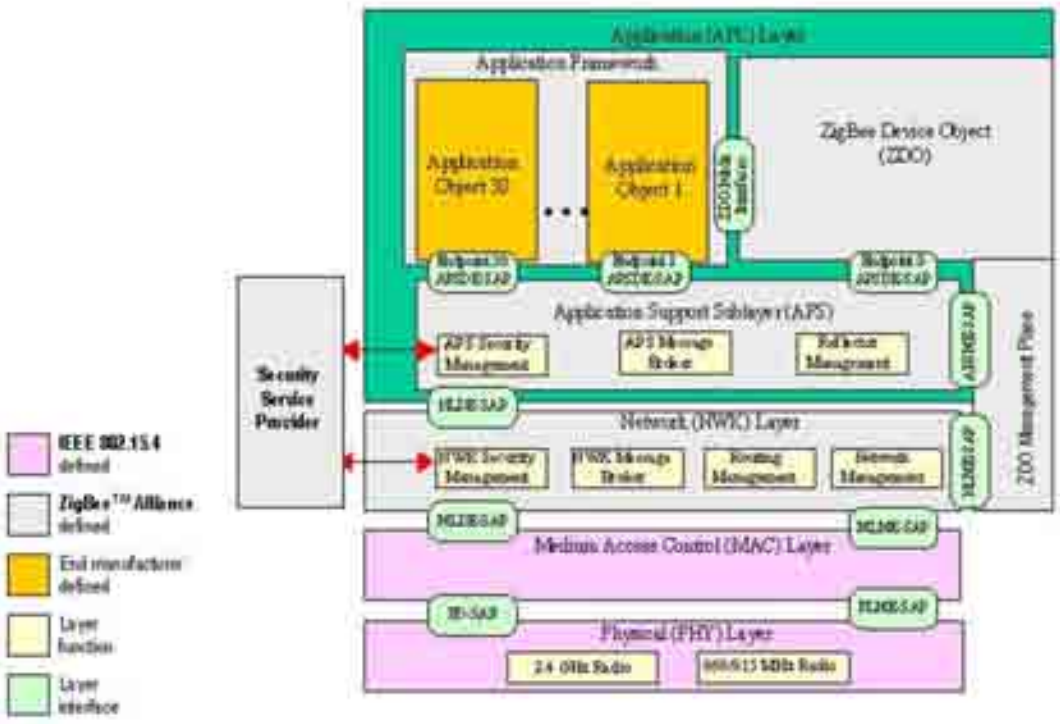


ภาพที่ 2-26 เครือข่ายภายในและภายนอกของบ้านอัตโนมัติที่นำเสนอ

2.5.3 โครงสร้างของชุดโปรโทคอล

ภายในโครงสร้างชุดโปรโทคอล Zigbee แบ่งออกเป็นระดับชั้น โดยนำชั้นกายภาพ(PHY layer) และชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (MAC layer) จากมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาใช้ Zigbee Alliance กำหนดการทำงาน 2 ชั้นคือในส่วนของชั้นเครือข่าย (Network layer : NWK)

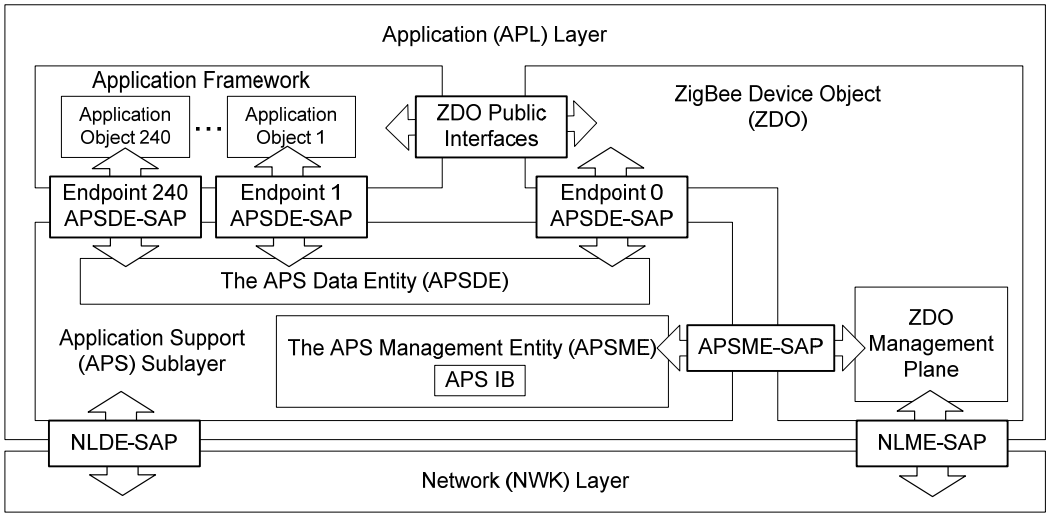
และโครงสร้างสำหรับชั้นประยุกต์ (Application layer : APL) โครงสร้างของชั้นประยุกต์ประกอบด้วย ชั้นสนับสนุนย่อย (Application support sub-layer : APS) และ ZDO (Zigbee device objects) โดยแอปพลิเคชั่นต่างๆในชั้นประยุกต์จะใช้งานชั้นสนับสนุนย่อยและบริการด้านความปลอดภัยร่วมกันกับ ZDO ชุดโปรโทคอล Zigbee แต่ละระดับชั้นแบ่งออกเป็นส่วนที่ดูแลการส่งข้อมูล(data entity) และส่วนจัดการข้อมูล (management entity)ตามที่มีการร้องขอ โดยจะรับและส่งข้อมูลระหว่างระดับชั้นที่สูงกว่าและชั้นที่ต่ำกว่าผ่านทางจุดเข้าถึงบริการ (service access point : SAP) พร้อมทั้งจัดการให้บริการตามที่ถูกกำหนด รายละเอียดของแต่ละชั้นเป็นดังนี้



ภาพที่ 2-27 โครงสร้างของชุดโปรโทคอล Zigbee

1) ชั้นประยุกต์ (APL)

ในระดับชั้นประยุกต์ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดจะแบ่งออกเป็น3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างงาน (Application framework) ส่วน ZDO และชั้นสนับสนุนย่อย) ในส่วนโครงสร้างงานผู้ใช้สามารถกำหนดการทำงานหรือออบเจ็กต์งานชั้นประยุกต์ (Application object หรือ End point) ได้ตั้งแต่ 1-240 ต่ออุปกรณ์ 1 ตัว

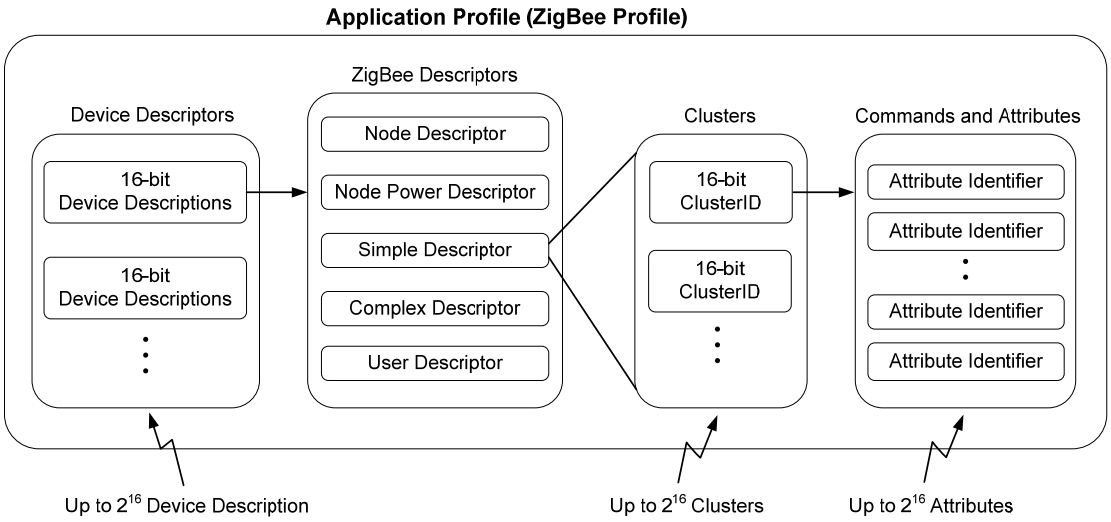


ภาพที่ 2-28 โครงสร้างของชั้นประยุกต์

- โครงสร้างงานประยุกต์ (Application framework)

มาตรฐาน Zigbee ให้ทางเลือกสำหรับการใช้ application profile เพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่างอุปกรณ์ที่ผลิตโดยผู้ผลิตต่างกัน แต่ละ application profile จะกำหนดด้วยตัวระบุขนาด16 bit ที่เรียกว่า profile identifier โดยค่านี้ผู้ผลิตอุปกรณ์จะต้องขอจาก Zigbee alliance โดย Zigbee alliance จะพิจารณาจาก application profile ที่ส่งไป ซึ่งหากตรงกับข้อกำหนดที่วางไว้ก็จะออก profile identifier ที่เหมาะสมให้ สำหรับผู้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานด้านบ้านอัตโนมัติก็จะใช้ application profile ที่เป็นแพลตฟอร์มร่วม (common platform) สำหรับบ้านอัตโนมัติเพื่อให้สามาถติดต่อกันได้

Application profile ประกอบด้วย Zigbee descriptor ของอุปกรณ์ที่ใช้แพลตฟอร์มเดียวกัน กำหนดด้วยเลข 16 บิต เป็นตัวบอกข้อมูลของอุปกรณ์นั้นๆ เช่น node descriptor จะบอกถึงรหัสผู้ผลิต, หน้าที่ในเครือข่าย (เป็น coordinator , router หรือ end device), ย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้, node power descriptor บอกถึงแหล่งพลังงานที่ใช้ simple descriptor แสดงการทำงาน, complex descriptor เป็นส่วนเสริม เช่น เก็บ serial number ของอุปกรณ์ และ user descriptor กำหนดชื่ออุปกรณ์ในตามการใช้งาน เช่น กำหนดว่าอุปกรณ์นั้นเป็นสวิทช์ไฟ เป็นต้น ภายใน simple descriptor จะแบ่งเป็นกลุ่ม (Cluster) ซึ่งค่าในกลุ่มอาจเป็นสถานะ(attribute) ต่างๆของอุปกรณ์ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น หรือคำสั่ง (command) เช่น คำสั่งเปิด-ปิดในรีโมท

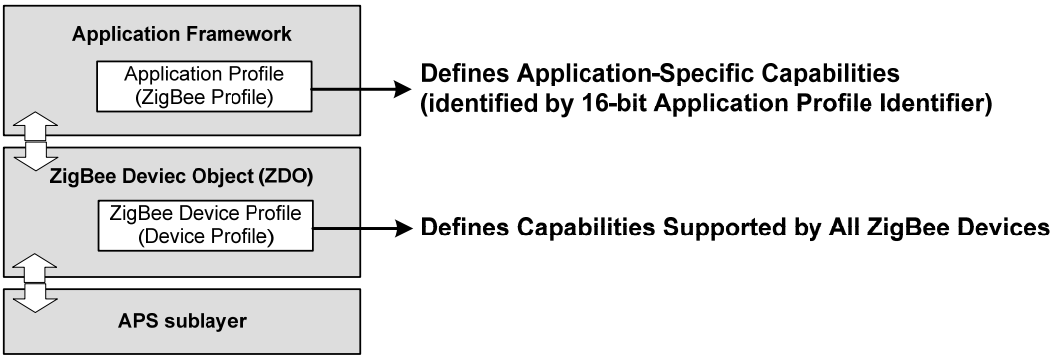


ภาพที่ 2-29 Application Profile ภายในโครงสร้างงานประยุกต์

การขอ application profile จาก Zigbee alliance นั้นมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ในงานวิจัยนี้จึงนำ application profile ของบริษัท Microchip มาดัดแปลง ทำให้อุปกรณ์สามารถติดต่อกันเองภายในระบบเท่านั้น รายละเอียดส่วน application profile ของระบบจะกล่าวถึงในบทที่ 4 เรื่องซอฟต์แวร์การทำงาน

- ส่วน ZDO

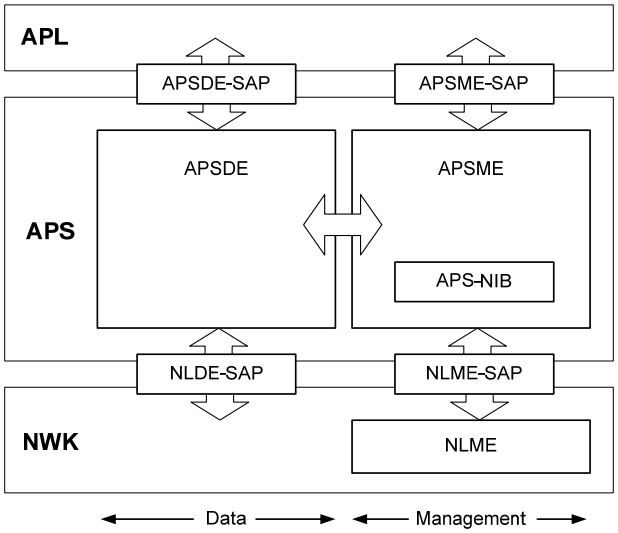
ทำหน้าที่รับผิดชอบงานพื้นฐานโดยเป็นตัวเชื่อมระหว่างโครงสร้างงานและชั้นสนับสนุนย่อย หน้าที่ของ ZDOได้แก่ เริ่มการทำงานของชั้นประยุกต์ และให้บริการด้านความปลอดภัยZDO มีส่วน ZDP (Zigbee device profile) ซึ่งคล้ายกับ application profiles ที่กำหนดในชั้นส่วนโครงสร้างงานประยุกต์ ความแตกต่างระหว่าง application profile และ ZDP คือ application profile ถูกสร้างเพื่อรองรับการทำงานใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะ แต่ ZDP จะกำหนดความสามารถทั้งหมดที่อุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee เช่นถ้า ZDP กำหนดเป็น coordinator อุปกรณ์นั้นจะสามารถจัดตั้งเครือข่ายได้ หรือถ้า ZDP กำหนดเป็น router อุปกรณ์นั้นก็จะสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ เป็นต้น นอกจากนั้น ZDO ยังทำหน้าที่รวบรวมข่าวสารของเครือข่ายเพื่อค้นหาอุปกรณ์ Zigbee ตัวอื่น จัดการเครือข่าย และการผูกกันระหว่างอุปกรณ์ (binding)



ภาพที่ 2-30 เปรียบเทียบ ZDP ภายในส่วน ZDO กับ Application Profile ในโครงสร้างงานประยุกต์

- ส่วนชั้นสนับสนุนย่อย (APS)

ชั้นสนับสนุนย่อยเป็นชั้นที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นประยุกต์และชั้นเครือข่าย รองรับการร้องขอบริการจากส่วนโครงสร้างงานประยุกต์ และ ZDO มีหน้าที่หลัก 2 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2-31 โครงสร้างของชั้นสนับสนุนย่อย

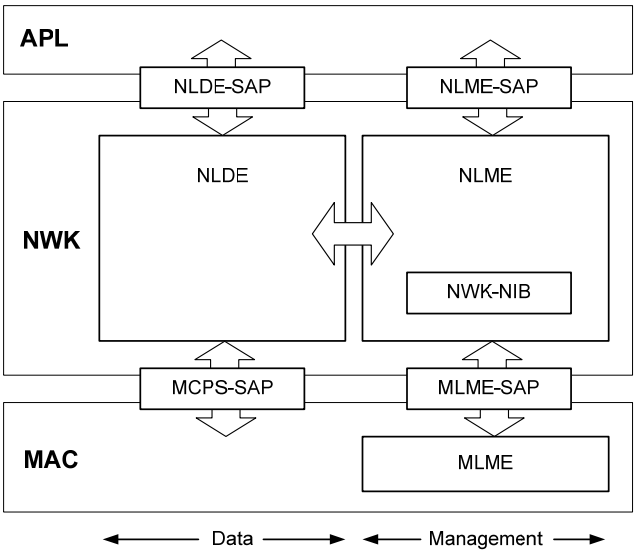
- ส่วนที่ดูแลด้านข้อมูล (APSDE) มีหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลโดยเพิ่มส่วนหัว (header) ในแพคเก็ตให้รับส่งข้อมูลในระดับชั้นประยุกต์ได้อย่างถูกต้อง เพิ่มความน่าเชื่อถือในการรับส่งข้อมูลจากชั้นเครือข่าย รับผิดชอบการติดต่อระหว่างอุปกรณ์เมื่อมีการผูกกันแล้ว คัดกรองข้อมูลที่ถูกส่ง

แบบกลุ่มโดยพิจารณาจากเลขที่อยู่ของกลุ่มและ end point ของสมาชิกภายในกลุ่ม และทำการละทิ้งแพคเก็ตข้อมูลที่ได้รับหากเคยรับมาก่อนหน้านี้

- ส่วนจัดการการส่งข้อมูล (APSME) มีหน้าที่จัดการด้านการผูกอุปกรณ์เข้าด้วยกัน, เก็บและดึงข้อมูลต่างๆ จากตารางข้อมูลเครือข่ายเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร มีระบบความปลอดภัยด้วยการใช้กุญแจ (secure key) เพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่ส่ง กำหนดเลขที่อยู่แบบกลุ่มเพื่อใช้ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์หลายตัวพร้อมกัน รวมถึงทำหน้าที่รับอุปกรณ์เข้ากลุ่มและปลดอุปกรณ์ออกจากกลุ่ม

2) ชั้นเครือข่าย (network layer : NWK)

เป็นชั้นรองที่อยู่ระหว่างชั้นสนับสนุนย่อยและชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง การทำงานที่สำคัญของชั้นนี้เกี่ยวกับการจ่ายที่อยู่และการจัดการเส้นทางข้อมูล โดยทำหน้าที่ให้บริการ 2 ส่วน ได้แก่



ภาพที่ 2-32 โครงสร้างของชั้นเครือข่าย

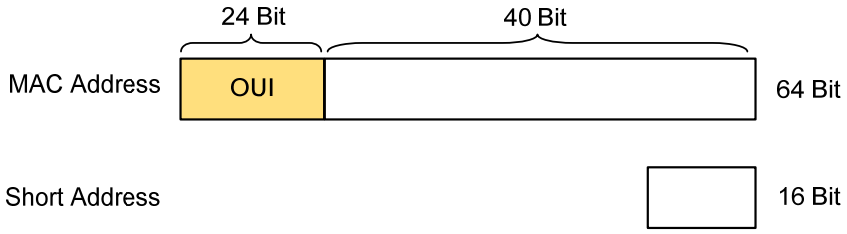
- ส่วนที่ดูแลด้านข้อมูล (NLDE) มีหน้าที่ สร้างส่วนหัวเพิ่มเข้าไปแพคเก็ตเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในระดับชั้นเครือข่าย และจัดการเส้นทางให้ส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่ถูกต้อง

- ส่วนจัดการการส่งข้อมูล (NLME) มีหน้าที่เริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์เป็น coordinator และเริ่มต้นจัดตั้งเครือข่าย, ขอเข้าร่วมเครือข่ายหากมีเครือข่ายอยู่แล้ว หรือขอเข้า

ร่วมเครือข่ายอีกครั้งหากการเชื่อมต่อหลุดไป รวมถึงขอออกจากเครือข่าย ในส่วนนี้ยังทำการแจกเลขที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ที่เข้าร่วมเครือข่ายเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร, ค้นหาและบันทึกเส้นทางอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงนำมาเป็นข้อมูลในการจัดการเส้นทางเพื่อให้การส่งข้อมูลให้มีประสิทธิภาพ โดยสามารถส่งข้อมูลได้ทั้งแบบ unicast, broadcast และ multicast

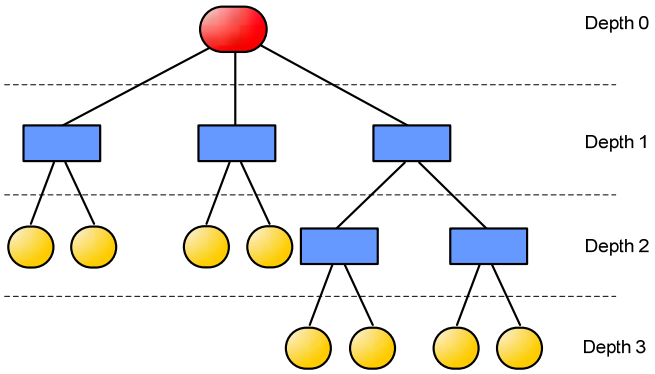
- การจ่ายเลขที่อยู่และการจัดการเส้นทางในการส่งข้อมูลของเครือข่ายแบบกลุ่มต้นไม้

เลขที่อยู่ของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย Zigbee มี 2 แบบด้วยกันคือ MAC address ซึ่งมีขนาด 64 บิต ค่า MAC address ของอุปกรณ์จะเป็นค่าที่ไม่ซ้ำกันเลย (globally unique) ประกอบด้วย เลขขนาด 24 บิตที่ต้องซื้อจาก IEEE เรียกว่า OUI (Organizationally Unique Identifier) และเลขขนาด 40 บิตที่กำหนดโดยผู้ผลิต อุปกรณ์ในเครือข่ายจะใช้ MAC address ในกระบวนการขอเข้าร่วมเครือข่าย หลังจากเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว อุปกรณ์นั้นจะได้รับการจ่ายเลขที่อยู่ในเครือข่าย (network address) หรือเลขที่อยู่แบบสั้น (short address) ขนาด 16 บิตเพื่อใช้ในการสื่อสารต่อไป



ภาพที่ 2-33 แพคเก็ตที่อยู่แบบ MAC และแพคเก็ตที่อยู่แบบสั้น

การจ่ายเลขที่อยู่และการจัดการเส้นทางในการส่งข้อมูลจะขึ้นกับโครงสร้างของเครือข่ายที่ใช้ สำหรับระบบบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนั้นจะใช้โครงสร้างแบบกลุ่มต้นไม้ ซึ่งจะใช้การจ่ายเลขที่อยู่ด้วยวิธี default distributed address allocation โดยจะแบ่งระดับชั้นของเครือข่ายตามความลึก ดังภาพที่ 2-34



ภาพที่ 2-34 ระดับความลึกของเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณการจ่ายเลขที่อยู่

Coordinator จะจัดสรรเลขที่อยู่เป็นกลุ่มย่อยให้กับโหนดแม่ที่มีศักยภาพ (potential parent) โดยโหนดแม่จะใช้เลขที่อยู่ที่ได้รับเพื่อจ่ายต่อให้กับโหนดลูก (child) โดย coordinator จะพิจารณาจากจำนวนโหนดลูกสูงสุดที่โหนดแม่รองรับได้และระดับความลึกของเครือข่าย ตัวแปรที่ใช้ในการจัดสรรกลุ่มเลขที่อยู่ ประกอบด้วย

Lm = ความลึกสูงสุดของเครือข่าย

Cm = จำนวนโหนดลูกสูงสุดที่โหนดแม่สามารถรับได้

Rm = จำนวนสูงสุดของโหนดลูกแบบ router ที่โหนดแม่สามารถรับได้

d = ระดับความลึกของเครือข่าย

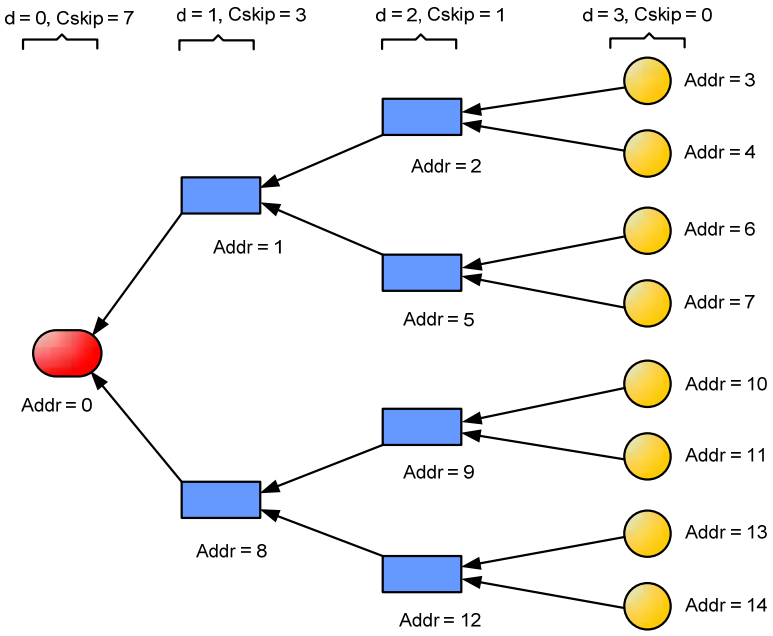
ตัวแปรเหล่านี้จะนำไปใช้ในการหาช่วงกว้างของเลขที่อยู่แต่ละระดับความลึก $Cskip(d)$ โดย coordinator มีระดับความลึกและมีเลขที่อยู่เท่ากับ 0 สำหรับค่า $Cskip(d)$ หาได้จากสมการ (2.3)

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + Cm \times (Lm - d - 1) & , if\ Rm = 1 \\ \dfrac{1 - Cm - Rm - Cm \times Rm^{Lm-d-1}}{1 - Rm} & , otherwise \end{cases} \quad (2.3)$$

นั่นคือในแต่ละระดับความลึก ช่วงกว้างของเลขที่อยู่ของอุปกรณ์ router จะเป็นจำนวนเท่าของค่า $Cskip(d)$ ของโหนดแม่ แต่หากเป็นอุปกรณ์ end device จะคำนวณเลขที่อยู่จะต่างออกไป โดยใช้สมการ (2.4)

$$\text{The } n^{\text{th}} \text{ end device address} = \text{Parent address} + Cskip(d) \times Rm + n \qquad (2.4)$$

กรณีที่ $Cskip(d)$ = 0 ในระดับใด หมายถึงอุปกรณ์ในระดับนั้นไม่สามารถรับโหนดลูกได้หรือเป็นอุปกรณ์ประเภท end device ตัวอย่างการจ่ายเลขที่อยู่ของระบบที่กำหนดค่า Lm = 3, Cm = 2 และ Rm =2 เป็นดังภาพที่ 2-35



ภาพที่ 2-35 ตัวอย่างการจ่ายเลขที่อยู่

ค่า Cskip(d) ยังมีประโยชน์ในการจัดการเส้นทางของข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง โดยอุปกรณ์กำลังจะส่งข้อมูลไปยังปลายทางต้องการที่จะทราบว่าอุปกรณ์ปลายทางนั้น เป็นโหนดลูกหลาน (descendant) ของมันหรือไม่ โดยหากอุปกรณ์ที่กำลังจะส่งนั้นอยู่ในระดับความลึก d และมีเลขที่อยู่ A และอุปกรณ์ปลายทางมีเลขที่อยู่ D จะเป็นโหนดลูกหลานของมันเมื่อความสัมพันธ์ (2.5) เป็นจริง

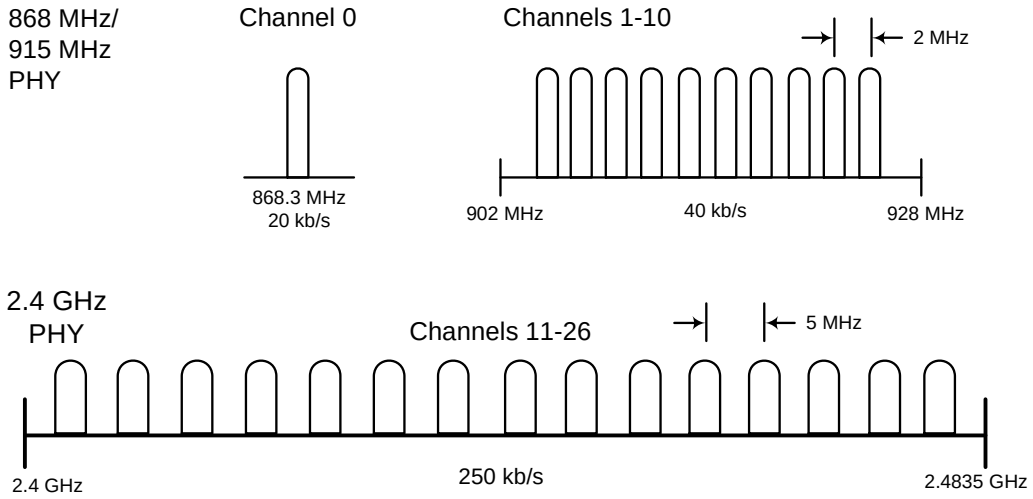
$$A < D < A + Cskip(d-1) \quad (2.5)$$

หากพบว่าอุปกรณ์ปลายทางเป็นลูกหลานของอุปกรณ์ที่กำลังจะส่งข้อมูลนั้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการพิจารณาว่าจะส่งต่อข้อมูลนั้นไปยังโหนดลูกถัดไป (next hop) ตัวใด หากอุปกรณ์ปลายทางนั้นเป็นโหนดลูกของมันก็จะส่งข้อมูลไปให้ แต่หากอุปกรณ์ปลายทางนั้นเป็นไม่ได้เป็นโหนดลูก แต่เป็นโหนดลูกหลานของมัน จะทำการส่งไปโหนดลูกที่มีเลขที่อยู่ตามสมการ (2.6)

$$Address\ of\ the\ next\ hop = A + 1 + int\left[\frac{D-(A+1)}{Cskip(d)}\right] \times Cskip(d) \quad (2.6)$$

3) ชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (MAC layer)และชั้นกายภาพ (PHY layer) ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

หน้าที่ของชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลางและชั้นกายภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการทำงานหรือหยุดทำงานของตัวรับส่ง, ตรวจจับความแรงของสัญญาณ (energy detection) แสดงคุณภาพการเชื่อมต่อ (Link Quality Indicator : LQI) การเลือกช่องสัญญาณ, ประเมินความชัดเจนของช่องสัญญาณ รับส่งแพคเก็ตข้อมูลผ่านตัวกลางกายภาพโดยใช้ความถี่วิทยุในการสื่อสาร และใช้กลไก CSMA/CA (carrier sense multiple access with a collision avoidance) ในการเข้าใช้สื่อกลางร่วมกัน โดยสามารถใช้งานได้ทั้งหมด 3 ย่านความถี่ ดังภาพที่ 2-36



ภาพที่ 2-36 ย่านความถี่และช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ที่ย่านความถี่ 868-868.6 เมกะเฮิทซ์ มีช่องสัญญาณเดียว ย่านความถี่ 902-928เมกะเฮิทซ์มี 10 ช่องสัญญาณ และย่านความถี่ 2.4-2.4835 กิกะเฮิทซ์มี 1 ช่องสัญญาณ เครือข่ายสามารถเลือกช่องสัญญาณได้แบบพลวัต โดยการตรวจหาช่องสัญญาณที่รองรับ ที่ย่านความถี่ต่ำจะให้ระยะทำการที่ไกลกว่าเนื่องจากมีความสูญเสียจากการกระจายสัญญาณน้อยกว่า อัตรารับส่งข้อมูลต่ำหมายถึงมีความไวดีกว่าและครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่า อัตรารับส่งข้อมูลสูงหมายถึงมีปริมาณงาน (throughput) ดีกว่าและการหน่วงเวลาน้อยกว่า ในทุกย่านความถี่นั้นใช้เทคนิคแบบ DSSS (direct sequence spread spectrum) ในย่านความถี่ 868 และ 902-928 MHz ตัวส่งจะมอดูเลตโดยวิธี BPSK(binary phase shift keying) ส่วนในย่านความถี่ 2.450 GHz จะมอดูเลตโดยวิธี offset-QPSK (offset- quadrature phase shift keying) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า BPSK ดังแสดงในตาราง 2-2

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดช่องสัญญาณของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Modulation	Bit rate (kb/s)
868.6	868-868.6	BPSK	20
915	902-928	BPSK	40
2400	2400-2483	O-QPSK	250

มอดูล Zigbee ของบริษัท Microchip ที่ใช้ในระบบบ้านอัตโนมัติจะสื่อสารในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิทซ์ โดยชุดโปรโทคอลสามารถรองรับได้ทั้ง 16 ช่องทาง ระบบเลือกใช้ช่อง 11 ช่องเดียว ซึ่งเมื่อศึกษาในรายละเอียดของชุดโปรโทคอล มีการระบุว่าจะทำให้การจัดตั้งเครือข่ายและการติดต่อสื่อสารมีความเร็วสูงสุด

2.5.4 การจัดการด้านความปลอดภัยของการรับส่งข้อมูลในเครือข่าย

การส่งข้อมูลที่ใช้สายเป็นสื่อกลางนั้นสามารถเห็นได้ว่าข้อมูลที่รับส่งนั้นมีขอบเขตอยู่ภายในสายนำสัญญาณ ในกรณีที่มีผู้ต้องการลักลอบดูข้อมูล จำเป็นต้องดึงข้อมูลจากสายสัญญาณนั้นซึ่งหากว่ามีการเดินสายที่มิดชิดแล้ว ก็จะมีความปลอดภัยในระดับหนึ่ง แต่สำหรับการสื่อสารทางคลื่นวิทยุนั้น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านอากาศโดยกระจายไปรอบทิศทาง ไม่สามารถรู้ถึงขอบเขตที่แน่ชัด ซึ่งไม่ควรส่งข้อมูลโดยไม่มีการจัดการด้านความปลอดภัย ชุดโปรโท

คอล Zigbee stack ที่ใช้นั้นมีการสนับสนุนทุกโหมดความปลอดภัยของมาตรฐาน Zigbee ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 7 โหมด โดยโหมดความปลอดภัยสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

-ความคงที่ของข้อมูล (MIC) โหมดความปลอดภัยนี้ใช้เพื่อให้แน่ใจว่าแพคเก็ตทั้งส่วนหัวและส่วนข้อมูลจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างทาง โดยทำการเพิ่มรหัส MIC (message integrity code) เข้าไปในแพคเก็ตโดยความยาวของ MIC ขึ้นกับระดับที่ใช้ อย่างไรก็ตามส่วนของข้อมูลจะไม่มีการเข้ารหัสความปลอดภัย

-การเข้ารหัสข้อมูล (ENC) ข้อมูลที่ส่งจะไม่สามารถอ่านได้โดยตรง จะเป็นที่ต้องใช้กุญแจที่ถูกต้อง (valid security key) ในการถอดรหัสเพื่อให้เป็นข้อมูลที่เข้าใจได้ แต่โหมดนี้จะไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลทั้งในส่วนหัวและส่วนข้อมูลว่าตรงตามต้นฉบับเดิมหรือไม่ รวมถึงแหล่งที่ส่งมาและลำดับของเฟรมข้อมูล

-แบบผสม (ENC-MIC) เป็นการรวมกันของทั้ง 2 โหมดที่กล่าวมา ข้อมูลที่ส่งจะถูกเข้ารหัสและในเวลาเดียวกันจะเพิ่ม MIC เข้าไปที่ส่วนท้ายของเฟรมเพื่อความคงที่ของส่วนหัวและส่วนข้อมูล

ตารางที่ 2-3 โหมดความปลอดภัยของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

Security Mode		Security Servied			MIC Length (Bytes)
Identifier	Name	Access Control	Data Encryption	Frame Integrity	
0x01	MIC-32	X		X	4
0x02	MIC-64	X		X	8
0x03	MIC-128	X		X	16
0x04	ENC	X	X		0
0x05	ENC-MIC-32	X	X	X	4
0x06	ENC-MIC-64	X	X	X	8
0x07	ENC-MIC-128	X	X	X	16

มาตรฐาน Zigbee ยังแบ่งโหมดความปลอดภัยเป็นแบบใช้ภายในบ้าน (residential) และแบบที่ใช้ในทางการค้า (commercial) ความแตกต่างหลักๆ ก็คือแบบที่ใช้ในทางการค้าจะมีการสร้างกุญแจระหว่าง 2 โหนดที่ติดต่อกัน (individual key) ขณะที่แบบใช้ภายในบ้านจะใช้กุญแจเครือข่าย (network key) ซึ่งมีค่าเดียวและใช้ร่วมกันภายในเครือข่าย เครือข่ายภายในบ้านของระบบที่ออกแบบขึ้นจะใช้โหมดความปลอดภัย ENC-MIC-32 และใช้กุญแจเครือข่ายเพื่อความปลอดภัยของข้อมูล

2.6. การติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

เกทเวย์ของระบบนอกจากมีหน้าที่ประสานงานภายในเครือข่ายภายในแล้วยังมีทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายภายในบ้านกับเครือข่ายภายนอก ในกรณีที่ผู้ใช้อยู่นอกบ้านก็สามารถทำการควบคุมหรือดูสถานะภายในบ้านได้ ในงานวิจัยเกี่ยวกับบ้านอัตโนมัติมักใช้คอมพิวเตอร์หรือบอร์ดวงจรที่มีระบบที่ซับซ้อนเช่น บอร์ดที่ใช้ชิปประมวลผลแบบ ARM ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์แบบฝังตัวทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือใช้การเช่าพื้นที่ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ภายนอกเพื่อใช้ในการติดต่อ เนื่องจากงานตรวจวัดและเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านนั้นไม่ได้ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง รวมถึงข้อมูลก็มีขนาดเล็ก ระบบที่กล่าวมาจึงถือว่ามีประสิทธิภาพเกินความจำเป็น มีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงสิ้นเปลืองพลังงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทำหน้าที่ในส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยเก็บเว็บเพจที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้ไว้ในหน่วยความจำภายนอก ทำให้เกทเวย์มีขนาดเล็ก ราคาถูก และกินพลังงานน้อย ผู้ใช้สามารถติดต่อกับเครือข่ายภายในบ้านด้วยเว็บบราวเซอร์จากที่ใดก็ได้ที่เข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

2.6.1 ชุดโปรโทคอล TCP/IP

<table>
<tr><th colspan="2">OSI Reference Model</th><th colspan="3">TCP/IP</th></tr>
<tr><td>7</td><td>Application</td><td rowspan="2">Application</td><td colspan="2" rowspan="2">FTP, Telnet, HTTP, SMTP,
SNMP, DNS, etc.</td></tr>
<tr><td>6</td><td>Presentation</td></tr>
<tr><td>5</td><td>Session</td><td rowspan="2">Host-to-Host</td><td rowspan="2">TCP</td><td rowspan="2">UDP</td></tr>
<tr><td>4</td><td>Transport</td></tr>
<tr><td>3</td><td>Network</td><td>Internet</td><td>ICMP, IGMP
IP</td><td>ARP, RARP</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Data Link</td><td rowspan="2">Network Access</td><td colspan="2" rowspan="2">Not Specified</td></tr>
<tr><td>1</td><td>Physical</td></tr>
</table>

ภาพที่ 2-37 ชุดโปรโทคอล TCP/IP เปรียบเทียบกับแบบอ้างอิง OSI

สำหรับการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตนั้น TCP/IP (transmission control protocol/internet protocol) เป็นชุดของโปรโทคอลที่นิยมใช้มากที่สุด และเป็นชุดโปรโทคอลพื้นฐานที่ใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มีหลายบริษัทที่ผลิตอุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ของเครือข่ายนำมาใช้เป็นมาตรฐาน ได้รับการพัฒนาตั้งแต่ปี 1970 โดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ที่ต่างระบบกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยการออกแบบ TCP/IP นั้นจะคล้ายกับแบบอ้างอิง OSI (Open system interconnect)

ชุดโปรโทคอลTCP/IP แบ่งเป็นระดับชั้น มีทั้งหมด 4 ระดับชั้นดังภาพที่ 2-37 ทำหน้าที่ร่วมกัน ระดับชั้นที่อยู่ล่างจะให้บริการกับระดับชั้นที่สูงกว่า แต่ละชั้นประกอบด้วยโปรโทคอลหลายตัวซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป การส่งข้อมูลผ่านในแต่ละชั้นทำการเพิ่มส่วนหัวและส่วนท้ายให้กับข้อมูลที่ได้รับมาเพื่อใช้ในการควบคุมการส่งให้ถึงปลายทางอย่างถูกต้อง กระบวนการนี้เรียกว่าการทำ encapsulation หรือการหุ้มข้อมูล เมื่อไปถึงฝั่งรับจะเกิดกระบวนการย้อนกลับคือในชั้นโปรโทคอลเดียวกัน ฝั่งรับจะแกะข้อมูลส่วนหัวของชั้นนั้นก่อนเพื่อให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้รับมามีลักษณะอย่างไรและดำเนินการส่วนข้อมูลที่รับมาได้อย่างถูกต้อง หน้าที่ของแต่ละชั้นในชุดโปรโทคอล TCP/IP มีรายละเอียดดังนี้

1) ชั้นประยุกต์ (application layer) ประกอบด้วยโปรโทคอลต่างๆที่ให้บริการสำหรับการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ การทำงานของโปรโทคอลในชั้นนี้จะเป็นการเข้าใช้ทรัพยากรในระยะไกลหรือการใช้ทรัพยากรร่วมกัน, ให้บริการรักษาความปลอดภัย, การเข้ารหัสและการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์ ตัวอย่างโปรโทคอลที่อยู่ในชั้นนี้ได้แก่

- HTTP (Hyper text Transfer Protocol) ใช้สำหรับการรับส่งไฟล์เวบเพจระหว่างเว็บบราวเซอร์และเวบเซิร์ฟเวอร์
- SMTP(Simple Mail Transfer Protocol) ใช้สำหรับการรับส่งอีเมลระหว่างเมลเซิร์ฟเวอร์
- POP (Post Office Protocol) ใช้สำหรับดาวน์โหลดอีเมลจากเมลเซิร์ฟเวอร์
- IMAP(Internet Message Access Protocol) ใช้สำหรับการดาวน์โหลดอีเมลจากเมลเซิร์ฟเวอร์
- FTP (File Transfer Protocol) ใช้สำหรับการถ่ายโอนไฟล์ระหว่างคอมพิวเตอร์
- Telnet (Telecommunication Network)ใช้สำหรับการเข้าใช้คอมพิวเตอร์ระยะไกล

2) ชั้นขนส่ง (Transport layer) มีหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องที่ติดต่อกัน ประกอบด้วย 2 โปรโทคอลที่สำคัญ คือ TCP และ UDP โดยโปรโทคอลแต่ละตัวจะให้บริการที่ต่างกัน และมีข้อดีข้อเสียต่างกัน

- TCP (Transmission Control Protocol) ให้บริการส่งข้อมูลแบบ connection-oriented ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้โดยสร้างการเชื่อมต่อขึ้นมาก่อนที่จะส่งข้อมูล โดยฝ่ายรับต้องทำการตอบกลับทุกๆแพคเก็ตข้อมูลที่ได้รับภายในเวลาที่กำหนดโดยการแจ้งให้ทราบผลการตรวจสอบความถูกต้อง หากฝ่ายส่งไม่ได้รับการตอบกลับภายในเวลาที่กำหนดก็จะคาดเดาว่าแพคเก็ตมีการสูญหายและทำการส่งแพคเก็ตนั้นใหม่อีกครั้ง เมื่อทำการส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วก็จะทำการยกเลิกการเชื่อมต่อ

- UDP (User Datagram Protocol) ให้บริการส่งข้อมูลแบบ connectionless ซึ่ง การส่งข้อมูลแต่ละครั้งจะไม่มีการเชื่อมต่อก่อน และไม่มีกลไกตอบรับแพคเก็ต เหตุที่ตัดกลไกนี้ออกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการส่งเนื่องจากมี overhead น้อยกว่าแบบ TCP แต่ข้อเสียคือ การรับส่งมีความน่าเชื่อถือต่ำ หากเกิดการสูญหายของแพคเก็ตฝ่ายส่งจะไม่ทราบ โดยปล่อยให้เป็นหน้าที่ของชั้นประยุกต์ในการตรวจสอบ

3) ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet Layer) มีหน้าที่ส่งข้อมูลจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง โดยค้นหาเส้นทางที่ข้อมูลเดินทางจากเครือข่ายหนึ่งไปยังเครือข่ายหนึ่งจนถึงปลายทาง มีโปรโทคอลที่สำคัญคือ

- IP (Internet Protocol) เป็นโปรโทคอลหลักในการสื่อสารข้อมูล ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางโดยใช้ IP address ในการอ้างอิง ให้บริการแบบ connectionless นั่นคือจะส่งแพคเก็ตออกไปทันทีโดยไม่มีการเชื่อมต่อก่อน

- ICMP (Internet Control Message Protocol) ทำหน้าที่รายงานข้อผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการส่ง

- IGMP (Internet Group Management Protocol) ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลเป็นกลุ่ม เช่นส่งแบบ multicast

- ARP (Address Resolution Protocol) ทำหน้าที่แปลง IP address เป็น MAC address ซึ่งก็คือหมายเลขประจำตัวของส่วนติดต่อฮาร์ดแวร์ (Hardware interface) ซึ่งในโลกนี้จะไม่ซ้ำกันเลย

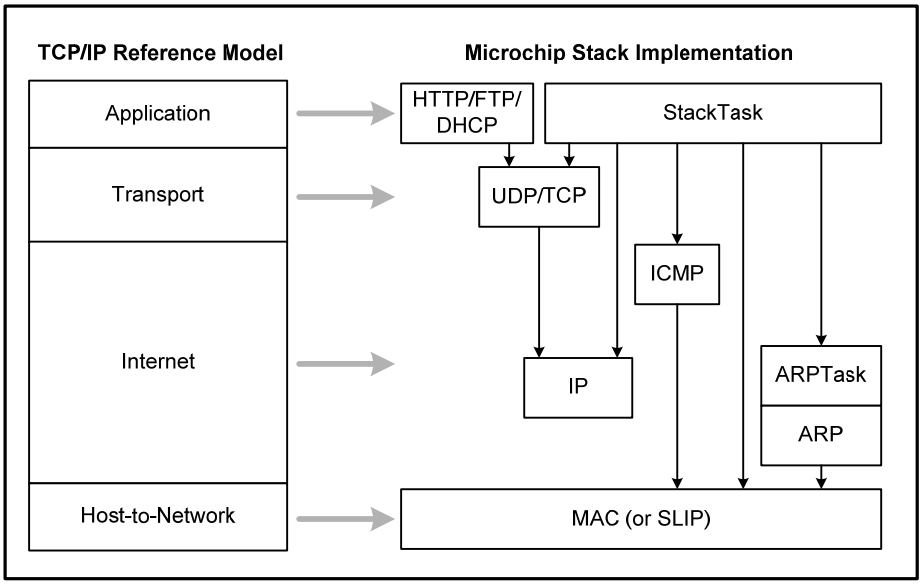
- RARP (Reverse Address Resolution Protocol) ทำหน้าหน้ากลับกันกับ ARP คือ แปลง MAC Address เป็น IP Address

4) ชั้นการเชื่อมต่อ (Link layer) ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลในระดับฮาร์ดแวร์ของเครือข่าย รับผิดชอบในการส่งข้อมูลในระดับกายภาพ การแปลความหมายระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้ากับข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ สื่อกลางในการรับส่งอาจเป็นสายเคเบิล, แสงหรือคลื่นวิทยุ

2.6.2 ซอฟต์แวร์ TCP/IP stack ที่ใช้ในระบบบ้านอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ TCP/IP stack ของบริษัท Microchip ซึ่งเขียนขึ้นด้วยภาษาซี การทำงานของแต่ละชั้นจะมีลักษณะเป็นมอดูล โดยในหลายๆชั้นจะเสมือนว่ามีการทำงานอยู่เบื้องหลังอยู่ตลอดนั่นคือ ไม่ได้ทำงานเฉพาะเมื่อเกิดการร้องขอใช้บริการ แต่จะทำงานเมื่อเกิดเหตุการณ์บางอย่างด้วย เช่น เมื่อมีแพคเก็ตใหม่ส่งเข้ามา หรือหมดเวลาในการรอแพคเก็ต เป็นต้น การทำงานของ TCP/IP stack จะคล้ายกับชุดโปรโทคอล TCP/IP แต่ไม่ได้ทำหน้าที่ครบทุกอย่าง และการทำงานอาจไม่ได้ทำตามลำดับชั้นซึ่งขึ้นอยู่กับว่าต้องการใช้บริการพิเศษจากชั้นนั้นหรือไม่ เนื่องจากต้องการลด overhead ของแพคเก็ต

ข้อแตกต่างสำคัญระหว่าง TCP/IP stack และชุดโปรโทคอล TCP/IP ที่สำคัญคือ มีการเพิ่มมอดูล StackTask และ ARPTask เข้าไป โดย StackTask จะจัดการการทำงานของ Stack และมอดูลทั้งหมด ส่วน ARPTask จัดการเกี่ยวกับการให้บริการของมอดูล ARP การทำงานของ StackTask และ ARPTask จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า coorperative multitasking ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนเล็กๆ (job) ทำให้แต่ละมอดูลภายใน stack สามารถทำงานแบบไม่เข้าจังหวะ (asynchronous) ได้ รวมถึงสามารถทำงานได้อย่างอิสระจากงานหลัก (main application) ด้วย



ภาพที่ 2-38 TCP/IP stack ของบริษัท Microchip

เกทเวย์ใช้ TCP/IP stack ในการทำงานเป็นเซิร์ฟเวอร์ HTTP หรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้โปรโตคอล HTTP ในชั้นประยุกต์ซึ่งเป็นโปรโทคอลที่ใช้ในการร้องขอและการตอบรับแบบเครื่องลูกข่าย-แม่ข่าย (client-server) โดยเครื่องลูกข่ายจะสร้างการร้องขอ HTTP (HTTP request) ผ่านทางเว็บบราวเซอร์ ส่วนเครื่องเซิร์ฟเวอร์มีหน้าที่ในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับเว็บไซต์ โดยเก็บไฟล์เว็บเพจซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา HTML (hypertext markup language) เพื่อใช้ในการแสดงผล แต่ละเว็บเพจสามารถสามารถใส่ข้อมูลได้หลากหลาย ทั้งข้อความ ภาพ และเสียง เว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการตอบสนองการร้องขอโดยดำเนินการตอบกลับพร้อมกับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการ หลังจากนั้นเว็บบราวเซอร์จะทำการแสดงผลแก่ผู้ใช้ต่อไป

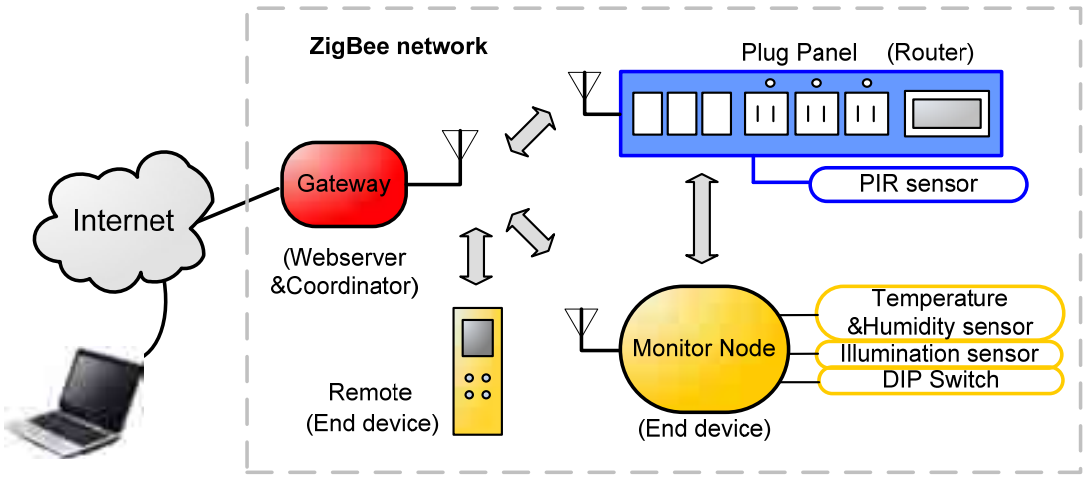
เว็บเซิร์ฟเวอร์ใช้ส่วนติดต่อแบบ CGI (common gateway interface) ซึ่งมีการดัดแปลงสำหรับ CGI เป็นมาตรฐานสำหรับเว็บเซิร์ฟเวอร์ในการส่งผ่านการร้องขอจากเว็บบราวเซอร์ไปยังส่วนโปรแกรม โดย CGI เป็นโปรแกรมหรือสคริปต์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลในเว็บเซิร์ฟเวอร์และนำข้อมูลนั้นส่งกลับไปยังผู้ใช้ ซึ่งการนำ CGI มาใช้จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นหรือลูกเล่นต่างๆให้กับเว็บไซต์ ทำให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลโต้ตอบกับเว็บไซต์ได้ ต่างจากไฟล์ HTML เปล่าซึ่งแสดงข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือส่งคำสั่งได้

บทที่ 3

รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์

ระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกลสำหรับบ้านอัตโนมัติที่ออกแบบขึ้นแบ่งตามหน้าที่การทำงานได้เป็น 4 ประเภท คือ เกทเวย์, แผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อยและรีโมทควบคุม แต่ละห้องภายในบ้านจะติดตั้งแผงปลั๊ก และส่วนตรวจวัดย่อยเพื่อทำการควบคุมการเปิด-ปิดไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงวัดค่าสถานะต่างๆ ของห้อง

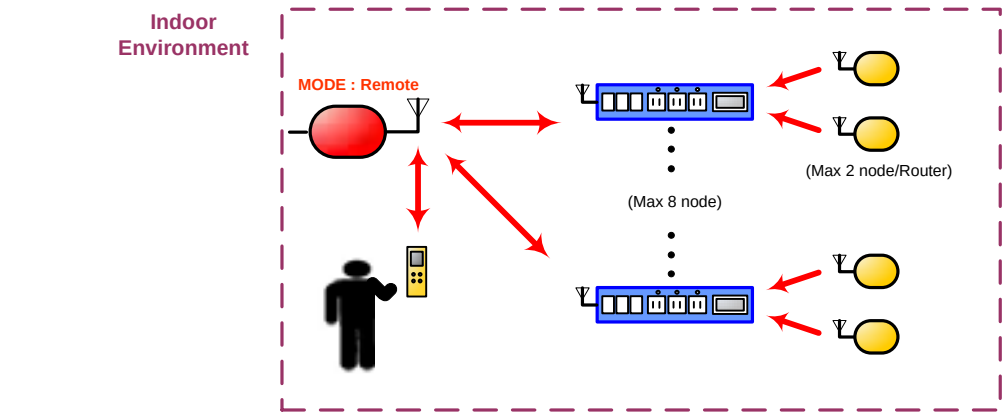
ส่วนตรวจวัดย่อยแบ่งเป็น 2 ชนิด ข้อมูลที่ได้จากส่วนตรวจวัดย่อยทั้งสองจะถูกส่งไปแสดงผลที่จอแอลซีดีของแผงปลั๊กเพื่อแสดงสถานะของห้องด้วยมอดูล Zigbee ผ่านทางคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิทซ์ แผงปลั๊กมีปลั๊กเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว และมีขั้วต่อสายไฟสำหรับต่อไปยังหลอดไฟได้ทั้งหมด 3 ดวง การเปิด-ปิดไฟสามารถกดที่สวิทช์บนแผงปลั๊กได้โดยตรง หรือผ่านทางการควบคุมระยะไกล แผงปลั๊กสามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้ และตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้อง เพื่อนำไปตัดสินใจในการเปิด-ปิดไฟได้



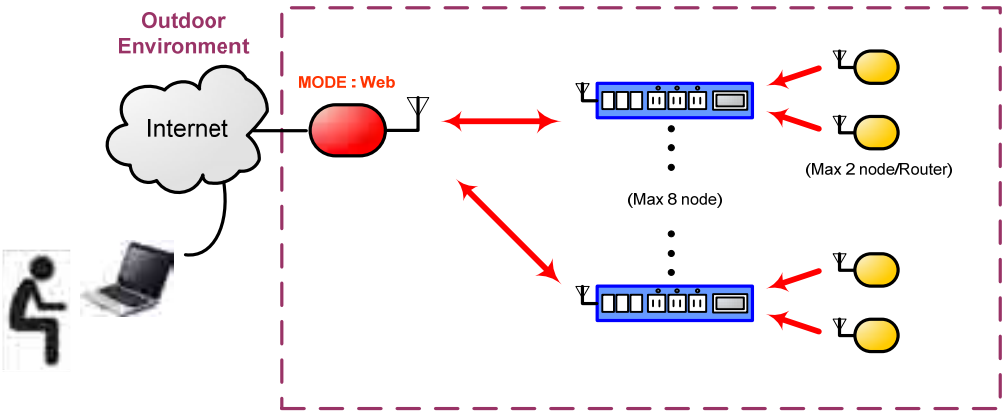
ภาพที่ 3-1 ฮาร์ดแวร์ของระบบบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

สถานะล่าสุดของทุกห้องจะถูกส่งไปยังส่วนกลางเพื่อแสดงสถานะทั้งหมดภายในบ้าน โดยมีเกทเวย์ทำหน้าประสานการทำงานของเครือข่าย เกทเวย์มีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดเว็บเพจและโหมดรีโมท ในกรณีที่ผู้ใช้อยู่ภายในบ้าน สามารถดูข้อมูลและควบคุมผ่านทาง

รีโมท ซึ่งใช้การสื่อสารผ่านเครือข่าย Zigbee ส่วนกรณีที่ผู้ใช้ไม่ได้อยู่บ้าน จะติดต่อกับเกทเวย์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และแสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเว็บเพจ ในกรณีที่แผงปลั๊กอยู่ในระยะที่ไม่สามารถติดต่อกับเกทเวย์ หรือมีสิ่งกีดขวาง ก็จะส่งผ่านข้อมูลให้กับแผงปลั๊กข้างเคียง เพื่อส่งต่อไปยังเกทเวย์ได้ ทำนองเดียวกันกับการส่งคำสั่งควบคุมจากเกทเวย์สามารถส่งผ่านแผงปลั๊กอื่นไปยังแผงปลั๊กปลายทางได้



(ก)



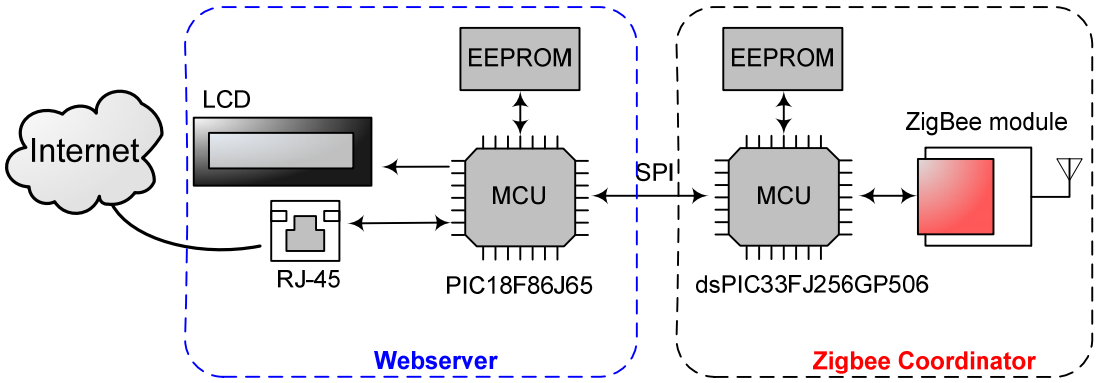
(ข)

ภาพที่ 3-2 โหมดการทำงาน (ก) โหมดรีโมท (ข) โหมดเกทเวย์

3.1. โครงสร้างภายในของส่วนต่างๆในระบบบ้านอัตโนมัติ

3.1.1. เกทเวย์

เกทย์เวย์ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายภายในบ้านและเครือข่ายภายนอก สำหรับเครือข่ายภายในบ้าน เกทเวย์จะทำหน้าที่เป็น Zigbee coordinator ทำหน้าที่คอยประสานงานระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ และสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ติดต่อกับผู้ใช้ทางบราวเซอร์ เกทเวย์ของระบบจึงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัวทำหน้าที่ดังกล่าว

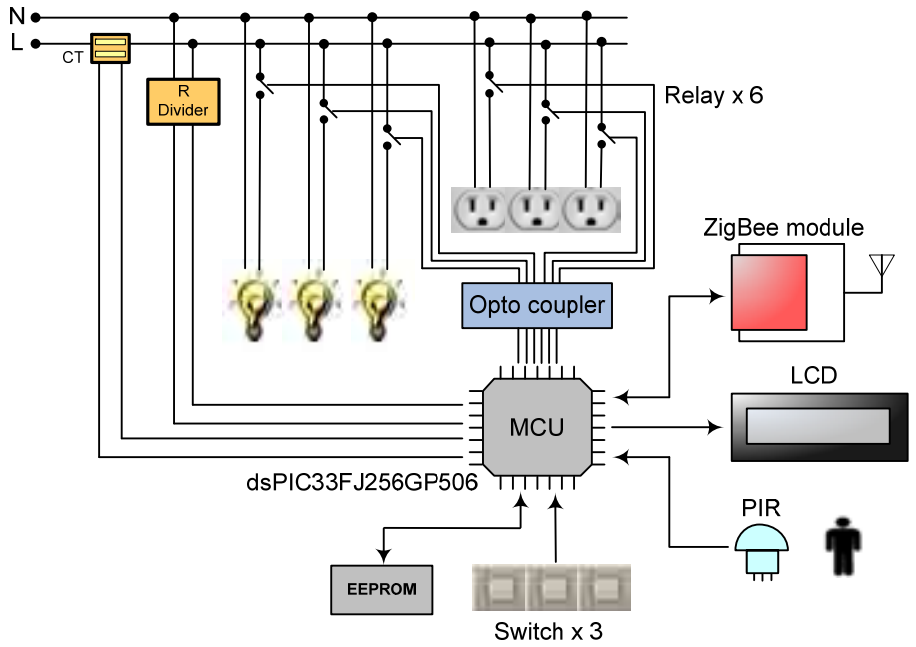


ภาพที่ 3-3 โครงสร้างภายในของเกทเวย์

Zigbee coordinator ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 ทำหน้าที่ประสานการทำงานต่างๆระหว่างอุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติ ติดต่อกับเครือข่ายภายในบ้านด้วยมอดูล Zigbee และใช้ PIC18F86J65 ซึ่งมีมอดูล Ethernet ภายใน ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทั้งสองตัวติดต่อกันผ่านพอร์ต SPI ฝั่ง coordinator ติดต่อกับมอดูล Zigbee เพื่อใช้ในการจัดการและรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติ หน่วยความจำ EEPROM ใช้สำหรับเก็บค่าต่างๆ ที่ใช้ในโปรโทคอล Zigbee ทางฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์มีพอร์ต RJ45 สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มีจอแอลซีดีแสดงการทำงานของเกทเวย์ และมีหน่วยความจำ EEPROM สำหรับเก็บเว็บเพจ

3.1.2. แผงปลั๊ก

ภายในแผงปลั๊กประกอบด้วยรีเลย์ 6 ตัว แบ่งเป็นปิดปิดไฟ 3 ตัวและเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง การเปิด-ปิดไฟ รีเลย์จะต่อกับขั้วต่อ สำหรับเดินสายไฟไปยังหลอดไฟ สำหรับการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า รีเลย์จะต่อกับปลั๊กสำหรับเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถควบคุมระยะไกลโดยการส่งคำสั่งผ่านเครือข่าย Zigbee สำหรับการเปิด-ปิดไฟสามารถใช้สวิทช์ที่แผงปลั๊กได้โดยตรง

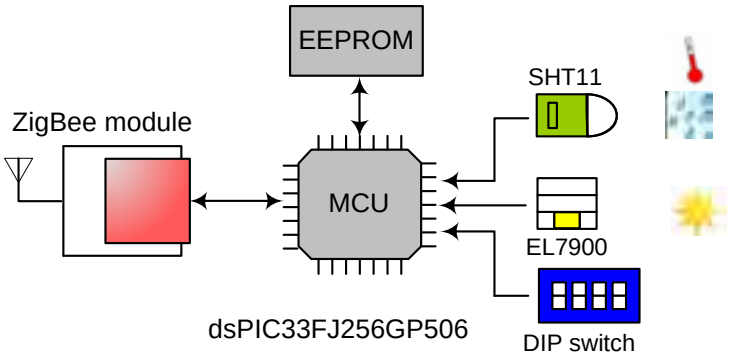


ภาพที่ 3-4 โครงสร้างภายในของแผงปลั๊ก

สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้านั้น มีพิกัดโหลดที่กระแสสูงสุด 10 แอมป์ แรงดัน 220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิทซ์ ทำการดึงสัญญาณแอนะล็อกของกระแสผ่านหม้อแปลงกระแส (Current transformer) และดึงสัญญาณแอนะล็อกของแรงดันโดยใช้การแบ่งแรงดัน (Voltage divider) สัญญาณที่ได้จะถูกปรับขนาดให้เหมาะสม (Signal conditioning) แล้วผ่านเข้ามอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในไมโครคอนโทรเลอร์ เพื่อทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในแผงปลั๊กนั้น มีจอแอลซีดีสำหรับแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ และค่าสถานะของห้องที่ส่งมาจากส่วนตรวจวัดย่อยทั้ง 2 ตัว ติดต่อสื่อสารในเครือข่ายด้วยมอดูล Zigbee ในการรับส่งข้อมูล ใช้หน่วยความจำ EEPROM ในการเก็บค่าสถานะต่างๆ มีส่วนตรวจจับความเคลื่อนไหวโดยติดต่อกับตัวรับรู้แบบ PIR

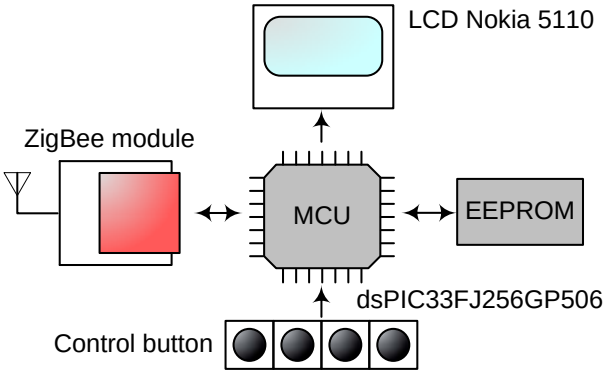
3.1.3. **ส่วนตรวจวัดย่อย**

ส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติมี 2 แบบ คือ แบบที่วัดอุณหภูมิ ความชื้น ความสว่าง และแบบที่ตรวจจับสถานะการเปิด-ปิดประตู ตรวจจับควัน ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในส่วนฮาร์ดแวร์นั้นจะออกแบบไว้แบบเดียวแต่ใช้ทำหน้าที่ได้ทั้ง 2 แบบ การวัดอุณหภูมินั้นใช้ไอซี SHT11 ผ่านพอร์ต I^2C และวัดความสว่างโดยใช้ไอซี EL7900 ต่อเข้ามอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ใช้หน่วยความจำ EEPROM เก็บค่าสถานะต่างๆ และติดต่อกับเครือข่ายในบ้านด้วยมอดูล Zigbee ส่วนการตรวจจับสถานะการเปิด-ปิดประตู ตรวจจับควัน ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะจำลองสถานการณ์ตรวจจับด้วยสวิทช์แบบ DIP



ภาพที่ 3-5 โครงสร้างภายในของส่วนตรวจวัดย่อย

3.1.4. **รีโมทควบคุม**

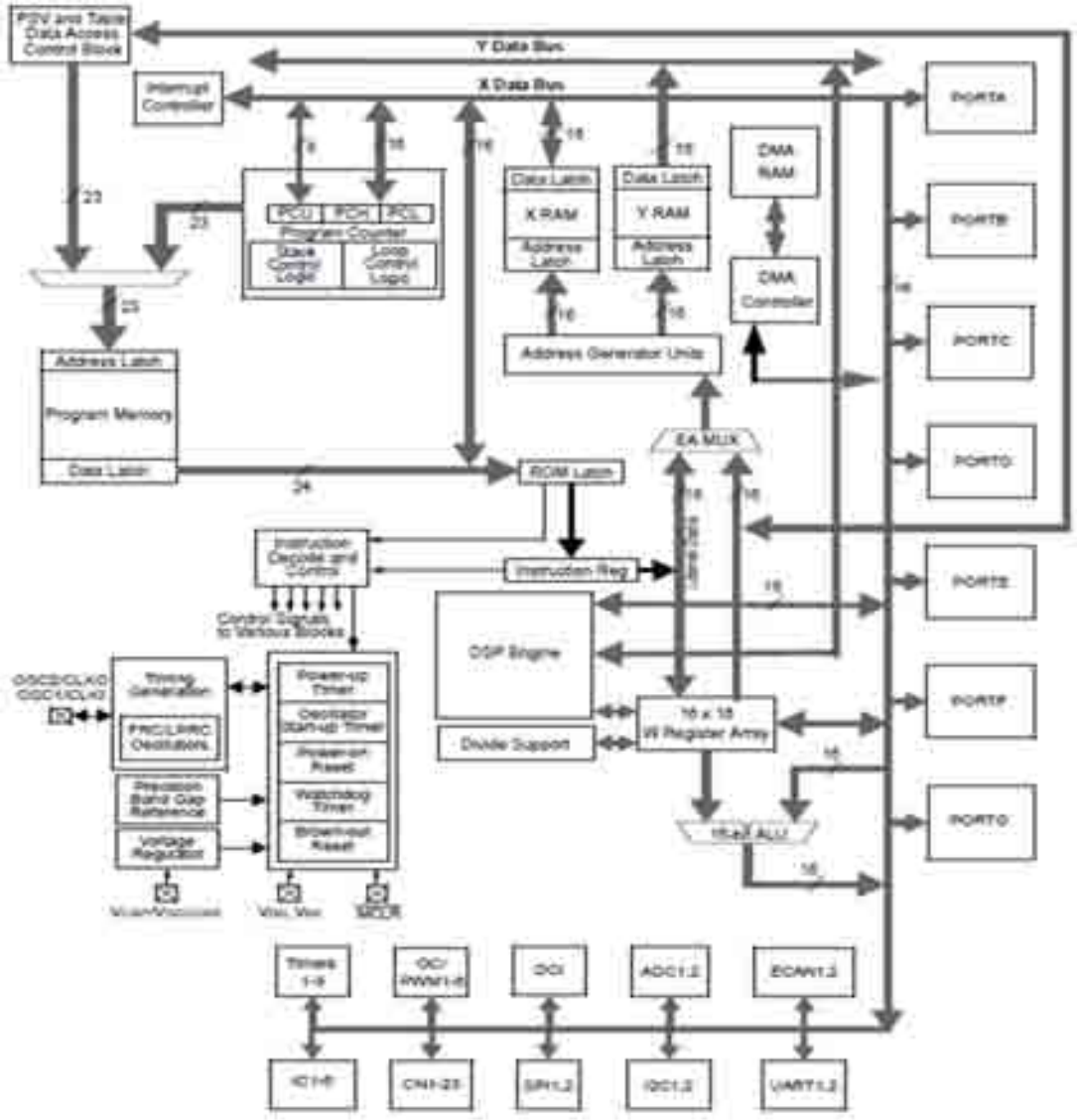


ภาพที่ 3-6 โครงสร้างภายในของรีโมทควบคุม

รีโมทควบคุมใช้สำหรับดูสถานะหรือควบคุมอุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติในกรณีที่ผู้ใช้อยู่ที่บ้าน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง มีปุ่มควบคุม 6 ปุ่มแบบกดติดปล่อยดับ ใช้จอ NOKIA 5110 ซึ่งเป็นจอแอลซีดีแบบกราฟิกเป็นส่วนแสดงผล ใช้หน่วยความจำ EEPROM เก็บค่าสถานะต่างๆ และติดต่อกับเครือข่ายในบ้านด้วยมอดูล Zigbee

3.2. รายละเอียดของอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ

3.2.1. หน่วยประมวลผลกลางในเครือข่าย Zigbee



ภาพที่ 3-7 โครงสร้างภายในของ dsPIC33FJ256GP506

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 ของบริษัท Microchip มีจำนวนขา 64 ขา ทำงานที่ความเร็ว 40 ล้านคำสั่งต่อวินาที มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 256 กิโลไบต์ หน่วยความจำ RAM ขนาด 16 กิโลไบต์ มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สามารถเลือกความละเอียดได้คือ ขนาด 10 บิตที่อัตราชักสัญญาณ 1.1 เมกะแซมเปิ้ลต่อวินาที และขนาด 12 บิต ที่อัตราชักสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิ้ลต่อวินาที มีมอดูลเข้าถึงหน่วยความจำโดยตรงหรือ DMA (Direct Memory Access) 8 ช่องทาง ซึ่งภายในมีหน่วยความจำ RAM แบบ 2 ช่องทาง ขนาด 2 กิโลไบต์ ในส่วนตัวควบคุมการขัดจังหวะ(Interrupt controller) มีแหล่งกำเนิดสัญญาณขัดจังหวะสูงสุด 63 แหล่ง และสามารถรับสัญญาณขัดจังหวะภายนอกได้ 5 แหล่ง มีพอร์ต SPI (Serial Peripheral Interface) 2 พอร์ตรองรับข้อมูลทั้งแบบ 8 บิต และ 16 บิต หรือกำหนดให้ทำงานเป็นพอร์ต I^2C (Inter IC Communication)และมีตัวจับเวลา (Timer) ขนาด 16 บิตทั้งหมด 9 ตัว หน่วยประมวลผลกลางในเครือข่าย Zigbee ใช้คริสตัลเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 16 เมกะเฮิทซ์ มีรายละเอียดการทำงานของมอดูลภายในแตกต่างกันสำหรับอุปกรณ์แต่ละประเภท ดังนี้

3.2.1.1. การทำงานของหน่วยประมวลผลกลางส่วน Zigbee coordinator ในเกทเวย์

- ใช้พอร์ต SPI1 ร่วมกันในการติดต่อกับมอดูล Zigbee และหน่วยความจำ EEPROM
- ใช้พอร์ต SPI2 ในการติดต่อกับส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยทำงานในโหมด master
- ใช้ตัวจับเวลา(Timer) 4 และ 5 ต่อกันเป็นขนาด 32 บิตเพื่อสร้างฐานเวลาในการร้องขอข้อมูลสถานะทุกๆ 2 นาที ตัวจับเวลา 6 และ 7 ต่อกันเป็นตัวจับเวลา 5 วินาทีในการร้องขอข้อมูลสถานะซ้ำหรือร้องขอการลงทะเบียนจากแผงปลั๊กหากไม่พบว่ามีแผงปลั๊กลงทะเบียนอยู่เลย
- ใช้ขาทั่วไปในการสร้างสัญญาณควบคุมการรับส่งข้อมูลกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ , ต่อกับไดโอดเปล่งแสงเพื่อแสดงการทำงาน

3.2.1.2. การทำงานของหน่วยประมวลผลกลางในแผงปลั๊ก

- ใช้มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลช่อง 0 (CH0) ในการแปลงสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ที่ความละเอียด 12 บิต อัตราชักสัญญาณ 4 กิโลแซมเปิ้ลต่อวินาที โดยสลับการชักสัญญาณทุก 12.5 ไมโครวินาที

- ใช้มอดูล DMA ช่อง 0 (DMA0) ในโหมด continuous Ping Pong แบบ register indirect เป็นบัฟเฟอร์เก็บสัญญาณแรงดันและกระแสดิจิทัลที่ได้จากการแปลงของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล โดยจองบัฟเฟอร์ไว้ 2 ชุด แต่ละชุดเก็บสัญญาณกระแสและแรงดันได้ 320 ค่า โดยสลับการทำงานระหว่างการพักข้อมูลที่ได้จากมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และการนำข้อมูลที่เก็บในบัฟเฟอร์นี้ไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อข้อมูลถูกเก็บเต็มบัฟเฟอร์ มอดูล DMA จะส่งสัญญาณขัดจังหวะเพื่อสลับการทำงาน
- ใช้ตัวจับเวลา3 (Timer3) ขนาด 16 บิต เป็นตัวให้จังหวะ (trigger) มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในการชักสัญญาณแรงดันและกระแส ใช้ตัวจับเวลา 4 และ 5 ต่อกันในการสร้างฐานเวลา 30 วินาทีในการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อย และอัพเดทข้อมูลบนจอแอลซีดี ใช้ตัวจับเวลา 6 และ 7 ต่อกัน ในการจับเวลา 5 วินาทีในการร้องขอข้อมูลซ้ำ และใช้ตัวจับเวลา 2 ในการจับเวลาร่วมกับตัวรับรู้สำหรับตรวจจับความเคลื่อนไหว
- ใช้พอร์ต SPI1 ติดต่อกับมอดูล Zigbee และพอร์ต SPI2 ในการติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM
- ใช้ขาทั่วไป (GPIO : General Purpose Input Output) ควบคุมการแสดงผลที่จอแอลซีดี, สั่งเปิด-ปิดรีเลย์, รับสัญญาณจากตัวรับรู้แบบ PIR และติดต่อกับสวิทช์เปิด-ปิด

3.2.1.3. การทำงานของหน่วยประมวลผลกลางในส่วนตรวจวัดย่อย

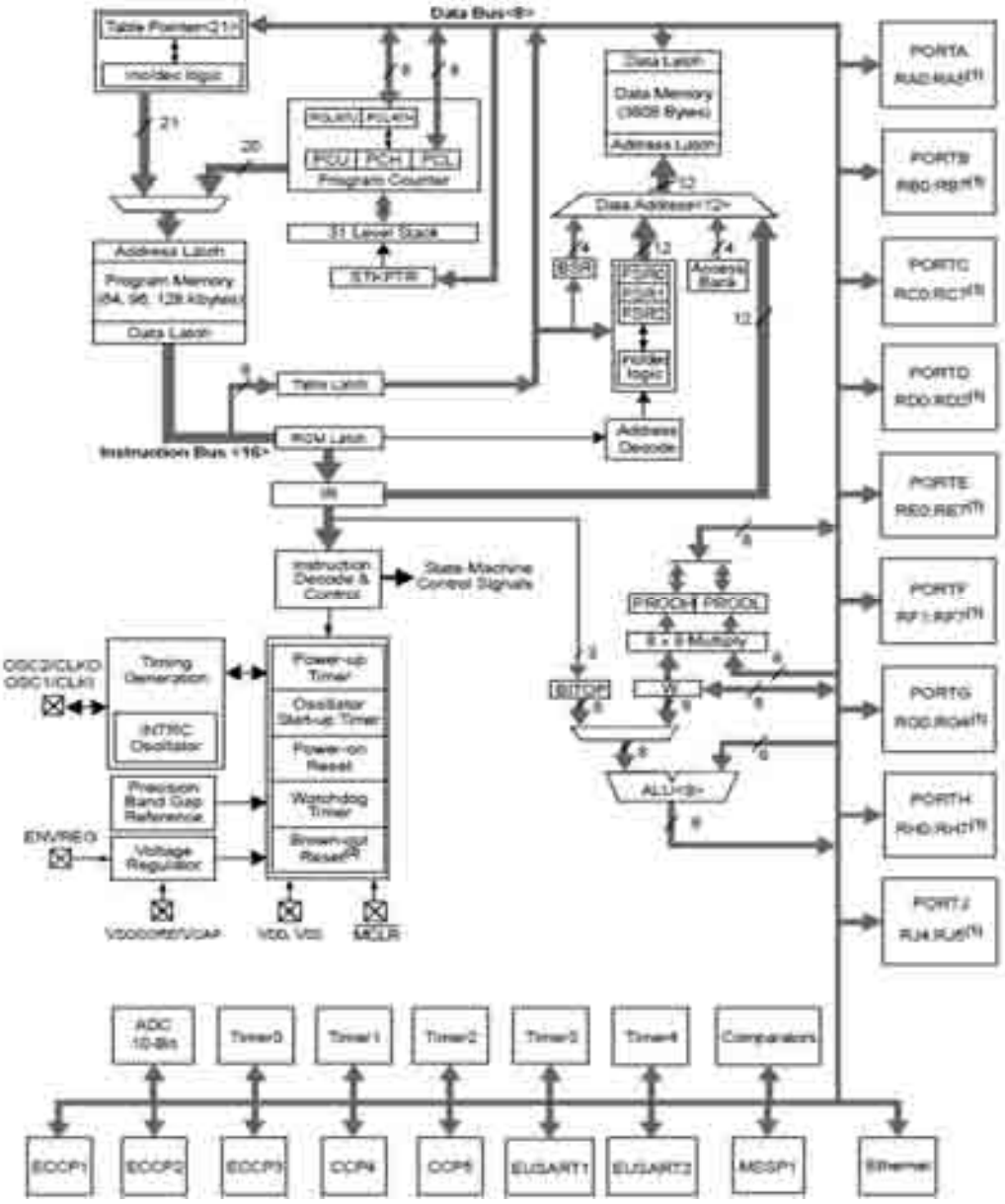
- ใช้มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลช่อง 0 ในการแปลงสัญญาณแรงดันที่ได้จากตัวรับรู้ความสว่าง โดยกำหนดการทำงานขอมอดูลด้วยโปรแกรมเอง (manual trigger)
- ใช้พอร์ต I^2C ในการติดต่อกับตัวรับรู้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น
- ใช้พอร์ต SPI1 ติดต่อกับมอดูล Zigbee และพอร์ต SPI2 ติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM
- ใช้ตัวจับเวลา 4 และ 5 ต่อกันในการสร้างฐานเวลา 3 วินาทีในการตรวจวัด
- ใช้ขาทั่วไปติดต่อกับสวิทช์แบบ DIP จำลองการทำงานของตัวตรวจจับการเปิด-ปิดประตู ตรวจจับควัน ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.2.1.4. การทำงานของหน่วยประมวลผลกลางในรีโมทควบคุม

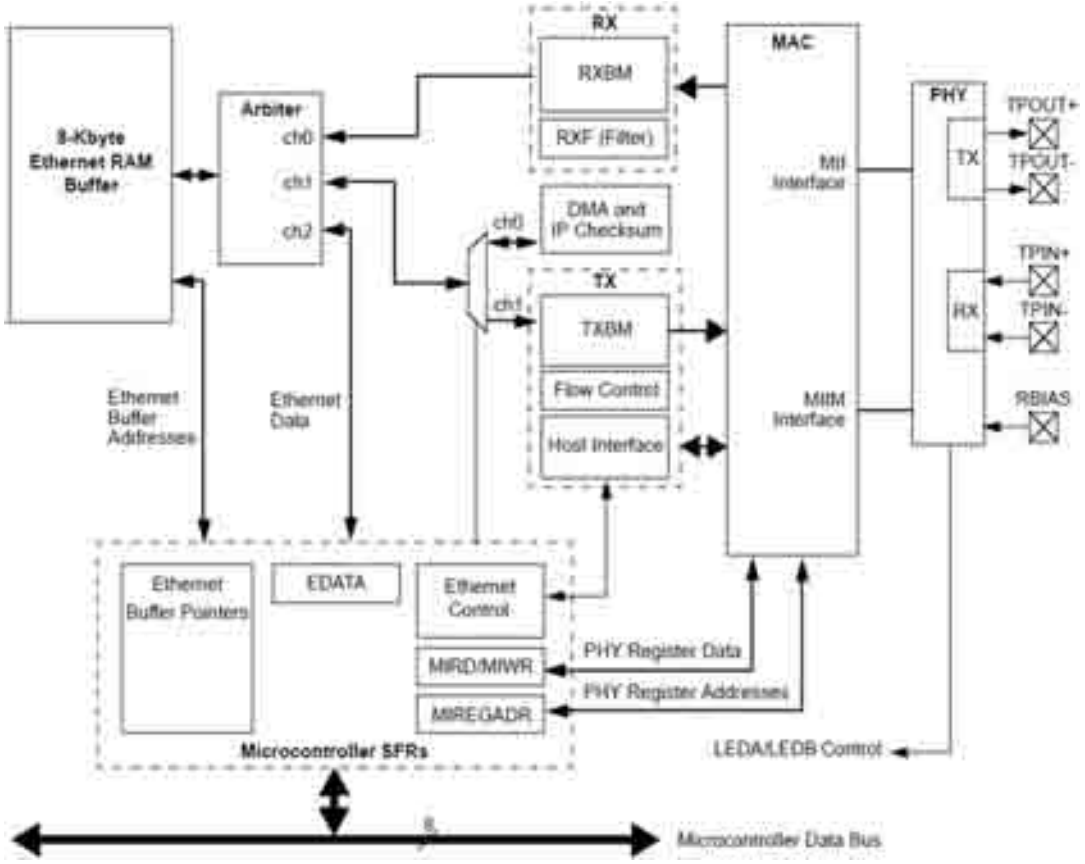
- ใช้พอร์ต SPI1 ร่วมกันในการติดต่อกับมอดูล Zigbee และหน่วยความจำ EEPROM
- ใช้พอร์ต SPI2 ควบคุมการแสดงผลที่จอแอลซีดี NOKIA 5110
- ใช้ตัวจับเวลา 2 และ 3 ต่อกันในการหน่วงเวลาการแสดงผลเมนูขณะส่งคำสั่ง ใช้ตัวจับเวลา 4 และ 5 ต่อกัน สร้างฐานเวลาในการหลับ ซึ่งหากไม่มีการกดปุ่มใดเลยเป็นเวลา 10 นาที จะหลับ และทำการปิดจอแอลซีดี เพื่อประหยัดพลังงาน และใช้ตัวจับเวลา 6 และ 7 ต่อกัน จับเวลา 10 วินาทีในการส่งสถานะการทำงานซ้ำ ในกรณีที่ส่งสถานะการทำงานไปยังเกทเวย์แต่ยังไม่ได้แพคเก็ตตอบรับ
- ใช้ขาทั่วไปในการรับสัญญาณจากปุ่มกดเพื่อควบคุมการทำงานของรีโมท

3.2.2. หน่วยประมวลผลกลางของเว็บเซิร์ฟเวอร์

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F86J65 ของบริษัท Microchip มีจำนวนขา 80 ขา ภายในมีมอดูล Ethernet ซึ่งมีความเข้ากันได้กับเครือข่ายแบบ 10/100/1000 Base-T โดยประกอบด้วยชั้นเข้าถึงสื่อกลาง (MAC) และชั้นกายภาพ(PHY) แบบ 10 Base-T มีบัฟเฟอร์แบบ SRAM ในการรับส่งแพคเก็ตข้อมูลขนาด 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาด 96 กิโลไบต์และหน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 3808 ไบต์ มีพอร์ตอนุกรม MSSP(Master Synchronous Serial Port) 1 พอร์ตซึ่งสามารถเลือกการทำงานเป็นแบบ SPI หรือ I^2C ได้ และมีตัวจับเวลา(Timer) 5 ตัว



ภาพที่ 3-8 โครงสร้างภายในของ PIC18F86J65



ภาพที่ 3-9 มอดูล Ethernet ภายในของ PIC18F86J65

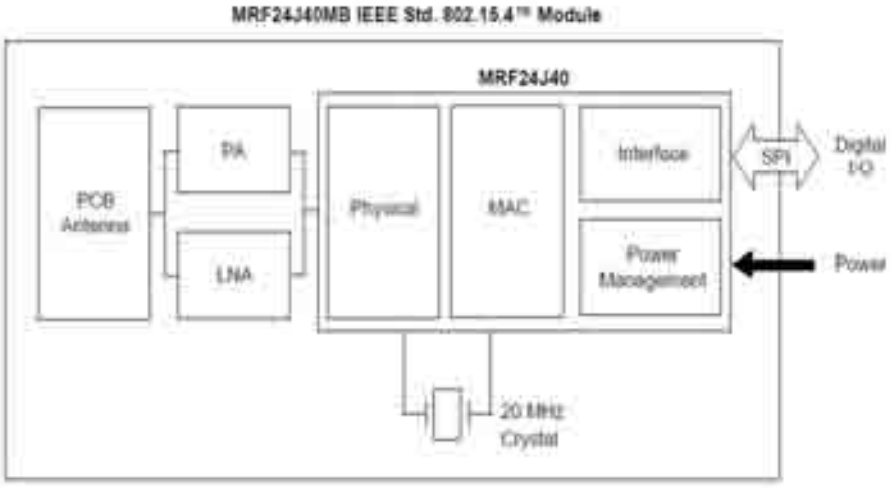
3.2.1.1. การทำงานของหน่วยประมวลผลกลางส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์

- ใช้พอร์ต MSSP ทำหน้าที่เป็น SPI โดยใช้ร่วมกันในการติดต่อกับ Zigbee coordinator และติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM ซึ่งใช้เก็บเว็บเพจ รวมถึงค่าต่างๆที่จำเป็นในการแสดงผลบนเว็บเพจ
- ใช้ขาของมอดูล Ethernet ต่อกับหัว RJ45 ในการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
- ใช้ขาทั่วไปในการควบคุมการแสดงผลจอแอลซีดี และควบคุมการรับส่งข้อมูลกับ Zigbee coordinator

3.2.3. **มอดูล** Zigbee

ภาพที่ 3-10 มอดูล MRF24J40MB

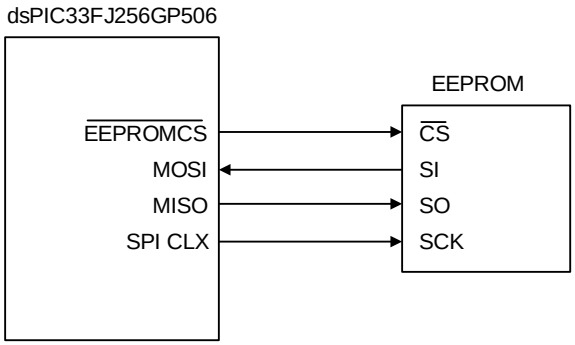
ใช้มอดูล MRF24J40MB ของบริษัท Microchip ซึ่งมีความเข้ากันได้กับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยรองรับทั้งเครือข่าย Zigbee, MiWi และ MiWi P2P โดยใช้ระดับแรงดัน 2.4-3.6 โวลต์ ทำงานที่ย่านความถี่ ISM 2.405-2.475 กิกะเฮิทซ์ มีอัตราการรับส่งข้อมูล 250 กิโลบิตต่อวินาที รับส่งข้อมูลได้ไกลสูงสุด 4000 ฟุตในที่โล่ง รองรับการทำงานแบบ broadcast, multicast และ unicast ทำหน้าที่ในส่วนชั้นควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (MAC) และชั้นกายภาพ (PHY) ของโปรโทคอล Zigbee สามารถทำ CSMA-CA โดยฮาร์ดแวร์ และทำการส่งสัญญาณตอบรับ (Acknowledge),ส่งแพคเก็ตข้อมูลอีกครั้งในกรณีที่ตัวรับไม่ได้รับ (Packet retransmit) ได้โดยอัตโนมัติ สนับสนุนโหมด RSSI/LQI ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย SPI



ภาพที่ 3-11 โครงสร้างภายในของมอดูล MRF24J40MB

3.2.4. **หน่วยความจำ** EEPROM

สำหรับการเก็บข้อมูลต่างๆที่จำเป็นในโปรโทคอล Zigbee เช่น ตารางโหนดข้างเคียง ใช้ชิป Atmel 334 ของบริษัท Atmel ซึ่งมีขนาด 256 กิโลบิต ติดต่อผ่านพอร์ต SPI โดยมีอัตราเร็วในการติดต่อ 2 เมกะบิตต่อวินาที แพคเกจเป็นแบบ through hole ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ง่าย เนื่องจากการติดต่อในเครือข่าย Zigbee มีการอ่าน/เขียนข้อมูลบ่อยครั้ง ส่วนหน่วยความจำที่ใช้เก็บไฟล์เว็บเพจ ใช้ชิป 25LC256 ของบริษัท Microchip มีขนาด 256 กิโลบิต ติดต่อผ่านพอร์ต SPI แพคเก็ตเป็นแบบ surface mount และมีขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดเนื้อที่ของเกทเวย์



ภาพที่ 3-12 การติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM

3.2.5. **ส่วนการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก**

การวัดกำลังไฟฟ้าในแผงปลั๊กประกอบด้วยส่วนฮาร์ดแวร์ต่างๆ ดังนี้

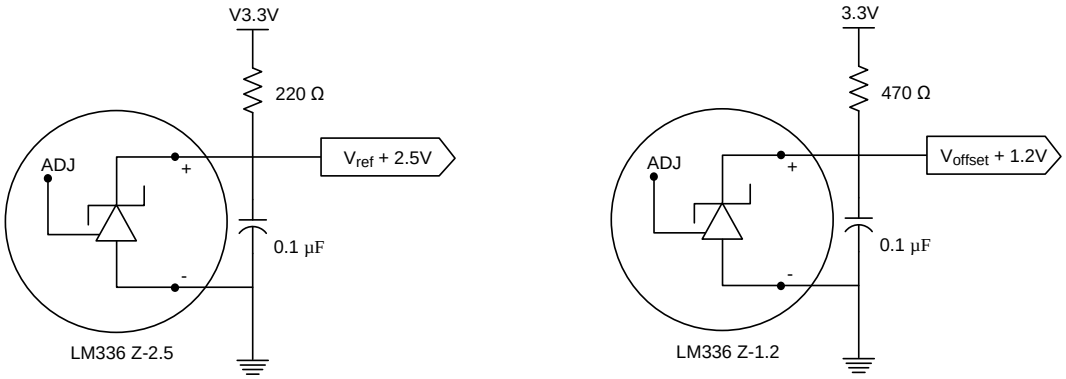
3.2.5.1. **หม้อแปลงกระแส** (Current Transformer)

ใช้หม้อแปลงกระแสที่ความแม่นยำระดับคลาส 0.1% อัตราส่วนขดลวดปฐมภูมิต่อทุติยภูมิ 1: 2500 มีความเป็นเชิงเส้นในช่วง 0-10 แอมป์

ภาพที่ 3-13 หม้อแปลงกระแส

3.2.5.2. วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงและแรงดันออฟเซต

ในการสร้างแรงดันออฟเซต ใช้ชิป LM336 Z-2.5 สร้างแรงดันขนาด 2.5 โวลต์และ LM385 Z-1.2 สร้างแรงดัน 1.2 โวลต์จากไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ โดยแรงดัน 2.5 โวลต์ใช้สำหรับเป็นแรงดันอ้างอิงของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล โดยต่อกับแรงดันอ้างอิงบวก และแรงดัน 1.2 โวลต์ ใช้สำหรับเป็นแรงดันออฟเซตในวงจรปรับขนาดสัญญาณแรงดันและกระแสเพื่อยกระดับสัญญาณให้สามารถวัดค่าที่เป็นลบได้



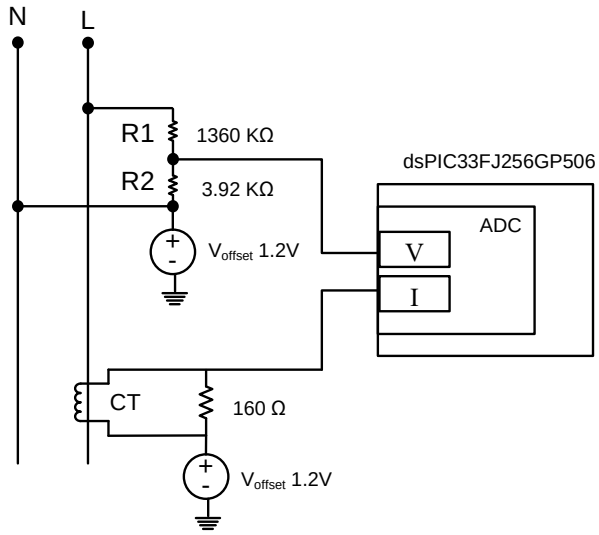
ภาพที่ 3-14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิงและแรงดันออฟเซต

3.2.5.3. วงจรปรับขนาดสัญญาณ

วงจรปรับขนาดสัญญาณใช้เพื่อปรับระดับแรงดันที่ทำการวัดลงมาให้อยู่ในช่วงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับได้ โดยทำการแปลงสัญญาณแรงดันและกระแสในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ให้อยู่ช่วงไม่เกิน 0-3.3 โวลต์ ในการออกแบบจะวัดที่ช่วงสัญญาณ 0-2.5 โวลต์ โดยใช้ LM336 Z-2.5 ในการสร้างแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์ต่อกับแรงดันอ้างอิงบวก(Vref+) และ LM336 Z 1.2 ในการสร้างแรงดันออฟเซต 1.2 โวลต์ ส่วนสัญญาณอ้างอิงลบจะต่อกับกราวด์ของระบบ โดยสัญญาณขาเข้าจะผ่านวงจรปรับขนาดดังนี้

1. วงจรปรับขนาดแรงดัน ใช้การแบ่งแรงดันโดยตัวต้านทานเนื่องจากมีความง่ายและมีความเป็นเชิงเส้นที่ดี โดยเลือกใช้ตัวต้านทาน R1 ขนาด 680 กิโลโอห์ม 2 ตัวต่อกันและตัวต้านทาน R2 ขนาด 3.92 กิโลโอห์มแบ่งแรงดันขาเข้า โดยสายนิวทรัลต่อกับแรงดันออฟเซตเพื่อยกระดับสัญญาณ

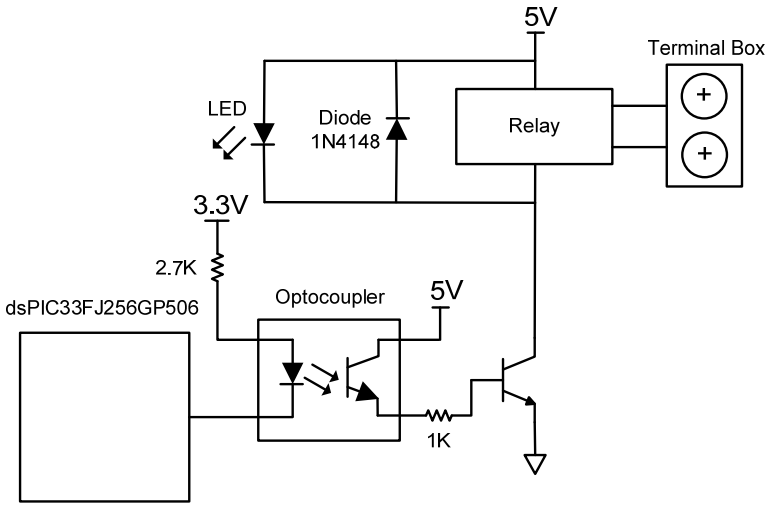
2. วงจรปรับขนาดกระแส กระแสขาเข้าจะถูกวัดโดยหม้อแปลงกระแส ซึ่งมีพิกัดกระแส 10 แอมป์ โดยกระแสด้านทุตยิภูมิจะผ่านตัวต้านทางขนาด160 โอห์ม เพื่อสร้างสัญญาณแรงดันส่งเข้ามอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล



ภาพที่ 3-15 วงจรปรับระดับสัญญาณ

3.2.6. **ส่วนควบคุมการเปิด/ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าในแผงปลั๊ก**

แผงปลั๊กประกอบด้วยขั้วต่อสำหรับต่อกับหลอดไฟ 3 ดวง และปลั๊กสำหรับเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว โดยมีวงจรในการขับรีเลย์ ดังภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 วงจรขับรีเลย์

3.2.6.1. **รีเลย์**

ในส่วนรีเลย์ ใช้รีเลย์ HRS4 ของบริษัท HKE รูปแบบของหน้าสัมผัสแบบ form A SPST (Single Pole Single Throw) แรงดันเลี้ยงขดลวด 6 โวลต์ พิกัดกระแสสูงสุด 10 แอมป์

ภาพที่ 3-17 รีเลย์ HRS4

3.2.6.2. **อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง**

อุปกรณ์ในการเชื่อมต่อทางแสง (Opto-coupler) ใช้ PC817 ของบริษัท Sharp ในการแยกส่วนทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสียหาย สามารถแยกส่วน (isolate) ของแรงดันด้านเข้าและด้านออกได้สูง (Viso : 5000 Vrms)

3.2.7. **ส่วนตรวจจับคนในแผงปลั๊ก**

ภาพที่ 3-18 ตัวรับรู้แบบ PIR สำหรับตรวจจับความเคลื่อนไหว

ใช้ตัวรับรู้สำหรับจับความเคลื่อนไหว แบบ PIR ของบริษัท Nais มีระยะในการตรวจจับ 10 เมตร ใช้กับแรงดันขนาด 5 โวลต์ ต่อเข้าขับขาทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเป็นแหล่งสัญญาณขัดจังหวะภายนอก

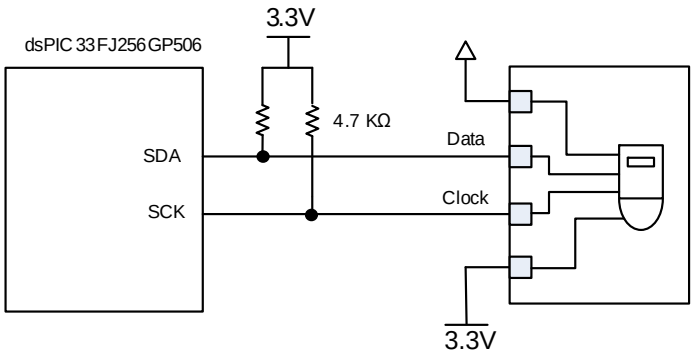
3.2.8. **ตัวรับรู้ต่าง ๆในส่วนตรวจวัดย่อย**

ส่วนตรวจวัดย่อยติดต่อกับตัวรับรู้ต่างๆ ดังนี้

3.2.8.1. **ตัวรับรู้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น**

ใช้ชิป SHT11ของบริษัท Sensirion ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในชิปเดียว โดยมีค่าความแม่นยำในการวัดความชื้นสัมพัทธ์คลาดเคลื่อนไม่เกิน 3% และความแม่นจำในการวัดอุณหภูมิ คลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.4 องศาเซลเซียส ใช้แรงดไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ ทำงานได้ที่ช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 123.8 องศาเซลเซียส ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางพอร์ต I^2C

(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-19 (ก) ชิป SHT11 (ข) การติดต่อกับชิป SHT11

3.2.8.2. ตัวรับรู้สำหรับวัดความสว่าง

ภาพที่ 3-20 ชิป EL7900

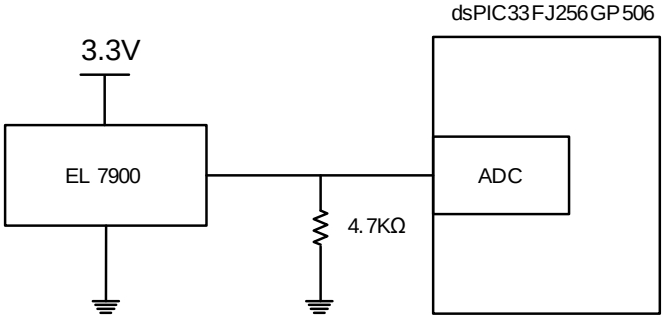
ใช้ชิป EL7900 ของบริษัท Intersil วัดค่าความสว่างได้ในช่วง 1-8000 ลักซ์ มีเวลาในการตอบสนอง (response time) น้อยกว่า 200 ไมโครวินาที ออกแบบให้วัดในช่วง 0 – 1000 ลักซ์ ในการเลือกค่าตัวต้านทานขาออกที่ใช้เป็นไปตามสมการ (3.1)

$$R_{load} = \frac{(V_{sup} - 0.3V)}{60uA} \times \left(\frac{100lux}{L_{range}}\right) \quad \text{โอห์ม} \qquad (3.1)$$

โดย V_{sup} คือไฟเลี้ยงของตัวรับรู้

L_{range} คือช่วงความสว่างของแสงที่ต้องการวัด

ระบบต้องการวัดความสว่างตั้งแต่ช่วง 0-1000 ลักซ์ จึงเลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 4.7 กิโลโอห์ม สำหรับไฟเลี้ยง 3 โวลต์ โดยสัญญาณขาออกที่ได้จะนำไปเข้ามอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อคำนวณค่าความสว่างที่ได้



ภาพที่ 3-21 การติดต่อกับชิป EL7900

3.2.9. **ส่วนแสดงผล**

3.2.9.1. **ส่วนแสดงผลของแผงปลั๊ก**

แผงปลั๊กมีจอแอลซีดีขนาด 4 บรรทัด 16 ตัวอักษร ใช้แสดงข้อมูลทั้งหมดของห้อง ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของแผงปลั๊กนั้น และสถานะต่างๆของห้องที่ส่งมาจากส่วนตรวจวัดย่อย โดยสามารถเลือกการแสดงผลได้ 2 แบบ คือ แบบแรก แสดงกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง ส่วนแบบที่ 2 แสดงสถานะการเปิด/ปิดประตู, การตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งใช้สวิทช์เป็นตัวเลือกการแสดงผล

ภาพที่ 3-22 จอแอลซีดีขนาด 16x4 ของแผงปลั๊ก

3.2.9.2. **ส่วนแสดงผลของเกทเวย์**

ภาพที่ 3-23 จอแอลซีดีขนาด 16x2ของเกทเวย์

ที่เกทเวย์มีจอแอลซีดีขนาด 2 บรรทัด 16 ตัวอักษร แสดงค่าโหมดการทำงาน หมายเลขไอพีของเกทเวย์ และสถานะต่างๆของเกทเวย์

3.2.9.3. **ส่วนแสดงผลของรีโมทควบคุม**

ภาพที่ 3-24 จอแอลซีดี NOKIA 5110 ของรีโมทควบคุม

สำหรับการแสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของรีโมท ใช้จอ NOKIA 5110 เพื่อแสดงค่าสถานะต่างๆภายในบ้าน รวมถึงเมนูสำหรับควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า จอ NOKIA 5110 เป็นจอแสดงผลกราฟิกที่ใช้พลังงานน้อย ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ต SPI

3.2.10. **แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง**

3.2.10.1. **แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของแผงปลั๊ก**

แผงปลั๊กจะใช้ไฟเลี้ยงจากระบบไฟฟ้าภายในบ้านที่ตัวมันติดตั้งอยู่ โดยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็นไฟตรง ขนาด 5 โวลต์ ด้วยหม้อแปลงแรงดันแบบสวิทชิ่ง (switching adaptor) ซึ่งแรงดันนี้จะใช้กับรีเลย์, PIR และจอแอลซีดี จากนั้นแรงดันนี้จะถูกลดระดับเป็น 3.3 โวลต์ด้วยไอซีคุมแรงดัน (Voltage regulator) LM1117 โดยแรงดันระดับนี้จะใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์, หน่วยความจำEEPROM และมอดูล Zigbee

ภาพที่ 3-25 สวิทชิ่งอะแดปเตอร์ ขนาดแรงดันไฟตรง 5 โวลต์ 1.2แอมป์

3.2.10.2. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของเกทเวย์

เกทเวย์จะใช้ไฟเลี้ยงจากอะแดปเตอร์เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็น 9-12 โวลต์ จากนั้นใช้ไอซีคุมแรงดัน (Voltage regulator) LM 7805 เพื่อลดระดับแรงดันเป็น 5 โวลต์ ใช้กับจอแอลซีดี และไอซีคุมแรงดัน LM117 ลดระดับแรงดันเป็น 3.3 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำ EEPROM และมอดูล Zigbee

ภาพที่ 3-26 อะแดปเตอร์ ขนาดแรงดันไฟตรง 10 โวลต์ 850 มิลลิแอมป์

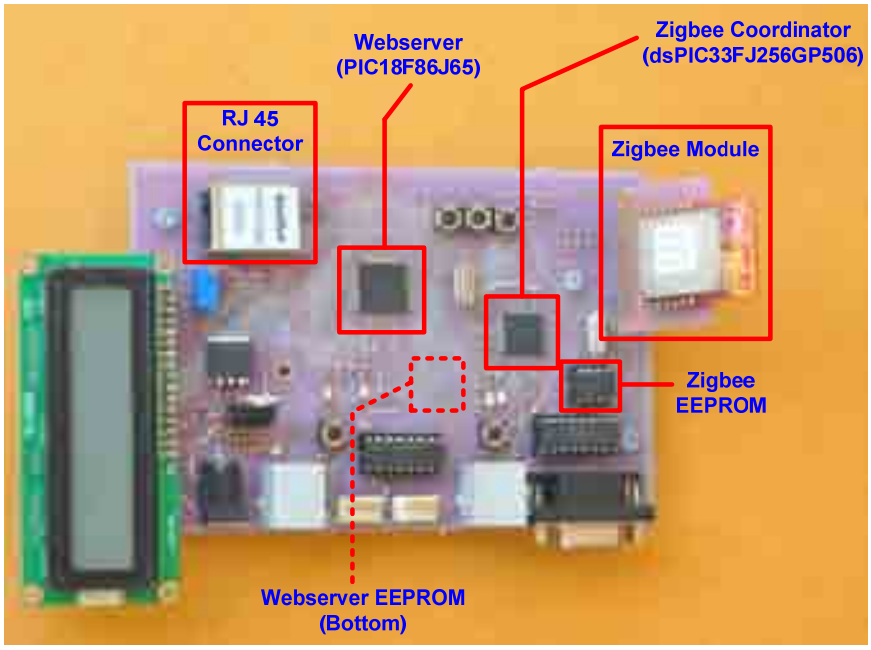
3.2.10.3. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงของส่วนตรวจวัดและรีโมท

ส่วนตัวตรวจวัดย่อยและรีโมทเป็น Zigbee end device ของระบบ ใช้พลังงานต่ำทำให้สามารถใช้ไฟเลี้ยงจากอะแดปเตอร์หรือแบตเตอรี่ได้ โดยใช้ไฟเลี้ยงระดับ 3.3 โวลต์เพื่อจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ หน่วยความจำ EEPROM มอดูล Zigbee และตัวรับรู้หรือจอแอลซีดี

3.3. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น

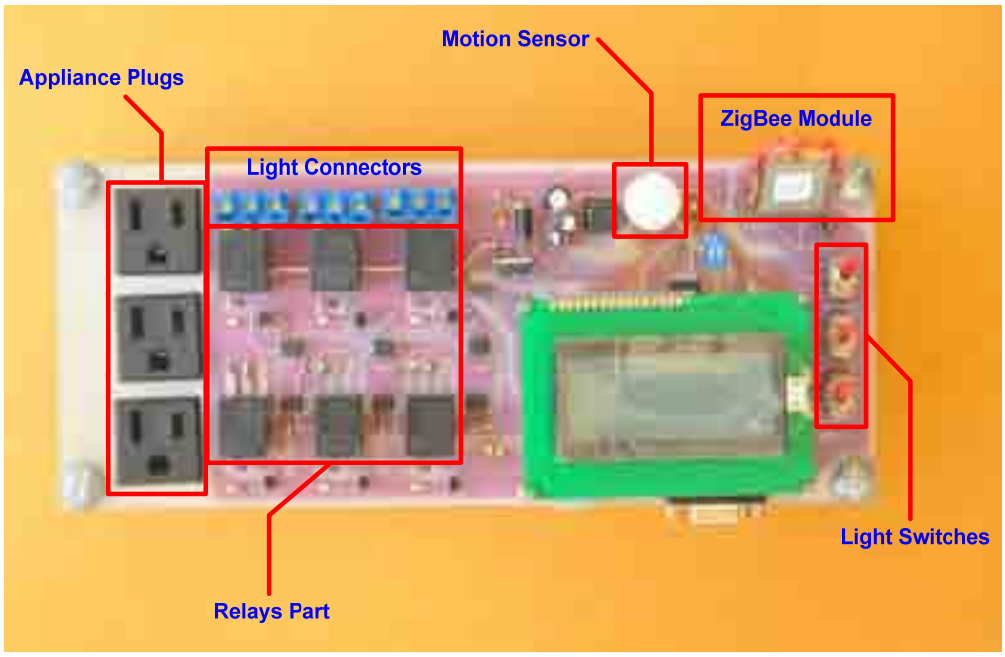
ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย เกทเวย์, แผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อย และรีโมทควบคุม ดังนี้

3.3.1. เกทเวย์

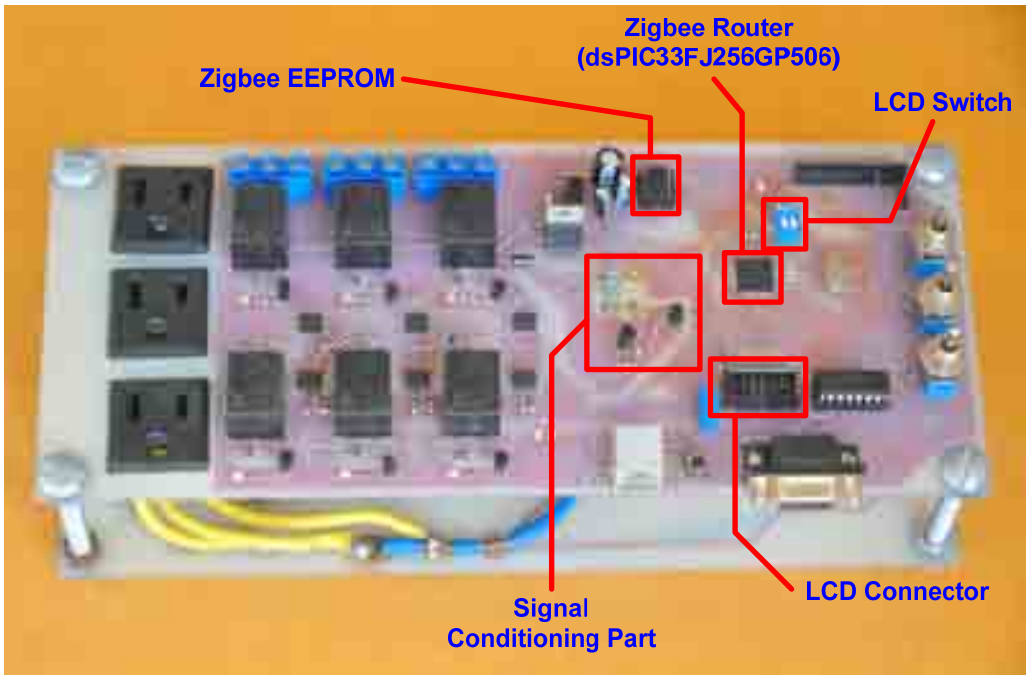


ภาพที่ 3-27 ฮาร์ดแวร์ส่วนเกทเวย์

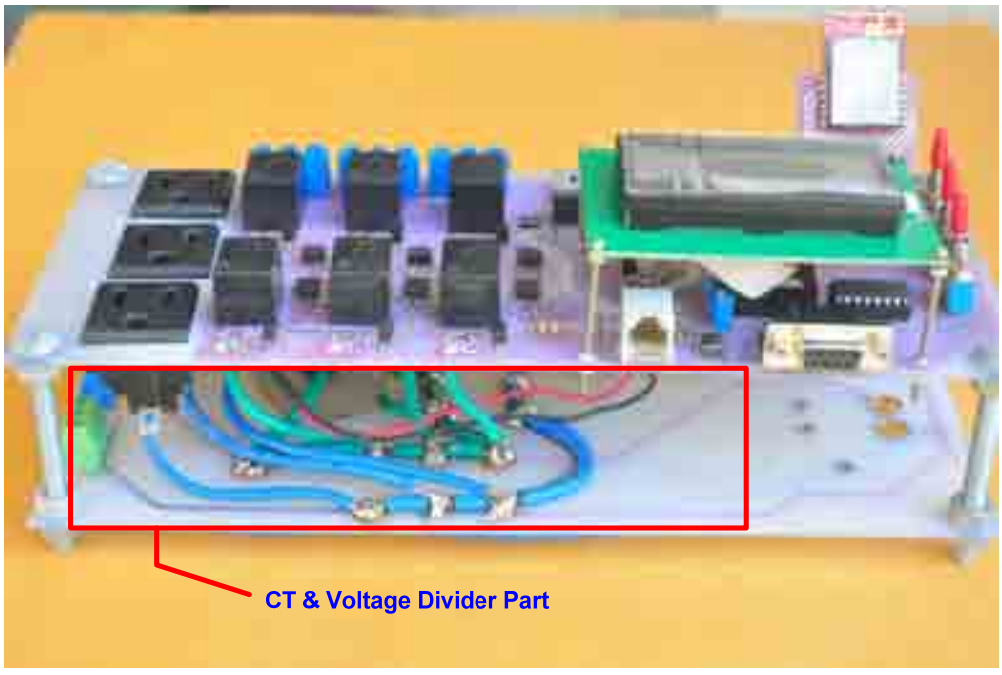
3.3.2. แผงปลั๊ก



(ก)



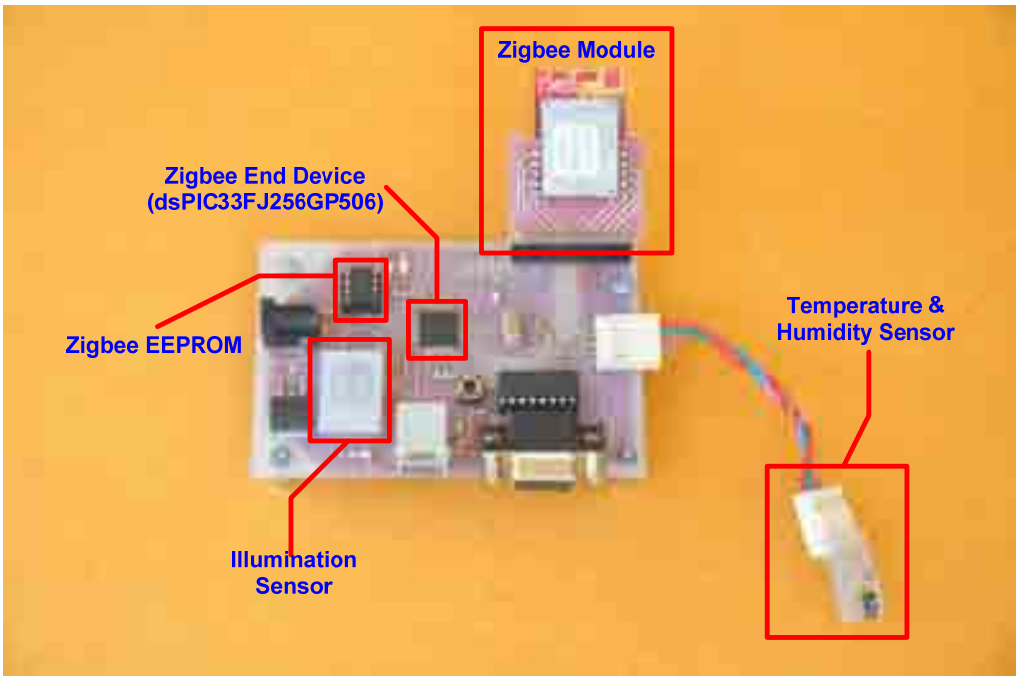
(ข)



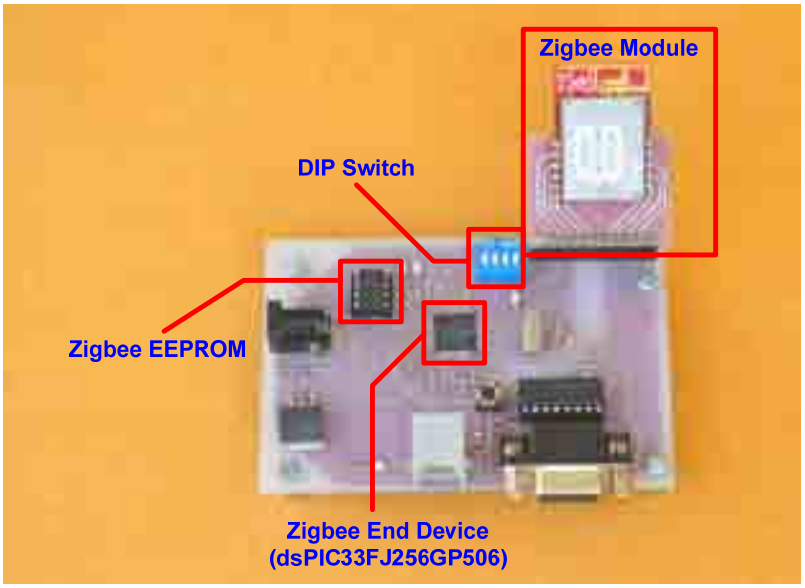
(ค)

ภาพที่ 3-28 (ก) – (ค) ฮาร์ดแวร์ส่วนแผงปลั๊ก

3.3.3. ส่วนตรวจวัด



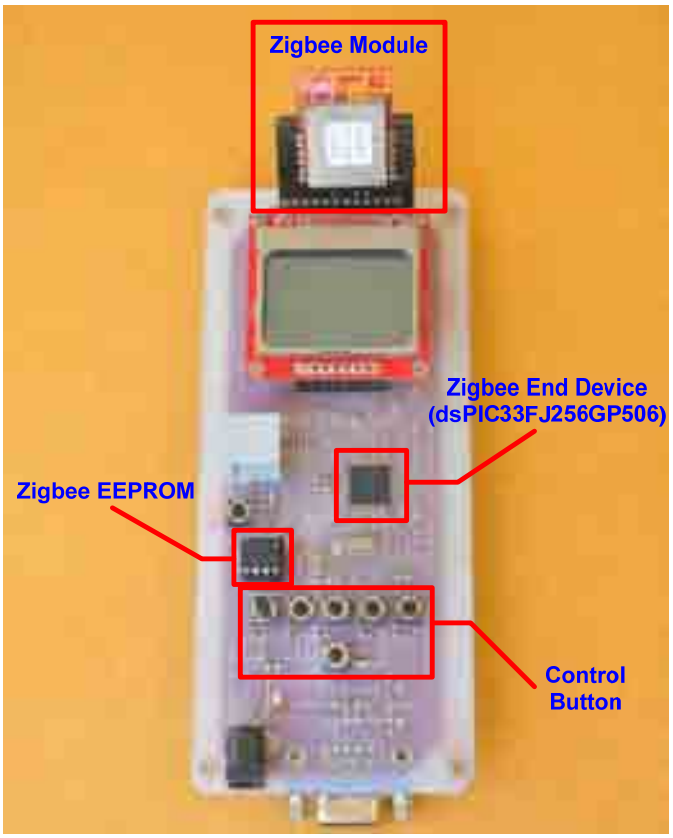
(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-29 ฮาร์ดแวร์ส่วนตรวจวัดย่อย (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2

3.3.4. รีโมทควบคุม



ภาพที่ 3-30 ฮาร์ดแวร์ส่วนรีโมทควบคุม

บทที่ 4

รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์

อุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติมีซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานเพื่อให้อุปกรณ์แต่ละตัวทำหน้าที่ของตัวเองได้อย่างถูกต้อง และสามารถประสานการทำงานกับอุปกรณ์อื่นได้อย่างเป็นระบบ การพัฒนาซอฟต์แวร์นั้นใช้โปรแกรม MPLAB IDE ของบริษัท Microchip โดยใช้ภาษาซี ในส่วนแรกจะกล่าวถึงการทำงานโดยรวมของระบบ ถัดไปจึงจะเป็นส่วนรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว

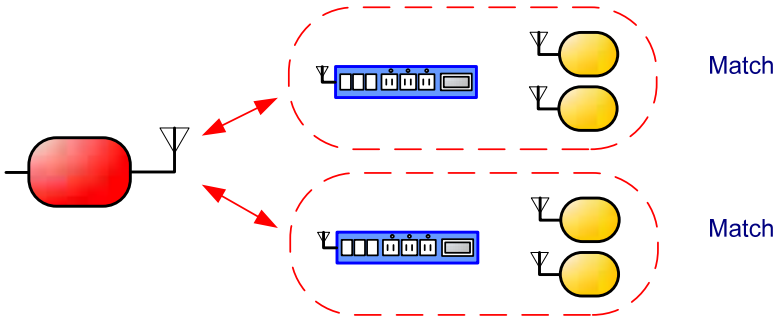
4.1 การทำงานของระบบบ้านอัตโนมัติ

ระบบบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 5 ส่วนหลัก ประกอบด้วย การเข้าร่วมเครือข่ายและจับคู่กันระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย, การร้องขอข้อมูลสถานะ, การส่งคำสั่ง, การอัพเดทข้อมูลสถานะและการเปลี่ยนโหมดการทำงาน ดังนี้

4.1.1. การเข้าร่วมเครือข่ายและการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อย

การที่อุปกรณ์ในระบบจะทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายนั้น เริ่มแรกเกทเวย์จะต้องทำการจัดตั้งเครือข่ายขึ้นมาก่อนโดยเป็นหน้าที่ของส่วน Zigbee coordinator ในเกทเวย์ ซึ่งการจัดตั้งเครือข่ายจะมีการประกาศว่าเครือข่ายที่ตั้งขึ้นมานั้นใช้ความถี่ใดและอยู่ในช่องสัญญาณที่เท่าไร รวมถึงประกาศ PAN ID (Personal Area Network ID) เพื่อให้อุปกรณ์ลูกข่ายสามารถทำการเข้าร่วมได้อย่างถูกต้องและป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่อยู่นอกเหนือจากระบบสามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้ และการที่แผงปลั๊กแต่ละตัวจะติดต่อกับส่วนตรวจวัดย่อยซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดซึ่งแตกต่างกันตามหน้าที่ในการตรวจวัดจึงต้องมีการจับคู่กันเพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง โดยเมื่อแผงปลั๊กหรือส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายนั้นจะมีการบันทึกค่าที่อยู่แบบสั้น (short address) และรหัสการจับคู่ ซึ่งระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยที่จับคู่กันจะมีรหัสการจับคู่ตรงกัน เมื่อแผงปลั๊กหรือส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายนั้นจะมีการส่งค่าดังกล่าวไปยังเกทเวย์ด้วย ในกรณีที่แผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่าย เกทเวย์จะตรวจสอบว่าส่วนตรวจวัดย่อยที่เข้าร่วมเครือข่ายอยู่ก่อนแล้วนั้นมีตัวใดที่มีรหัสการจับคู่ตรงกับแผงปลั๊กนั้นหรือไม่ ถ้ามีก็จะส่งค่าที่อยู่แบบสั้นของส่วนตรวจวัดย่อยกลับไปยังแผงปลั๊กเพื่อใช้ในการติดต่อสำหรับการร้องขอสถานะการวัดจากส่วน

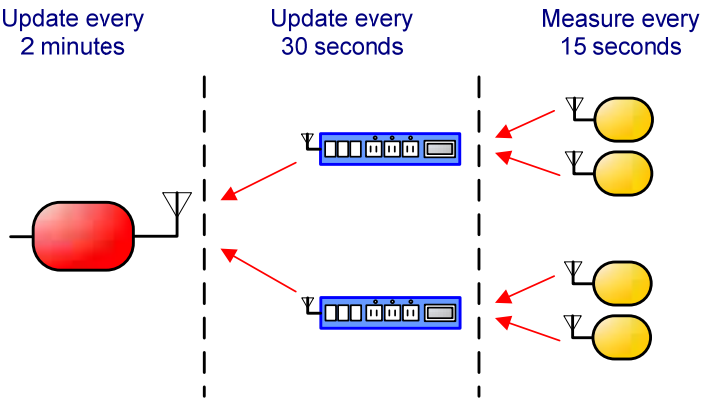
ตรวจวัดย่อยต่อไป เช่นเดียวกัน ในกรณีส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายหากพบว่ามีแผงปลั๊กที่เข้าร่วมเครือข่ายอยู่ก่อนนั้นมีรหัสการจับคู่ตรงกัน ก็จะส่งที่อยู่แบบสั้นของส่วนตรวจวัดย่อยนั้นกลับไปยังแผงปลั๊กเพื่อใช้ในการติดต่อกัน สำหรับรีโมทควบคุมเมื่อทำการเข้าร่วมเครือข่ายก็จะเก็บค่าที่อยู่แบบสั้นเพื่อใช้ในการติดต่อเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4-1 การจับคู่กันระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยในแต่ละห้องเพื่อให้ส่งข้อมูลกลับมาได้อย่างถูกต้อง

4.1.2. การร้องขอข้อมูล

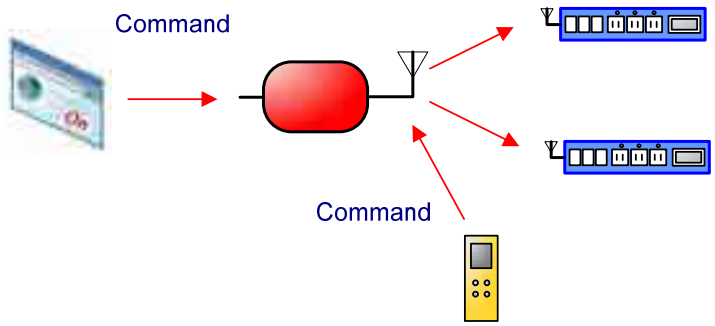
การร้องขอข้อมูลจะแบ่งเป็นการร้องขอข้อมูลจากแผงปลั๊กไปยังส่วนตรวจวัดย่อย และการร้องขอข้อมูลจากเกทเวย์ไปยังแผงปลั๊กเพื่อนำข้อมูลมาแสดงยังส่วนกลาง โดยส่วนตรวจวัดย่อยจะทำการวัดค่าเสร็จสิ้นทุกๆ 15 วินาที สำหรับแผงปลั๊กจะทำการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยทุกๆ 30 วินาทีและ จากนั้นนำค่าจากส่วนตรวจวัดย่อยมาแสดงที่จอแอลซีดีของแผงปลั๊ก ส่วนเกทเวย์จะทำการร้องขอข้อมูลจากแผงปลั๊กทุกๆ 2 นาที โดยแผงปลั๊กจะส่งค่าที่ได้จากส่วนตรวจวัดย่อยรวมถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดโดยตัวมันเองกลับไป การแบ่งช่วงเวลาการร้องขอตามลำดับนั้นเนื่องจากอุปกรณ์ที่เข้าร่วมเครือข่ายอาจมีการเข้าร่วมเครือข่ายก่อนหลังต่างกัน ทำให้เวลาในการทำงานต่างกันด้วย และการที่แผงปลั๊กร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยด้วยตัวเองโดยที่ไม่ต้องรอจนกว่าเกทเวย์ร้องขอข้อมูลนั้นทำให้ระบบอัพเดทข้อมูลสถานะได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 4-2 รอบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ

4.1.3. การส่งคำสั่ง

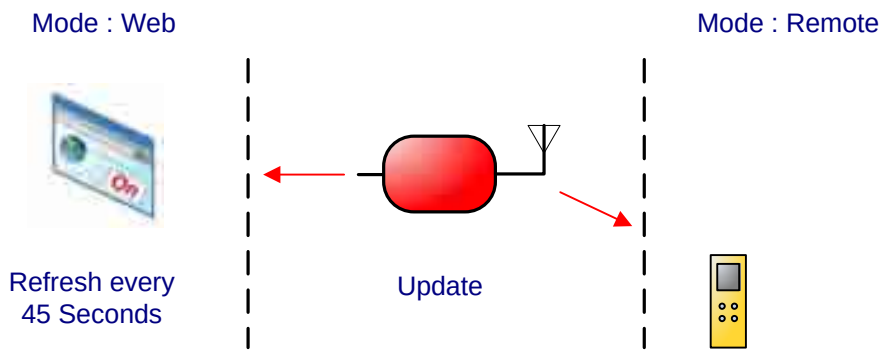
การส่งคำสั่งสามารถทำได้จากรีโมทหรือเว็บบราวเซอร์ ขึ้นอยู่กับว่าเกทเวย์ทำงานอยู่ในโหมดใด โดยคำสั่งจะถูกส่งไปยังเกทเวย์เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องก่อน เช่นแผงปลั๊กที่ต้องการส่งคำสั่งไปนั้นยังอยู่ในระบบเหรอไม่ก่อนทำการส่งคำสั่งไป ในกรณีที่เกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท คำสั่งจะถูกส่งผ่านเครือข่าย Zigbee โดยตรง แต่หากเกทเวย์ทำงานในโหมดเว็บ คำสั่งจากเว็บบราวเซอร์จะถูกส่งมาเก็บไว้ในส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยจะทำการส่งสัญญาณขัดจังหวะไปยังส่วน Zigbee coordinator จากนั้นก็จะส่งคำสั่งผ่านพอร์ต SPI ต่อไป คำสั่งที่สามารถควบคุมได้จะประกอบด้วยการเปิด-ปิดไฟและปลั๊ก รวมถึงการสั่งให้แผงปลั๊กทำงานโดยอัตโนมัติหรือไม่ ซึ่งในการทำงานอัตโนมัติหากตรวจพบว่ามีคนเข้าไปในห้องที่ติดตั้งแผงปลั๊กนั้นจะทำการเปิดไฟ และเมื่อไม่มีคนก็จะทำการปิดไฟ สำหรับการติดต่อผ่านเว็บจะสามารถกำหนดชื่อของห้องเพิ่มเติมได้ด้วย เช่นกำหนดว่าแผงปลั๊กที่ 1 อยู่ในห้องครัว แผงปลั๊กตัวที่ 2 อยู่ในห้องนอน เป็นต้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทราบได้ว่าเป็นสถานะของห้องใดภายในบ้านและทำการควบคุมได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งชนิดของห้องที่กำหนดผ่านเว็บนี้ หากเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมทก็จะถูกส่งไปแสดงยังรีโมทด้วย



ภาพที่ 4-3 คำสั่งสามารถใช้รีโมทหรือสั่งทางเว็บบราวเซอร์ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของเกทเวย์

4.1.4. การอัพเดทข้อมูลสถานะห้อง

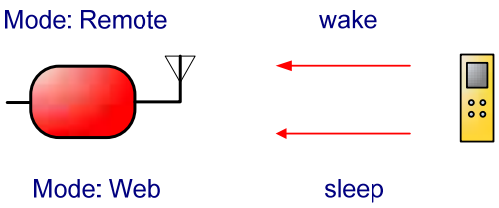
เกทเวย์ทำการร้องขอข้อมูลสถานะห้องจากแผงปลั๊กทุก 2 นาที เมื่อได้ข้อมูลสถานะครบแล้ว ก่อนที่จะทำการอัพเดทข้อมูล จะตรวจสอบว่าในช่วงที่เกทเวย์ทำการร้องขอข้อมูลนั้นได้มีคำสั่งถูกส่งเข้ามาหรือไม่ หากมีการส่งคำสั่งเข้ามาจะทำการดำเนินการคำสั่งนั้นก่อนเพื่อให้ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลล่าสุด จากนั้นก็จะเข้าสู่การอัพเดทข้อมูลไปยังรีโมทหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของเกทเวย์ ในกรณีของรีโมท จะทำการส่งผ่านเครือข่าย Zigbee โดยจำนวนแพคเก็ตข้อมูลในการส่งมีตั้งแต่ 1 – 4 แพคเก็ต ขึ้นอยู่กับจำนวนแผงปลั๊กที่เข้าร่วมเครือข่าย หากเกทเวย์ทำงานในโหมดเว็บ Zigbee coordinator จะทำการแจ้งให้เว็บเซิร์ฟเวอร์ทราบว่าข้อมูลมีการอัพเดทแล้ว เมื่อเว็บพร้อมรับข้อมูลก็จะทำการส่งสัญญาณขัดจังหวะไปยัง Zigbee coordinator เพื่อให้ทำการส่งข้อมูลที่อัพเดทแล้วมาให้ เมื่อมีการร้องขอผ่านเว็บบราวเซอร์ก็จะส่งข้อมูลที่อัพเดทไว้ไปแสดงยังหน้าเว็บเพจโดยหากผู้ใช้เปิดหน้าเว็บเพจค้างไว้ หน้าเว็บเพจจะทำการโหลดใหม่ (refresh) ทุกๆ 45 วินาที



ภาพที่ 4-4 เมื่อได้รับข้อมูลสถานะห้องจากแผงปลั๊กทั้งหมดแล้วก็จะทำการอัพเดทไปยังรีโมทหรือเว็บเพจขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน

4.1.5. การเปลี่ยนโหมดการทำงานของเกทเวย์

เมื่อเกทเวย์เริ่มทำงาน โหมดการทำงานเริ่มต้น (default) จะเป็นโหมดเว็บ แต่หากพบว่ามีรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายและอยู่ในสถานะตื่น (wake) ก็จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นโหมดรีโมท ซึ่งจะทำการรับคำสั่งจากรีโมทและอัพเดทข้อมูลไปที่รีโมทเท่านั้น ซึ่งหากมีการติดต่อผ่านเว็บ หน้าเว็บเพจจะแสดงว่าตอนนี้โหมดการทำงานเป็นโหมดรีโมท ซึ่งคำสั่งจากเว็บจะถูกละทิ้ง สำหรับรีโมทนั้นหากไม่มีการกดปุ่มควบคุมเป็นระยะเวลา 10 นาที ก็จะเข้าสู่สถานะหลับ (sleep) และส่งข้อมูลไปบอกเกทเวย์ จากนั้นเกทเวย์จะเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นโหมดเว็บ หากผู้ใช้กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนรีโมท รีโมทจะเข้าสู่สถานะตื่นซึ่งก็จะแจ้งไปยังเกทเวย์เพื่อทำการเปลี่ยนเป็นโหมดรีโมทต่อไป

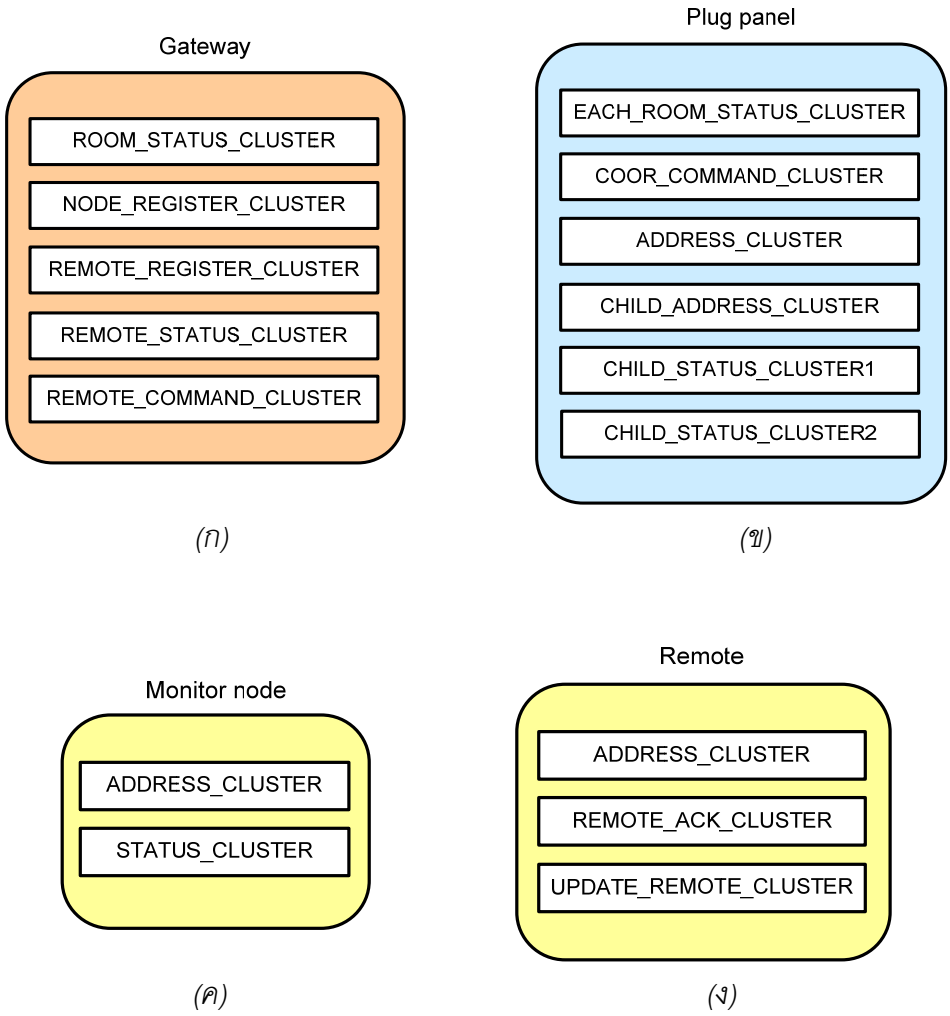


ภาพที่ 4-5 โหมดการทำงานของเกทเวย์ขึ้นกับสถานะของรีโมท ถ้ารีโมทอยู่ในสถานะทำงาน เกทเวย์จะทำงานในโหมดรีโมท หากรีโมทหลับ เกทเวย์จะทำงานในโหมดเว็บ

สำหรับรายละเอียดของโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การทำงานของเครือข่ายภายในบ้านและการทำงานในส่วนการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

4.2. รายละเอียดการทำงานของเครือข่ายภายในบ้าน

เครือข่ายภายในบ้านใช้โปรโทคอล Zigbee stack ในการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ การทำงานชั้นประยุกต์ในส่วนโครงสร้างงาน (application framework) ของอุปกรณ์ในเครือข่ายเป็นการนำ application profile ของบริษัท Microchip มาทำการดัดแปลง โดย application profile ของอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วยกลุ่ม (cluster) ดังนี้



ภาพที่ 4-6 กลุ่มต่างๆ ภายใน Application Profile ของอุปกรณ์ในเครือข่าย (ก) เกทเวย์ (ข) แผงปลั๊ก (ค) ส่วนตรวจวัดย่อย (ง) รีโมทควบคุม

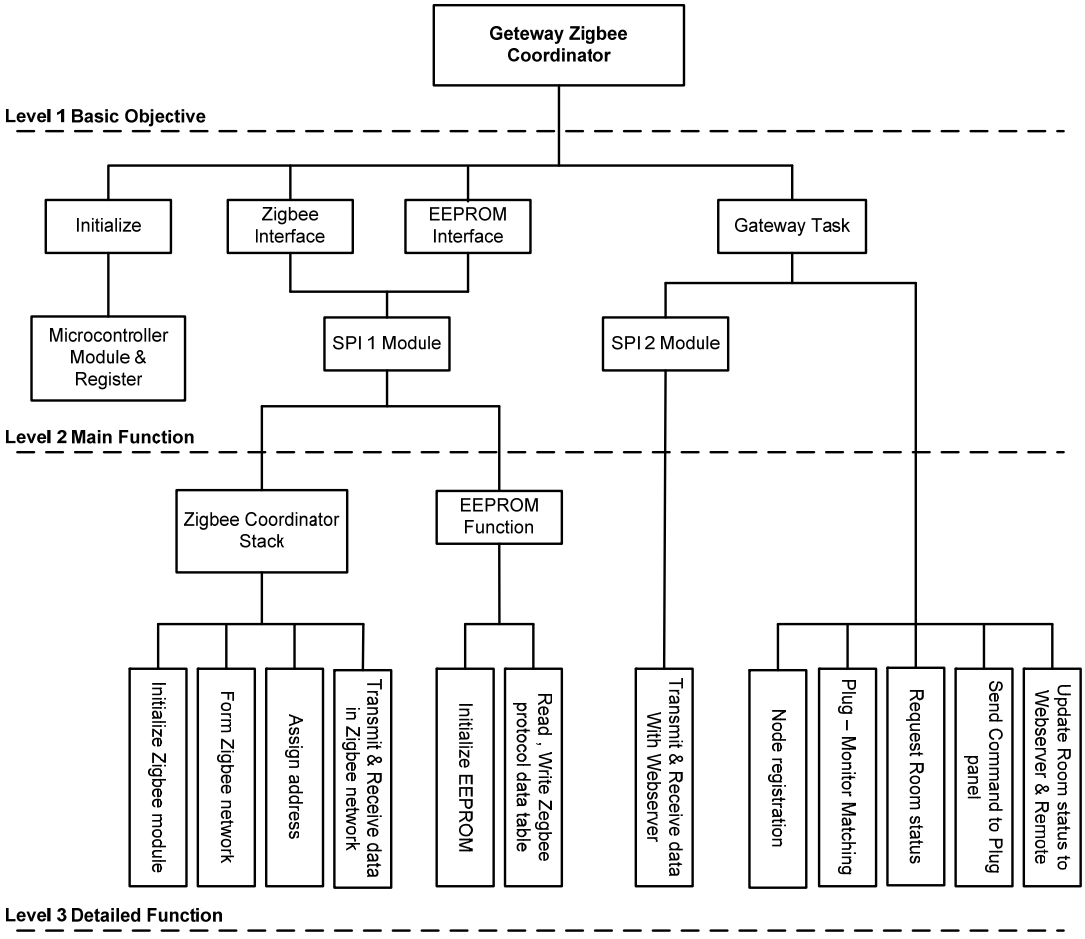
ระบบจะใช้ End Point 1และ 240 ของส่วนโครงสร้างงานในการติดต่อสื่อสาร โดยใช้กลุ่ม (cluster) สำหรับแบ่งประเภทของการรับส่งข้อมูล สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนจะกล่าวถึงต่อไป

4.2.1. โปรแกรมควบคุมการการทำงานของเกทเวย์

โปรแกรมของเกทเวย์ แบ่งเป็นการทำงานในส่วนของเครือข่าย Zigbee ส่วนของการทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ และส่วนของการติดต่อกันระหว่างเครือข่ายทั้งสอง

4.2.1.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอลZigbee ของเกทเวย์

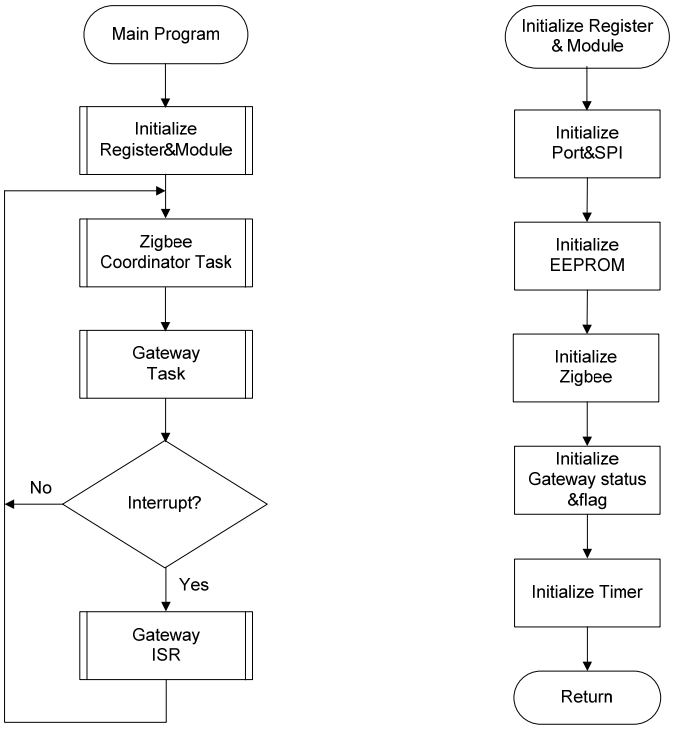
หน้าที่ของเกทเวย์ในเครือข่าย Zigbee คือ เป็น coordinator หรือตัวประสานกลางของเครือข่าย แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการทำงานของโปรโทคอล Zigbee การประสานการทำงานอุปกรณ์ในระบบบ้านอัตโนมัติ และการติดต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยมีโครงสร้างของโปรแกรมดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 โครงสร้างโปรแกรมของเกทเวย์

การทำงานเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ของมอดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วย พอร์ต SPI สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee หน่วยความจำ EEPROM และติดต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ เริ่มการทำงานของตัวจับเวลา เริ่มการทำงานของอุปกรณ์รอบข้าง คือ มอดูล Zigbee และ หน่วยความจำ EEPROM จากนั้นจะเข้าสู่การทำงานของ Zigbee stack ซึ่งเป็น coordinator ของเครือข่ายและการทำงานของเกทเวย์ในส่วนของบ้าน

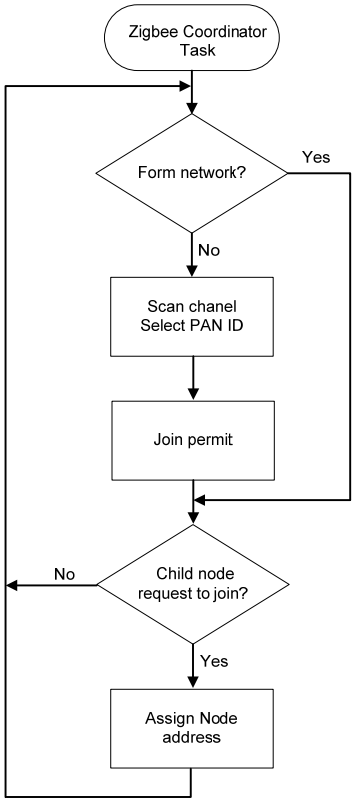
อัตโนมัติ หากมีสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) เกิดขึ้นก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของเกทเวย์ (Gateway interrupt service routine)ต่อไป โดยมีรอบการทำงานดังภาพที่ 4-8



(ก) *(ข)*

ภาพที่ 4-8 (ก) แผนผังการทำงานของเกทเวย์ และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน

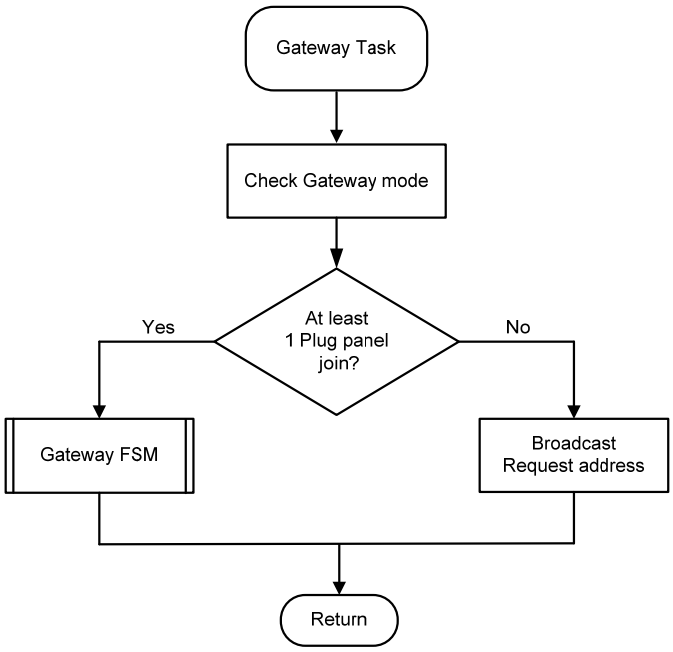
การทำงานในส่วนของ coordinator ใน Zigbee stack ใช้โปรแกรม Zigbee2006 โดยจะทำหน้าที่จัดตั้งเครือข่าย โดยการหาช่องสัญญาณที่มีศักยภาพ (potential chanel) ภายในขอบเขตที่กำหนดไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดช่องสัญญาณที่ 11 จากนั้นจะประกาศหมายเลขประจำเครือข่าย (PAN ID : Personal Area Network ID) และอนุญาตให้อุปกรณ์ของเครือข่าย Zigbee อื่นๆ เข้าร่วมเครือข่ายได้ ซึ่งหากมีการร้องขอจากเข้าร่วมเครือข่ายจากอุปกรณ์อื่น ก็จะทำหน้าที่จ่ายเลขที่อยู่แบบสั้น (short address) ให้กับอุปกรณ์ตัวนั้น



ภาพที่ 4-9 แผนผังการการทำงานส่วนโปรโทคอล Zigbee Coordinator

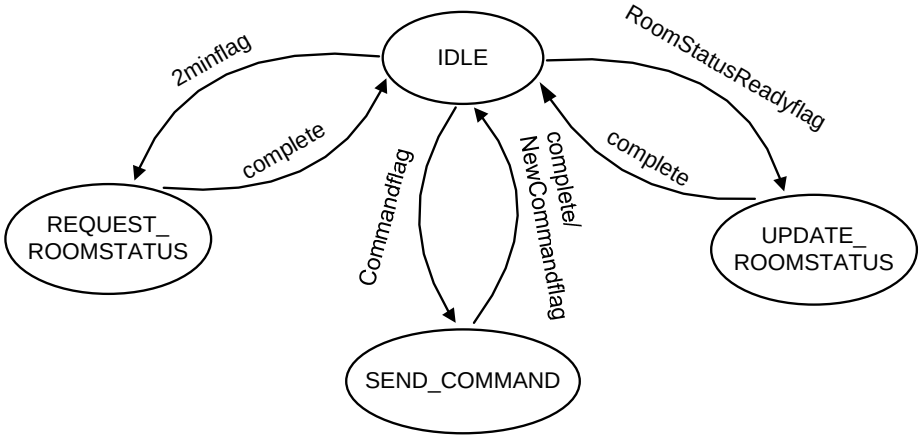
4.2.1.2. การทำงานของเกทเวย์ในระบบบ้านอัตโนมัติ

เมื่อทำการจัดตั้งเครือข่ายเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการตรวจสอบว่าเกทเวย์ทำงานในโหมดใดโดยดูในตารางของรีโมทในส่วนของสถานะ จากนั้นจะตรวจสอบว่า มีโหนดแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายหรือยัง หากยังไม่มี จะทำการ broadcast เพื่อขอการลงทะเบียน (register) โดยจะส่งการ broadcast ทุกๆ 30 วินาที จนกว่าจะมีโหนดแผงปลั๊กอย่างน้อย 1 โหนดเข้าร่วมเครือข่าย หากมีโหนดแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายแล้วก็จะเข้าสู่การทำงานของ FSM (Finite state machine) ของเกทเวย์



ภาพที่ 4-10 แผนผังการทำงานของเกทเวย์ในระบบบ้านอัตโนมัติ

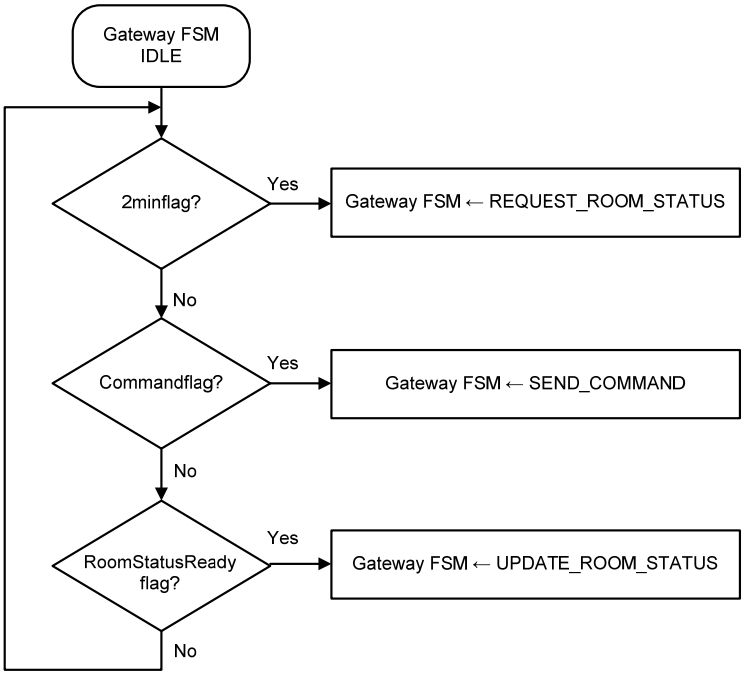
สถานะการทำงานของเกทเวย์ในระบบบ้านอัตโนมัติประกอบด้วยสถานะอยู่เฉย (IDLE), สถานะร้องขอข้อมูล(REQUEST_ROOMSTATUS), สถานะส่งคำสั่ง(SEND _COMMAND)และสถานะอัพเดทข้อมูล(UPDATE_ROOMSTATUS) ซึ่งการเปลี่ยนสถานะจากสถานะอยู่เฉยไปยังสถานะใดขึ้นอยู่กับค่าแฟลกต่างๆ ซึ่งบ่งบอกว่ามีเหตุการณ์ใดเกิดขึ้น



ภาพที่ 4-11 แผนผังการทำงานส่วน FSM ของเกทเวย์ เมื่อมีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว

การทำงานของสถานะต่างๆในเกทเวย์ มีดังนี้

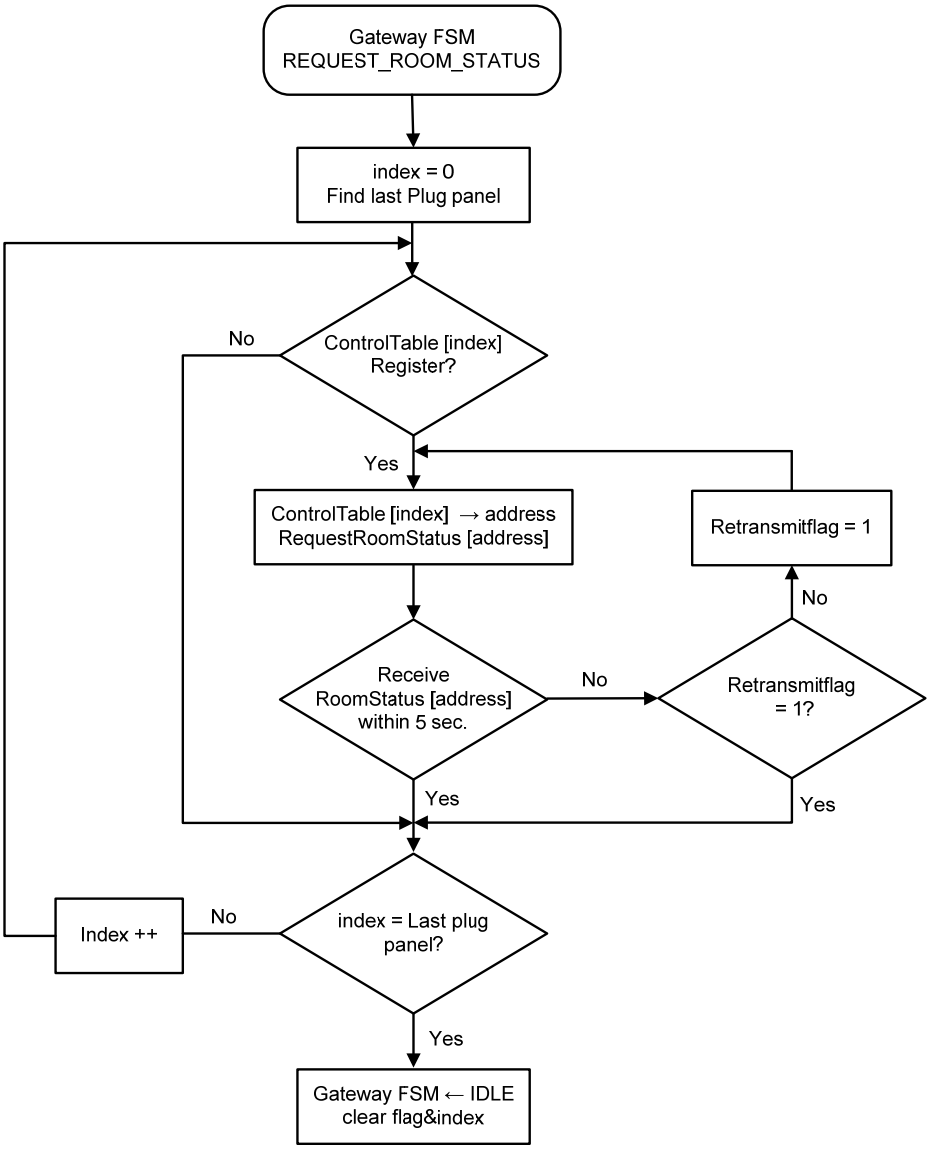
- สถานะนิ่งเฉย (IDLE) มีรอบการทำงานโดยการตรวจสอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น โดยลำดับความสำคัญของการทำงานนั้น การร้องขอข้อมูลมีลำดับความสำคัญสูงสุด รองลงมาคือการส่งคำสั่งและการอัพเดทข้อมูลสถานะห้อง ตามลำดับ ซึ่งใช้การตรวจสอบแฟลกในการเปลี่ยนสถานะ เมื่อครบทุก 2 นาที แฟลก 2minflag จะถูกเซ็ต หากตรวจพบจะเปลี่ยนไปยังสถานะร้องขอข้อมูล หากมีคำสั่งส่งเข้ามายังเกทเวย์ แฟลก CommandReadyflag จะถูกเซ็ต หากตรวจพบจะเปลี่ยนไปยังสถานะส่งคำสั่ง หรือเมื่อทำการร้องขอข้อมูลสถานะห้องเรียบร้อยแล้ว แฟลก RoomStatusReadyflag จะถูกเซ็ต ซึ่งหากตรวจพบก็จะเข้าสู่สถานะอัพเดทข้อมูลสถานะห้อง แฟลกเหล่านี้จะถูกตรวจสอบตามลำดับความสำคัญเพื่อให้เกทเวย์เปลี่ยนสถานะการทำงานได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 4-12 แผนผังการทำงานในสถานะนิ่งเฉยของเกทเวย์

- สถานะร้องขอข้อมูล เริ่มแรกจะหาแผงปลั๊กลำดับสุดท้ายที่อยู่ในเครือข่ายโดยดูที่ตารางแผงปลั๊ก จากนั้นจะเริ่มทำการร้องขอข้อมูลโดยไล่ไปตามลำดับ โดยดึงที่อยู่แบบสั้นจากตารางเพื่อใช้ในการติดต่อ ในกรณีที่ไม่ได้รับข้อมูลสถานะห้อง

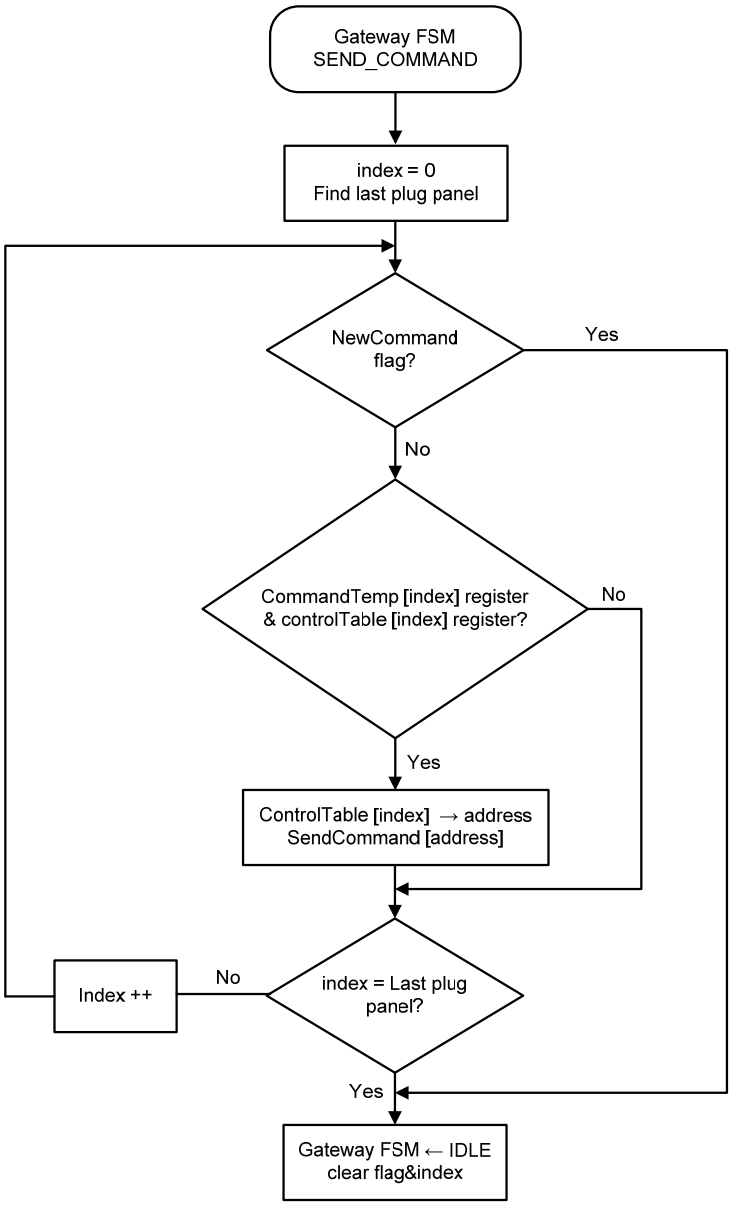
กลับมาภายใน 5 วินาทีก็จะทำการร้องขอใหม่อีกครั้ง หากยังไม่ได้รับข้อมูลอีกก็จะผ่านไปยังการร้องขอแผงปลั๊กถัดไป ซึ่งจะทำการร้องขอไปจนถึงแผงปลั๊กสุดท้ายที่มีอยู่ในเครือข่ายก็จะกลับไปยังสถานะนิ่งเฉยต่อไป



ภาพที่ 4-13 แผนผังการทำงานในสถานะร้องขอข้อมูลของเกทเวย์

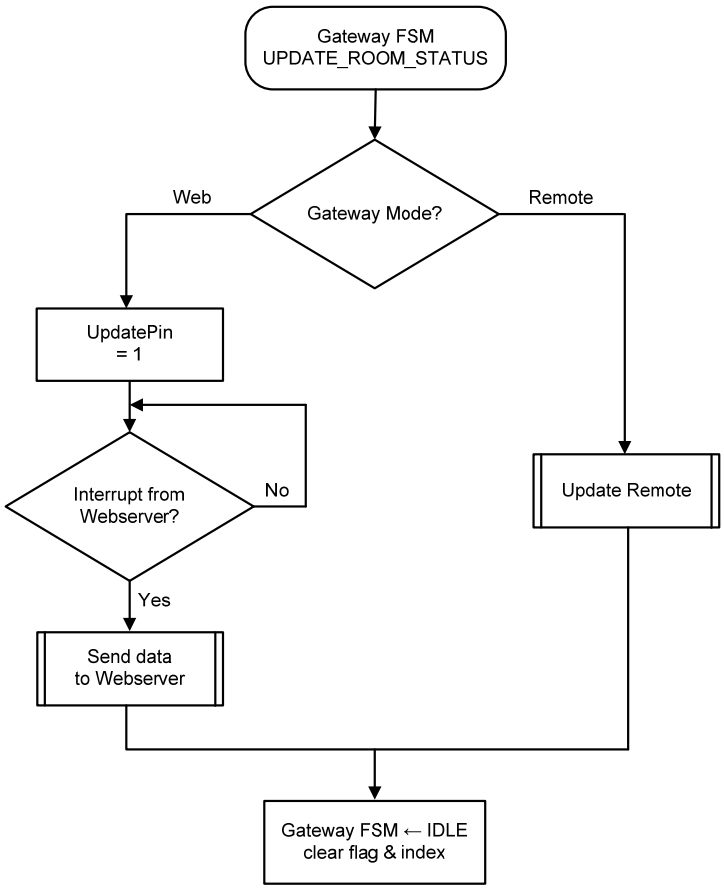
- สถานะส่งคำสั่ง จะทำการเปรียบเทียบตารางส่งคำสั่งซึ่งเก็บค่าที่บอกว่ามีแผงปลั๊กใดบ้างที่ต้องส่งคำสั่งกับตารางแผงปลั๊ก ซึ่งจะทำให้ไม่มีการส่งคำสั่งไปยังแผงปลั๊กที่ไม่ได้อยู่ในเครือข่าย หากแผงปลั๊กที่ต้องการส่งคำสั่งนั้นมีอยู่ใน

เครือข่ายก็จะทำการดึงที่อยู่แบบสั้นเพื่อใช้ในการติดต่อ โดยจะไล่เรียงไปตามลำดับจนถึงลำดับสุดท้าย ในระหว่างการส่งคำสั่งนั้น หากมีคำสั่งใหม่เข้ามาเกทเวย์จะกลับเข้าสู่สถานะนิ่งเฉยเพื่อเปรียบเทียบลำดับความสำคัญว่าเกิดเหตุการณ์ใด ซึ่งหากแฟลก 2minflag ถูกเซ็ตก็จะไปทำการร้องขอข้อมูลสถานะห้องก่อน หรือหากไม่มีเหตุการณ์ที่ต้องร้องขอข้อมูลก่อนก็จะกลับมาส่งคำสั่งที่ได้รับใหม่ต่อไป โดยเมื่อทำการส่งคำสั่งครบแล้วก็จะกลับไปสถานะนิ่งเฉยอีกครั้ง



ภาพที่ 4-14 แผนผังการทำงานในสถานะส่งคำสั่งของเกทเวย์

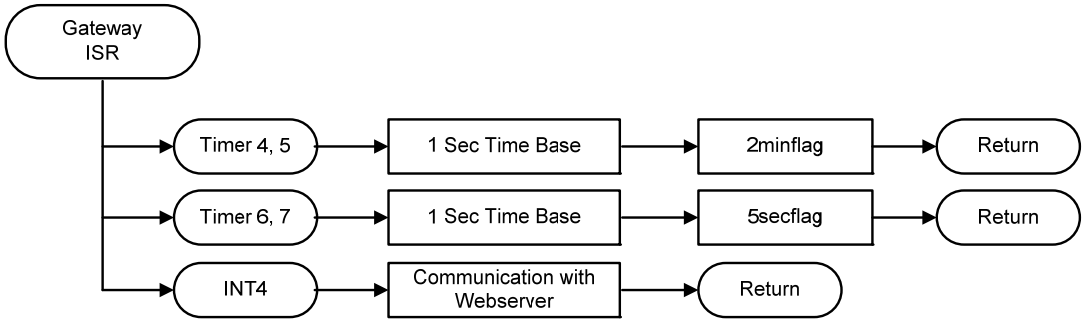
- สถานะอัพเดทข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลที่ร้องขอครบแล้ว หากไม่มีการขัดจังหวะโดยการส่งคำสั่งเข้ามา ก็จะทำการอัพเดทสถานะไปยังรีโมทหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน หากเกทเวย์อยู่ในโหมดเว็บก็จะเซ็ตขา Update เพื่อบอกเกทเวย์ว่ามีข้อมูลพร้อมทำการอัพเดทแล้ว เมื่อเกทเวย์พร้อมรับข้อมูลก็จะส่งสัญญาณขัดจังหวะเข้ามาจากนั้นก็จะส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต SPI กลับไปยังเกทเวย์ หรือหากเกทเวย์อยู่ในโหมดรีโมท ก็จะหาจำนวนแพคเก็ตที่ต้องส่งทั้งหมดโดยนำที่อยู่แบบสั้นของรีโมทมาจากตารางรีโมท เมื่อทำการอัพเดทข้อมูลเสร็จแล้วก็จะกลับสู่สถานะนิ่งเฉยต่อไป



ภาพที่ 4-15 แผนผังการทำงานในสถานะอัพเดทข้อมูลของเกทเวย์

ในส่วนบริการสัญญาณขัดจังหวะของเกทเวย์ (Gateway interrupt service routine) นั้น สัญญาณขัดจังหวะที่เกิดขึ้นในไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดได้จากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวจับเวลา 4และ5 (Timer4 และ Timer5) เมื่อครบกำหนดทุกๆ 1 วินาที เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลาในการจับเวลา โดยเมื่อครบ 2 นาที จะทำการร้องขอข้อมูลสถานะห้องจากแผงปลั๊ก
- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวจับเวลา 6 และ 7 เมื่อครบกำหนดทุกๆ 1 วินาที เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลาในการจับเวลา 5 วินาทีในการรอแพคเก็ตสถานะจากแผงปลั๊กที่ร้องขอ หากเกินเวลาจะทำการร้องขอซ้ำ
- สัญญาณขัดจังหวะภายนอก 4 (External Interrupt4) ใช้ในการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ทั้งการส่งคำสั่งและการอัพเดท



ภาพที่ 4-16 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของเกทเวย์

สำหรับรายละเอียดของตารางต่างๆที่เก็บอยู่ภายในเกทเวย์ การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์และ Zigbee coordinator ภายในเกทเวย์ จะกล่าวถึงต่อไปตามลำดับ

1) ตารางข้อมูลต่าง ๆในเกทเวย์สำหรับการสื่อสารในบ้านอัตโนมัติ

เกทเวย์จะเก็บตารางสำหรับเก็บรายละเอียดของโหนดต่างๆภายในเครือข่าย โดยมีทั้งหมด 3 ตาราง คือ ตารางการลงทะเบียนของแผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อย และรีโมทควบคุม เพื่อใช้ประโยชน์การลงทะเบียนเข้าร่วมเครือข่าย, การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย, การอัพเดทข้อมูล และการส่งคำสั่ง มีรายละเอียดดังนี้

1.1) ตารางข้อมูลของแผงปลั๊ก

ข้อมูลของโหนดแผงปลั๊กที่เก็บไว้ในตารางประกอบด้วย เลขที่อยู่แบบสั้น, ลำดับแผงปลั๊ก, ชนิดของโหนดในบ้านอัตโนมัติ, รหัสการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย, สถานะการลงทะเบียนเข้าร่วมเครือข่าย, สถานะการร้องขอข้อมูล และสถานะการอัพเดท ซึ่งจะเก็บข้อมูลได้สูงสุด 8 โหนด

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลของแผงปลั๊กในเกทเวย์

Control Node	Register	Match Code	Receive Data	Update
Plug Address 1	Yes / No	Match 1	Yes / No	Yes / No
Plug Address 2	Yes / No	Match 2	Yes / No	Yes / No
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Plug Address 8	Yes / No	Match 8	Yes / No	Yes / No

1.2) ตารางข้อมูลของส่วนตรวจวัดย่อย

ข้อมูลของส่วนตรวจวัดย่อยประกอบด้วย เลขที่อยู่แบบสั้น, ลำดับส่วนตรวจวัดย่อย, ชนิดของโหนดในบ้านอัตโนมัติ, รหัสการจับคู่ และสถานะการลงทะเบียน โดยเก็บข้อมูลของส่วนตรวจวัดย่อยสูงสุด 16 โหนด

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลส่วนตรวจวัดย่อยในเกทเวย์

Monitor Node	Register	Type	Match Code
Monitor Address 1	Yes / No	CHILD 1	Match 1
Monitor Address 2	Yes / No	CHILD 2	Match 1
Monitor Address 3	Yes / No	CHILD 1	Match 2
Monitor Address 4	Yes / No	CHILD 2	Match 2
⋮	⋮	⋮	⋮
Monitor Address 15	Yes / No	CHILD 1	Match 8
Monitor Address 16	Yes / No	CHILD 2	Match 8

1.3) ตารางข้อมูลของรีโมทควบคุม

ข้อมูลของรีโมทประกอบด้วย เลขที่อยู่แบบสั้นและสถานะการทำงาน โดยระบบบ้านอัตโนมัติจะมีรีโมทเพียง 1 ตัว เกทเวย์จะตรวจสอบโหมดการทำงานโดยตรวจสอบที่ตารางนี้

หากรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายหรืออยู่ในสถานะตื่น เกทเวย์จะทำงานในโหมดรีโมท หากรีโมทอยู่ในสถานะหลับ เกทเวย์จะทำงานในโหมดเว็บเพจ

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลของรีโมทควบคุมในเกทเวย์

Remote Node	Register	Status
Remote Address	Yes / No	Wake / Sleep

1.4) ตารางการส่งคำสั่ง

ตารางการส่งคำสั่งใช้เก็บข้อมูลที่ได้จากการรับคำสั่งว่ามีแผงปลั๊กใดบ้างที่เกทเวย์ต้องส่งคำสั่งไป และใช้ในการตรวจสอบว่ามีการส่งคำสั่งไปยังแผงปลั๊กใดแล้วบ้าง

ตารางที่ 4-4 การส่งคำสั่งในเกทเวย์

Control Node Number	Register	Command
1	Yes / No	Yes / No
2	Yes / No	Yes / No
⋮	⋮	⋮
8	Yes / No	Yes / No

2) ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆของเกทเวย์และรายละเอียดแพคเก็ตข้อมูล

การประสานการทำงานของระบบเป็นหน้าที่ของเกทเวย์ ซึ่งต้องติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆในเครือข่ายรวมถึงการสื่อสารภายในตัวมันเองด้วย ดังนี้

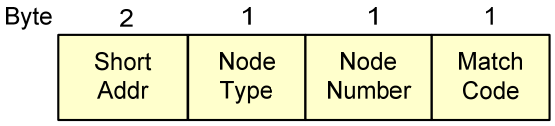
2.1) ขั้นตอนการลงทะเบียนของอุปกรณ์ Zigbee ที่เข้าร่วมเครือข่าย

เมื่อเกทเวย์ทำการจัดตั้งเครือข่ายขึ้นแล้ว จะอนุญาตให้อุปกรณ์ Zigbee เข้าร่วมเครือข่าย โดยจะส่งข้อมูลต่างๆที่จำเป็นในการจัดการเครือข่ายให้กับเกทเวย์ ซึ่งโหนดแต่ละชนิดจะส่งข้อมูลในการลงทะเบียนแตกต่างกัน และมีการตอบสนองจากเกทเวย์แตกต่างกัน ดังนี้

- แผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย

เมื่อเข้าร่วมเครือข่าย หรือได้รับการร้องขอการลงทะเบียน จะส่งข้อมูลต่างๆไปยังเกทเวย์ ดังนี้

- เลขที่อยู่แบบสั้น ขนาด 2 ไบต์ ซึ่งใช้ในการติดต่อสื่อสารในเครือข่าย Zigbee
- ลำดับของโหนด ขนาด 1 ไบต์ แสดงหมายเลขของแผงปลั๊ก มีตั้งแต่ 1-8 ส่วนหมายเลขส่วนตรวจวัดย่อยมีตั้งแต่ 1-16
- ชนิดของโหนดในบ้านอัตโนมัติ ขนาด 1 ไบต์ มีรายละเอียดดังนี้
    - 0 หมายถึงโหนดแผงปลั๊ก
    - 1 หมายถึงส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 1 ซึ่งวัดอุณหภูมิ, ความชื้น และความสว่าง
    - 2 หมายถึงส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 2 ซึ่งแสดงสถานะเปิด-ปิด ของประตูห้อง สถานะการตรวจจับควัน ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
    - 3 หมายถึงรีโมทควบคุม
- รหัสการจับคู่ ใช้ในการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย

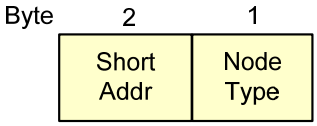


ภาพที่ 4-17 แพคเก็ตการลงทะเบียนของแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย

ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังกลุ่ม NODE_REGISTER_CLUSTER ของเกทเวย์ เพื่อทำการลงทะเบียน โดยเมื่อมีแพคเก็ตส่งเข้ามาในกลุ่มนี้ เกทเวย์จะทำการดึงข้อมูลชนิดของโหนดในบ้านอัตโนมัติ เพื่อพิจารณาว่าจะเก็บข้อมูลเข้าตารางใด ดึงข้อมูลลำดับมาเป็นตัวชี้ว่าจะบันทึกข้อมูลลงในตารางในแถวใด จากนั้นจะบันทึกค่าเลขที่อยู่แบบสั้น, ค่ารหัสการจับคู่ รวมถึงลงทะเบียนเข้าร่วมเครือข่ายในตาราง เมื่อบันทึกข้อมูลต่างๆเสร็จแล้วก็จะทำการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยต่อไป

- รีโมทควบคุม

เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายหรือได้รับการร้องขอให้ลงทะเบียน จะส่งเลขที่อยู่แบบสั้นให้กับเกทเวย์ และประเภทของอุปกรณ์ ซึ่งรีโมทมีค่าเท่ากับ 3 ดังภาพที่ 4-18

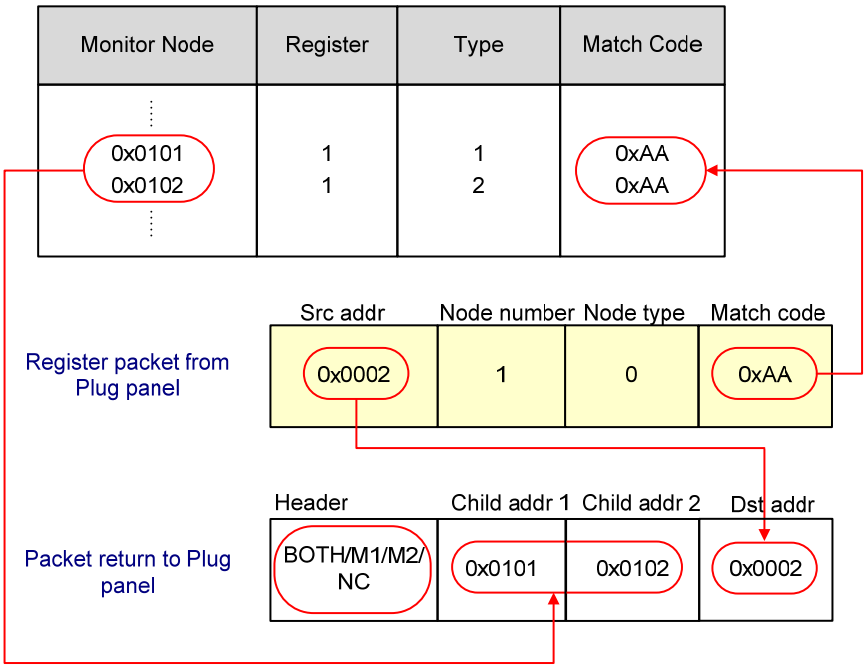


ภาพที่ 4-18 แพคเก็ตการลงทะเบียนของรีโมทควบคุม

ข้อมูลจะถูกส่งไปยังกลุ่ม REMOTE_REGISTER_CLUSTER โดยจะบันทึกค่าเลขที่อยู่แบบสั้น และทำการลงทะเบียนการเข้าร่วมเครือข่ายของรีโมท

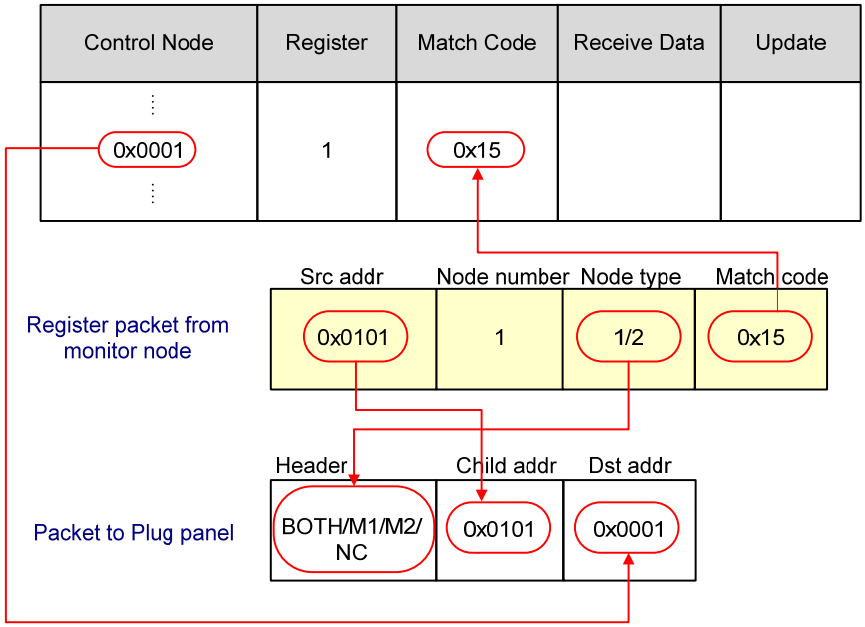
2.2) ขั้นตอนการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยของแต่ละห้อง

การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย เริ่มจากจะดูว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็นของโหนดประเภทใดของบ้านอัตโนมัติ หากเป็นข้อมูลที่โหนดแผงปลั๊กส่งมาจะดึงรหัสการจับคู่ที่ส่งมาเพื่อนำไปใช้ในการจับคู่กับส่วนตรวจวัดย่อยในตารางข้อมูลของส่วนตรวจวัดย่อย โดยเปรียบเทียบว่าโหนดใดบ้างในตารางมีรหัสการจับคู่ที่ตรงกับรหัสของแผงปลั๊ก หากพบจะทำการส่งเลขที่อยู่โหนดลูกนั้นกลับไปยังแผงปลั๊กที่ส่งข้อมูลในการลงทะเบียนมายังเกทเวย์



ภาพที่ 4-19 การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อยเมื่อมีการลงทะเบียนของแผงปลั๊ก

หากเป็นข้อมูลที่ส่วนตรวจวัดส่งมา จะดึงรหัสการจับคู่เพื่อนำไปใช้ในการจับคู่กับแผงปลั๊กในตารางข้อมูลของแผงปลั๊ก หากพบโหนดแผงปลั๊กใดมีรหัสตรงกันก็จะส่งเลขที่อยู่แบบสั้นของส่วนตรวจวัดทำการลงทะเบียนไปให้กับแผงปลั๊กที่เป็นคู่ต่อไป



ภาพที่ 4-20 การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อยเมื่อมีการลงทะเบียนของส่วนตรวจวัดย่อย

โดยแพคเก็ตข้อมูลเลขที่อยู่ของโหนดลูกจะถูกส่งไปยังแผงปลั๊ก เพื่อใช้ในการติดต่อระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยทั้งสองในแต่ละห้องโดยส่งกลับไปยังกลุ่ม CHILD_CLUSTER_ADDRESS ของแผงปลั๊ก

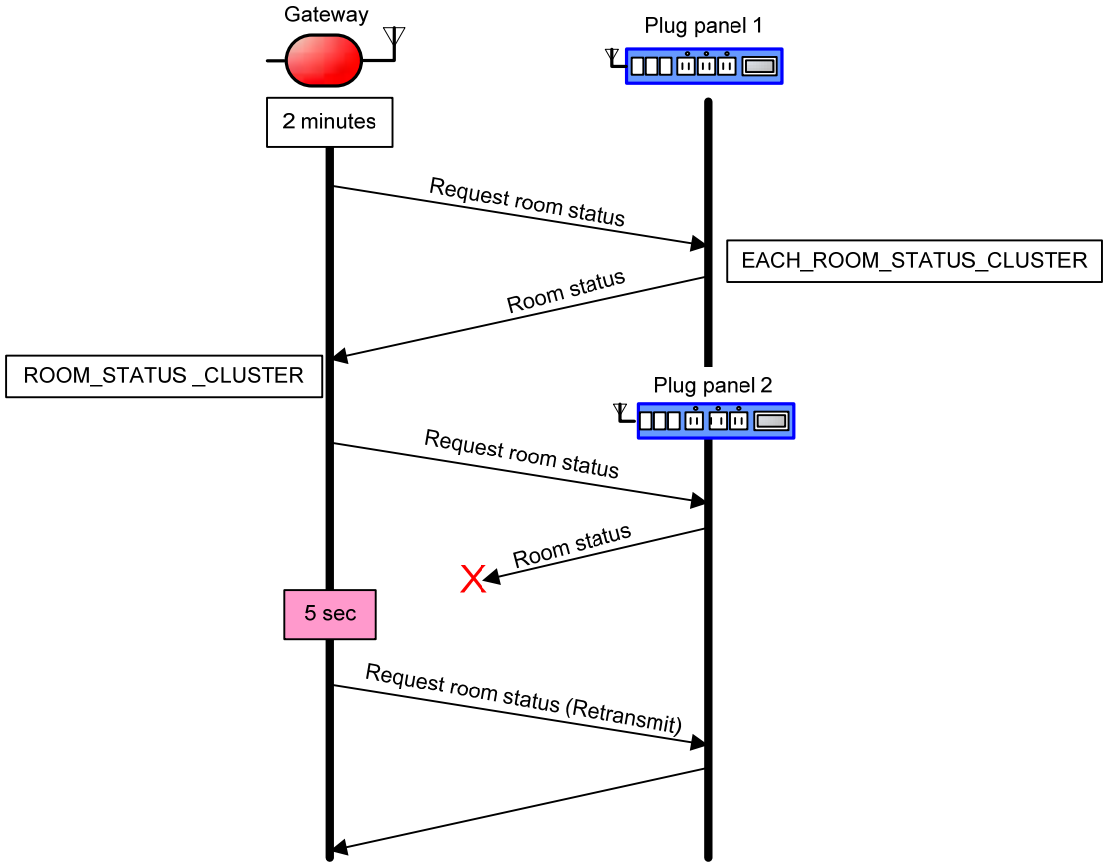
2.3) ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลสถานะของแต่ละห้อง

สถานะของห้องทั้งหมดจะทำการอัพเดททุกๆ 2 นาที เมื่อครบเวลา เกทเวย์จะทำการร้องขอข้อมูลสถานะห้องจากโหนดแผงปลั๊ก ซึ่งข้อมูลที่ได้จากส่วนตรวจวัดจะถูกส่งมาที่เก็บไว้ที่โหนดแผงปลั๊กเพื่อรอการร้องขอจากเกทเวย์ โดยขั้นตอนการร้องขอสถานะจะทำการตรวจสอบที่ตารางข้อมูลแผงปลั๊ก โดยดูว่ามีโหนดแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายเป็นจำนวนเท่าไร โดยจะส่งการร้องขอไปยังโหนดที่ลงทะเบียนในเครือข่ายเท่านั้น ตามขั้นตอน ดังภาพที่ 4-21

Control Node	Register	Match Code	Receive Data	Update
Plug Address 1 Plug Address 2	1 → Yes Yes		2 → No No	

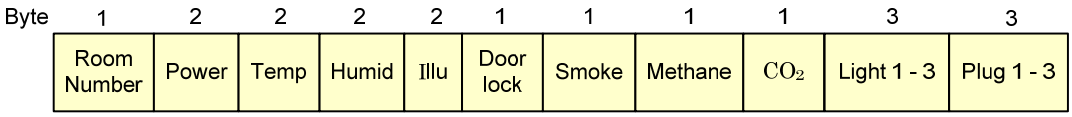
ภาพที่ 4-21 ขั้นตอนการร้องขอข้อมูลสถานะห้องโดยการพิจารณาว่ามีแผงปลั๊กใดเข้าร่วมเครือข่ายและแผงปลั๊กใดส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว หากยังไม่ส่งก็จะทำการร้องขอ

การร้องขอจะส่งไปที่กลุ่มEACH_ROOM_STATUS_CLUSTER ของแผงปลั๊ก เมื่อแผงปลั๊กได้รับการร้องขอ จะส่งแพคเก็ตของสถานะทั้งหมดของห้องกลับมาที่เกทเวย์ ในกลุ่ม ROOM_STATUS_CLUSTER ของเกทเวย์



ภาพที่ 4-22 การร้องขอข้อมูลสถานะห้อง หากยังไม่ได้รับจะทำการร้องขอใหม่อีกครั้งเมื่อครบ 5 วินาที หากยังไม่ได้รับก็จะข้ามไปร้องขอที่แผงปลั๊กถัดไป

แพคเก็ตที่ส่งกลับมาจะประกอบด้วย ลำดับของแผงปลั๊ก, กำลังไฟฟ้าที่ใช้ อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง อย่างละ 2 ไบต์ สถานะเปิด-ปิดประตู, การตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน, การคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างละ 1 ไบต์ สถานะการเปิด-ปิดไฟ 3 ดวง, สถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว อย่างละ 1 ไบต์ ดังภาพที่ 4-23



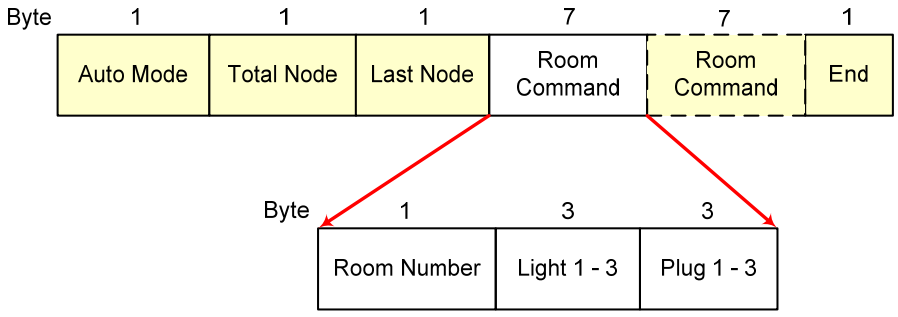
ภาพที่ 4-23 แพคเก็ตข้อมูลสถานะห้องที่แผงปลั๊กส่งมายังเกทเวย์

2.4) ขั้นตอนการรับคำสั่ง

เกทเวย์สามารถรับคำสั่งได้ทั้งจากรีโมทและเว็บบราวเซอร์ขึ้นอยู่กับโหมดการทำงาน โดยคำสั่งจากเว็บบราวเซอร์ที่ส่งมายังส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเกทเวย์จะถูกส่งต่อไปยังส่วน Zigbee coordinator การรับคำสั่งจากทั้ง 2 แบบ เป็นดังนี้

- รับคำสั่งคำสั่งจากรีโมท

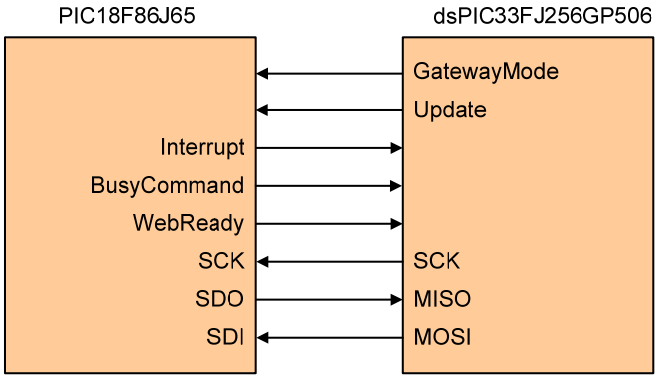
แพคเก็ตที่ส่งคำสั่งมาจากรีโมทจะมีเพียง 1 แพคเก็ต ประกอบด้วย คำสั่งการทำงานอัตโนมัติของแผงปลั๊ก, จำนวนแผงปลั๊กทั้งหมดที่ต้องการส่งคำสั่งไป, และแผงปลั๊กลำดับสุดท้ายที่ต้องส่งคำสั่ง และส่วนคำสั่งแต่ละห้อง ได้แก่ ลำดับแผงปลั๊ก, คำสั่งเปิด-ปิดไฟ 3 ดวง, ปลั๊ก 3 ตัว โดยความยาวส่วนนี้ขึ้นกับจำนวนแผงปลั๊กที่ส่งมาและปิดท้ายแพคเก็ตด้วยไบต์ End



ภาพที่ 4-24 แพคเก็ตคำสั่งจากรีโมทควบคุม

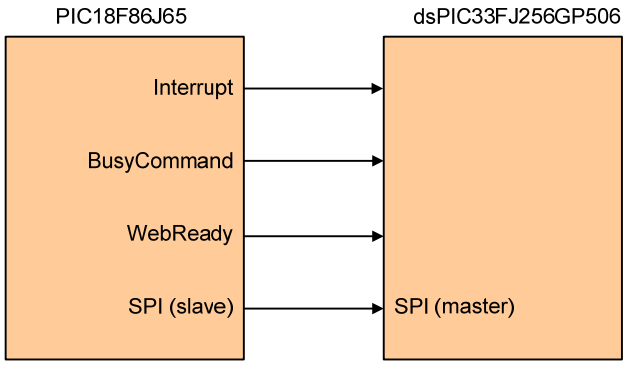
- รับคำสั่งจากเว็บเซิร์ฟเวอร์

การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์และ Zigbee coordinator ประกอบด้วยขาควบคุมต่างๆและพอร์ต SPI โดยส่วน Zigbee coordinator ทำหน้าที่เป็น SPI master และส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น SPI slave การเชื่อมต่อระหว่างขาต่างๆเป็นดังภาพที่ 4-25



ภาพที่ 4-25 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในเกทเวย์

การส่งคำสั่งและการอัพเดทข้อมูลระหว่างส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์และส่วน Zigbee coordinator จะมีลำดับความสำคัญในการติดต่อโดย การอัพเดทข้อมูลจะมีลำดับความสำคัญสูงกว่าการส่งคำสั่ง เมื่อได้รับข้อมูลคำสั่งจากเว็บบราวเซอร์ ส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการส่งต่อแพคเก็ตคำสั่งไปยังส่วน Zigbee coordinator โดยจะต้องแบ่งการส่งแพคเก็ตเป็นส่วนย่อย ส่วนละ 2 ไบต์ เนื่องจาก Zigbee stack และ TCP/IP stack มีความเร็วในการทำงานต่างกัน โดยในส่วนนี้จะทำงานแบบ FSM โดยรายละเอียดการทำงานของ FSM ที่ใช้ในการรับส่งคำสั่งระหว่างส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์และ Zigbee coordinator จะกล่าวถึงในส่วนการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์



ภาพที่ 4-26 ขาที่ใช้ในการติดต่อเพื่อรับคำสั่งจากส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ไปยัง Zigbee coordinator ภายในเกทเวย์

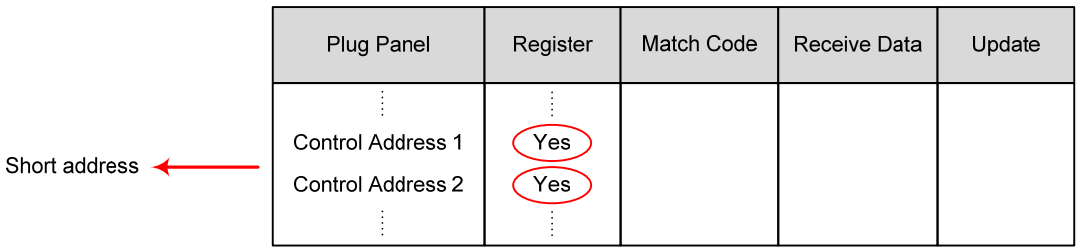
แพคเก็ตคำสั่งที่ส่งจากฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ไปยัง Zigbee Coordinator แต่ละห้องจะประกอบด้วยสถานะการทำงานอัตโนมัติของแผงปลั๊ก, ลำดับห้อง, คำสั่งเปิด-ปิดไฟ,ปลั๊ก และรหัสชื่อห้องสำหรับส่งไปแสดงที่รีโมทหากเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท ดังภาพที่ 4-27

Byte	1	1	3	3	1
	Auto Mode	Room Number	Light 1 - 3	Plug 1 - 3	Room Code

ภาพที่ 4-27 แพคเก็ตคำสั่งจากเว็บเซิร์ฟเวอร์

2.5) การส่งคำสั่ง

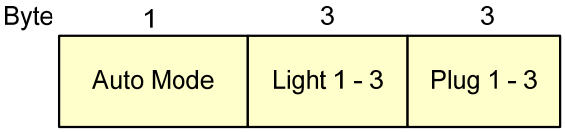
เมื่อเกทเวย์ในรับคำสั่งจะนำตารางการส่งคำสั่งไปเปรียบเทียบกับตารางแผงปลั๊กเพื่อให้ทราบว่าต้องส่งคำสั่งไปยังแผงปลั๊กใดบ้าง จากนั้นจึงนำค่าที่อยู่แบบสั้นของแผงปลั๊กเพื่อใช้ในการส่ง และใช้ตารางการส่งคำสั่งในการตรวจสอบว่าส่งคำสั่งไปยังแผงปลั๊กใดแล้วบ้าง และทำการส่งจนกว่าจะครบ



Control Node	Register	Command
Number 1	Yes	Yes / No
Number 2	Yes	Yes / No

ภาพที่ 4-28 ก่อนเกทเวย์จะส่งคำสั่งที่ได้จากรีโมทหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ จะต้องเปรียบเทียบกับตารางข้อมูลแผงปลั๊กเพื่อตรวจสอบว่าแผงปลั๊กนั้นอยู่ในเครือข่ายหรือไม่

แพคเก็ตคำสั่งที่ส่งไปยังแผงปลั๊กประกอบด้วย คำสั่งการทำงานอัตโนมัติ, คำสั่งเปิด-ปิดหลอดไฟ 3 ดวง และปลั๊ก 3 ตัว ดังภาพที่ 4-29



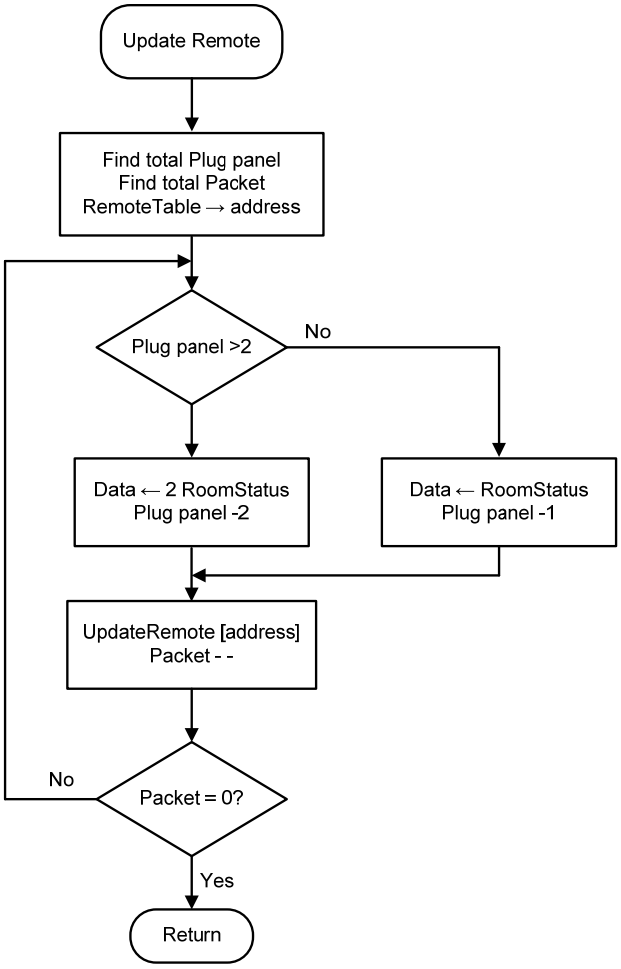
ภาพที่ 4-29 แพคเก็ตคำสั่งที่ส่งไปยังแผงปลั๊ก

2.6) การอัพเดทข้อมูล

เมื่อได้รับข้อมูลสถานะทั้งหมดของห้องแล้ว ก็จะทำการอัพเดทไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือรีโมทตามโหมดการทำงานของเกทเวย์ ดังนี้

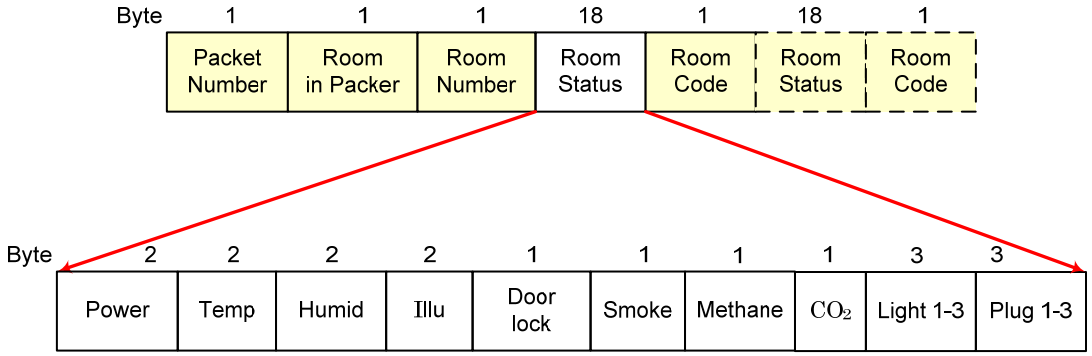
- การอัพเดทไปยังรีโมทควบคุม

หากพบว่าเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท จะทำการส่งสถานะล่าสุดของทุกห้องไปยังรีโมท โดยจะทำการคำนวณแพคเก็ตที่ต้องส่งทั้งหมด โดย 1 แพคเก็ตจะส่งข้อมูลสถานะห้องได้สูงสุด 2 ห้อง ซึ่งจำนวนแพคเก็ตที่ต้องส่งจะอยู่ระหว่าง 1-4 แพคเก็ต ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังภาพ 4-30



ภาพที่ 4-30 แผนผังการส่งข้อมูลอัพเดทไปยังรีโมทควบคุม

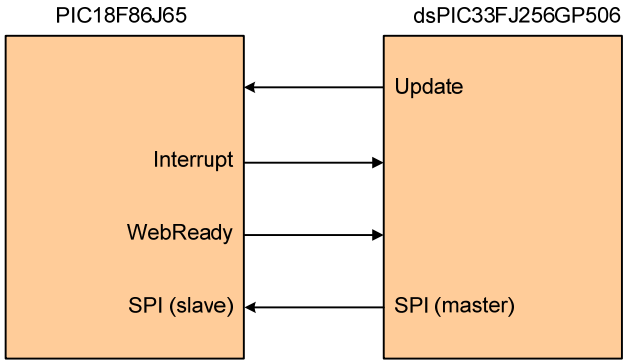
แพคเก็ตข้อมูลสถานะห้อง จะถูกส่งไปยังกลุ่ม UPDATE_REMOTE_CLUSTER ซึ่งแพคเก็ตข้อมูลประกอบด้วยหมายเลขแพคเก็ต, สถานะการทำงานอัตโนมัติ,จำนวนห้องที่ส่งสถานะมาในแพคเก็ตนั้น และข้อมูลสถานะของห้อง โดยสถานะของห้องประกอบด้วย ลำดับห้อง, ค่ากำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง, การเปิด-ปิดประตู, การตรวจจับควันและก๊าซต่างๆ สถานะเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงรหัสห้องพื่อนำมาใช้ในการแสดงชื่อห้องบนเมนูของรีโมท ดังภาพ 4-31



ภาพที่ 4-31 แพคเก็ตข้อมูลที่ส่งไปอัพเดทที่รีโมทควบคุม

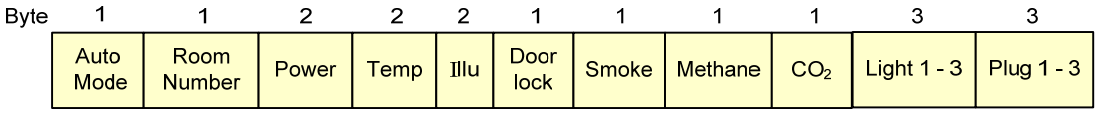
- การอัพเดทข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์

เมื่อได้รับข้อมูลสถานะทั้งหมดของห้องแล้ว หากเกทเวย์ทำงานในโหมดเว็บเพจ จะทำการส่งข้อมูลสถานะของทุกห้องไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ ผ่านทางพอร์ต SPI โดยการส่งแพคก็ตอัพเดทจะแบ่งเป็นส่วนย่อย ส่วนละ 2 ไบต์ ซึ่งเป็นการทำงานแบบ FSM โดยรายละเอียดการทำงานจะกล่าวถึงในส่วนการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์



ภาพที่ 4-32 ขาที่ใช้ในการติดต่อเพื่ออัพเดทข้อมูลจากส่วน Zigbee coordinator ไปยังส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ภายในเกทเวย์

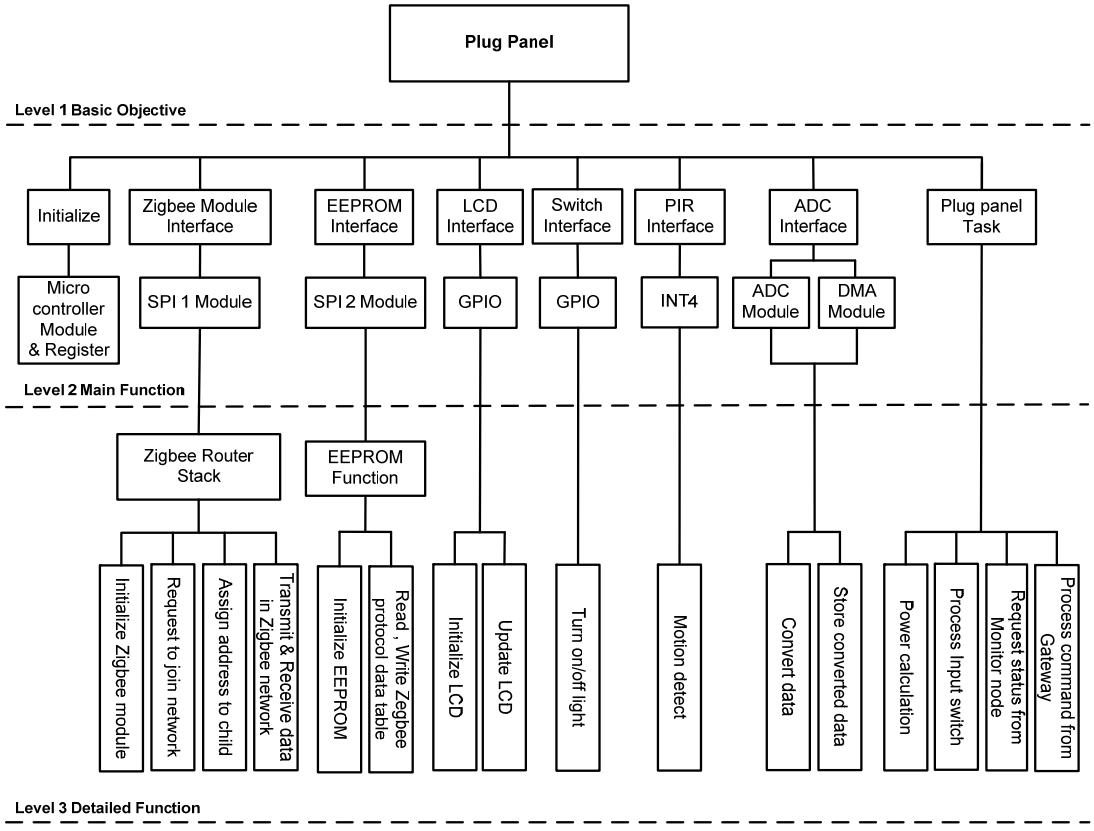
สำหรับแพคเก็ตที่ส่งไปอัพเดทยังเว็บเซิร์ฟเวอร์แต่ละห้อง ประกอบด้วย สถานะการทำงานอัตโนมัติของแผงปลั๊ก,ลำดับห้อง, ค่ากำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง, การเปิด-ปิดประตู, การตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, สถานะเปิด-ปิดไฟ 3 ดวงและอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว เพื่อใช้แสดงบนเว็บเพจเมื่อมีการร้องขอจากเว็บบราวเซอร์



ภาพที่ 4-33 แพคเก็ตข้อมูลอัพเดทที่ส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์

4.2.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของแผงปลั๊ก

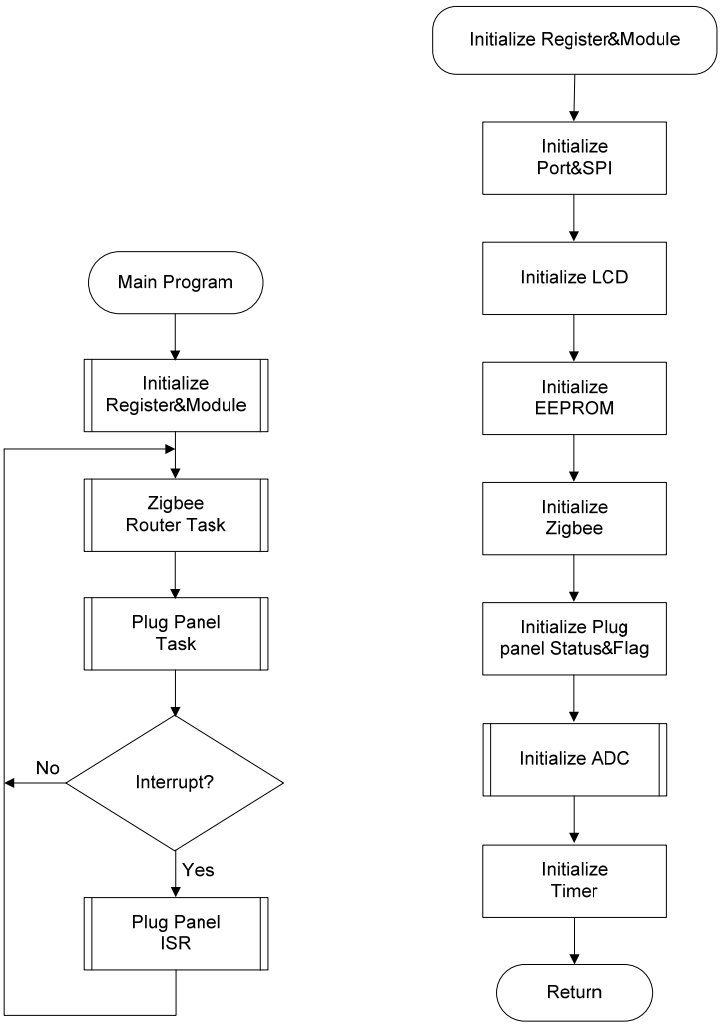
โปรแกรมของแผงปลั๊ก แบ่งเป็นการทำงานในส่วนของเครือข่าย Zigbee การทำงานในส่วนติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติ และการทำงานในส่วนแผงปลั๊กซึ่งประกอบด้วยการเปิดปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การวัดกำลังไฟฟ้า ตรวจจับคน การแสดงผลออกทางจอแอลซีดี โดยมีโครงสร้างของโปรแกรม ดังภาพ 4-34



ภาพที่ 4-34 โครงสร้างโปรแกรมของแผงปลั๊ก

การทำงานเริ่มโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ของมอดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วยมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล, พอร์ต SPI

สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee, หน่วยความจำ EEPROM เริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์รอบข้าง คือมอดูล Zigbee หน่วยความจำ EEPROM จอแสดงผลแอลซีดี จากนั้นเข้าสู่การทำงานในส่วนของ Zigbee stack ซึ่งเป็น router ของเครือข่าย จากนั้นทำงานส่วนการติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติ หากมีสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) เกิดขึ้นก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของแผงปลั๊ก (Plug panel interrupt service routine) ต่อไป โดยมีรอบการทำงานดังภาพที่ 4-35

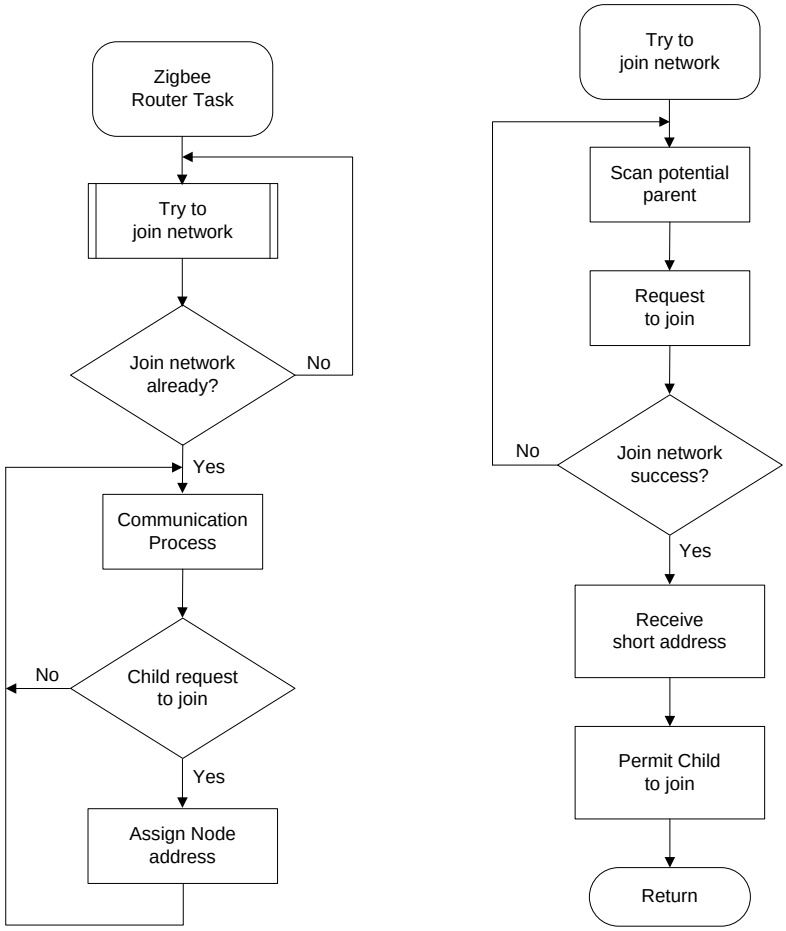


(ก) *(ข)*

ภาพที่ 4-35 (ก) แผนผังการทำงานของแผงปลั๊ก และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน

4.2.2.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอล Zigbee ของแผงปลั๊ก

หน้าที่ของแผงปลั๊กในเครือข่าย Zigbee คือ เป็น router ของเครือข่าย ซึ่งสามารถส่งต่อแพคเก็ตข้อมูลไปยังโหนดถัดไป รับอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายและจ่ายเลขที่อยู่ได้ การทำงานในส่วนของ routerใน Zigbee stack ซึ่งใช้โปรแกรม Zigbee2006 เริ่มต้นจะทำการร้องขอเข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งเมื่อเข้าร่วมเครือข่ายได้แล้ว หากมีอุปกรณ์อื่นขอเข้าร่วมเครือข่าย ก็สามารถจ่ายเลขที่อยู่ได้



(ก) *(ข)*

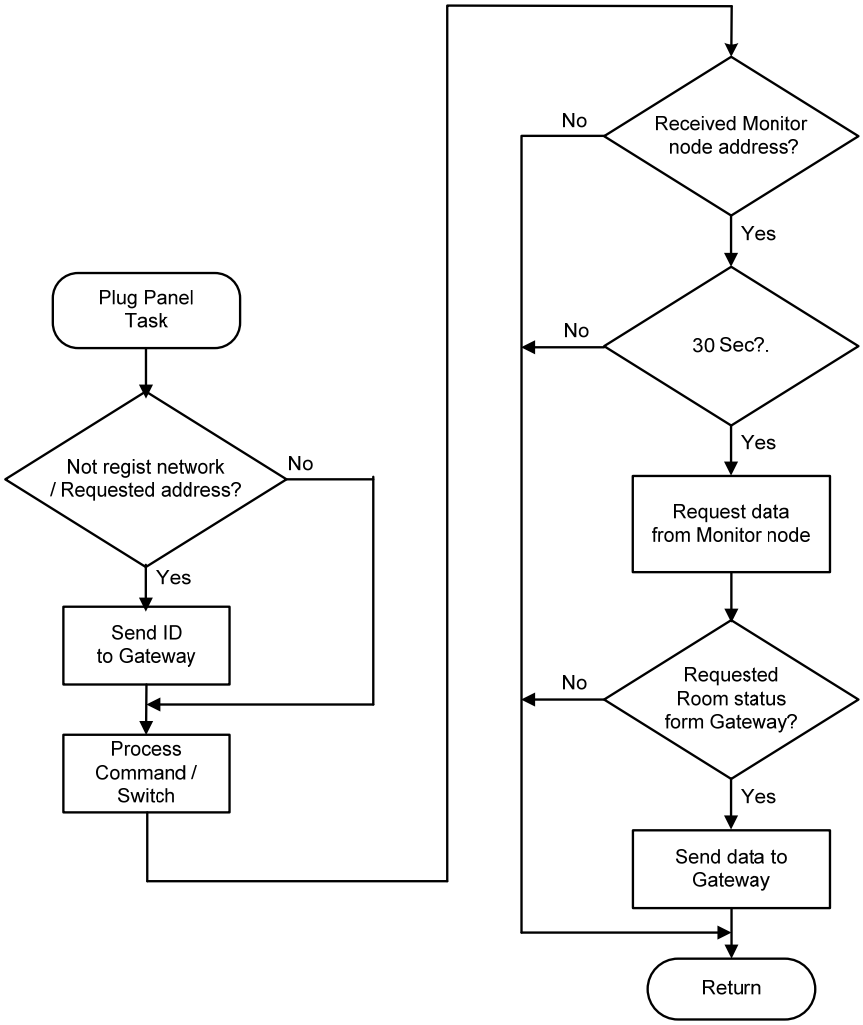
ภาพที่ 4-36 (ก) แผนผังการการทำงานส่วน Zigbee router และ (ข) การเข้าร่วมเครือข่าย

การเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊ก จะมีการร้องขอข้อมูลจากโหนดที่มีศักยภาพ (potential parent) จากนั้นจะเลือกโหนดที่มีศักยภาพมากที่สุดหรือมีคุณภาพการสื่อสารที่ดีที่สุด

โดยทำการร้องขอเข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งหากมีการตอบรับแล้ว จะได้รับเลขที่อยู่แบบสั้น (short address) จากนั้นจะทำการอนุญาตให้อุปกรณ์อื่นเข้าร่วมเครือข่ายได้

4.2.2.2. การทำงานของแผงปลั๊กในระบบบ้านอัตโนมัติ

แผงปลั๊กในระบบบ้านอัตโนมัติจะแบ่งในส่วนการติดต่อสื่อสารและการทำหน้าที่ภายในตัวมันเอง โดยเมื่อแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายจะต้องลงทะเบียนที่เกทเวย์และรับเลขที่อยู่ของส่วนตรวจวัด, ทำหน้าที่เปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าตามคำสั่ง และทุกๆ 30 วินาทีจะทำการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัด จากนั้นเมื่อมีการร้องขอสถานะห้องจากเกทเวย์ก็จะส่งข้อมูลนั้นกลับไปให้ โดยรายละเอียดการทำงานเป็นดังนี้

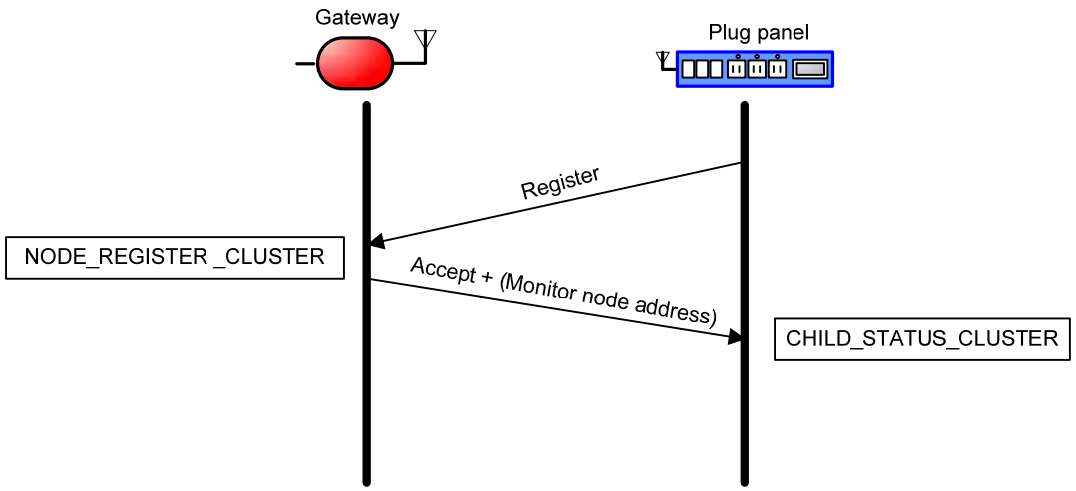


ภาพที่ 4-37 แผนผังส่วนหน้าที่ของแผงปลั๊กในระบบบ้านอัตโนมัติ

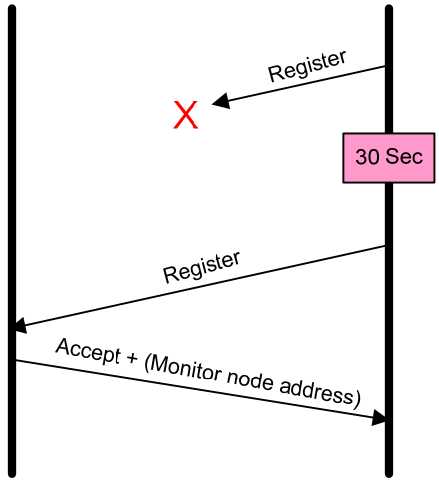
1) การทำงานในส่วนการติดต่อสื่อสารของแผงปลั๊ก

1.1) การลงทะเบียนเข้าระบบ

เมื่อแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว จะทำการส่งแพคเก็ตการลงทะเบียนไปที่เกทเวย์ เพื่อให้เกทเวย์ทราบว่า แผงปลั๊กนั้นได้เข้าร่วมเครือข่ายแล้ว โดยแพคเก็ตประกอบด้วย ชนิดและลำดับของแผงปลั๊กและรหัสการจับคู่ ดังภาพที่ 4-38 โดยส่งไปที่กลุ่ม NODE_REGISTER_CLUSTER ของเกทเวย์ เมื่อเกทเวย์ลงทะเบียนเรียบร้อย เกทเวย์จะนำรหัสการจับคู่เพื่อใช้ในการจับคู่กับส่วนตรวจวัดย่อยที่เป็นคู่กัน หากพบจะส่งเลขที่อยู่กลับมาให้ โดยส่งไปเข้ากลุ่ม CHILD_ADDRESS_CLUSTER เพื่อใช้ในการติดต่อขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อย โดยจะบันทึกลงในตารางโหนดลูกและบันทึกว่าโหนดลูกนั้นได้เข้าร่วมเครือข่ายแล้ว ในการลงทะเบียนของแผงปลั๊ก หากยังไม่ได้รับแพคเก็ตตอบรับจากเกทเวย์ จะส่งแพคเก็ตการลงทะเบียนใหม่ทุกๆ 30 วินาที จนกว่าจะได้รับการตอบรับ



(ก)



(ข)

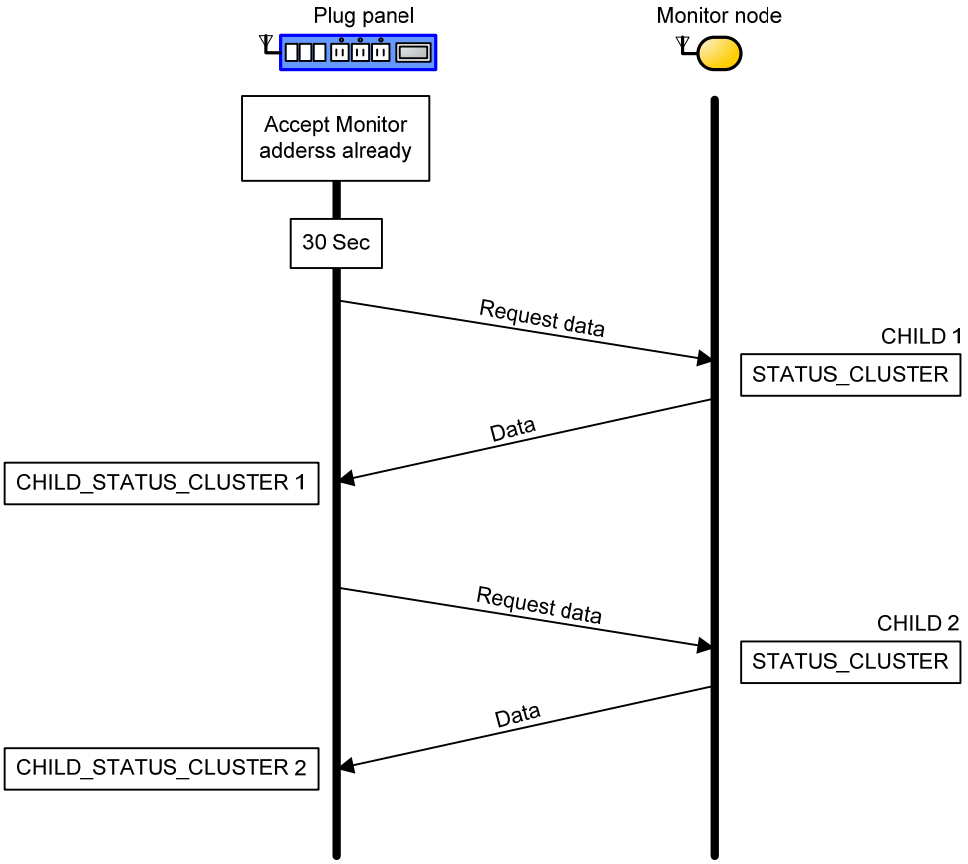
ภาพที่ 4-38 (ก) การลงทะเบียนของแผงปลั๊ก และ (ข) กรณีที่ยังไม่ได้การตอบรับจากเกทเวย์

1.2) การร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อย

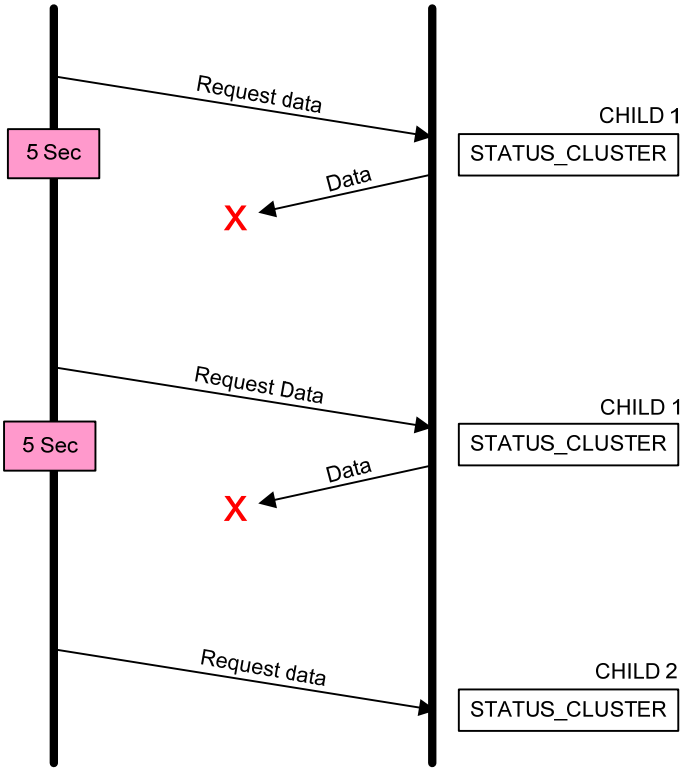
การอัพเดทข้อมูลของแผงปลั๊กเพื่อนำมาแสดงที่จอแอลซีดีนั้น จะทำทุกๆ 30 วินาที เมื่อครบเวลา จะทำการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยทั้งสอง โดยใช้ตารางโหนดลูกของแผงปลั๊กที่เก็บรายละเอียดของส่วนตรวจวัดย่อยที่เป็นคู่ของมัน โดยจะส่งการร้องขอไปที่กลุ่ม STATUS_CLUSTER ของส่วนตรวจวัดย่อย เมื่อส่วนตรวจวัดย่อยได้รับแพคเก็ตร้องขอ จะส่งค่าสถานะห้องที่วัดได้กลับมา ส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 1 (CHILD =1) จะส่งค่าสถานะกลับมาที่ CHILD_STATUS_CLUSTER1 และส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 2 (CHILD =2) จะส่งค่าสถานะกลับมาที่ CHILD_STATUS_CLUSTER2 ของแผงปลั๊ก ในการร้องขอข้อมูลนั้นหากไม่ได้รับข้อมูลกลับมาจากส่วนตรวจวัดย่อยภายใน 5 วินาที จะทำการส่งแพคเก็ตร้องขออีกครั้ง หากยังไม่ได้รับข้อมูลภายใน 5 วินาทีอีกครั้งก็จะยุติการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดในรอบนั้น หากยังเหลือส่วนตรวจวัดที่ยังไม่ได้ร้องขอก็จะเริ่มการร้องขอต่อไป สำหรับตารางโหนดลูกของแผงปลั๊กจะเก็บข้อมูลเลขที่อยู่แบบสั้น, สถานะการเข้าร่วมเครือข่ายและสถานะการร้องขอข้อมูล

ตารางที่ 4-5 ส่วนตรวจวัดย่อยที่เป็นโหนดลูกของแผงปลั๊ก

Monitor Node	Join	Receive
CHILD 1 address	Yes / No	Yes / No
CHILD 2 address	Yes / No	Yes / No



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-39 (ก) การร้องขอข้อมูลของแผงปลั๊กจากส่วนตรวจวัดย่อย และ (ข) การร้องขอซ้ำกรณีที่ไม่ได้รับข้อมูลตามเวลาที่กำหนด

1.3) การส่งข้อมูลสถานะทั้งหมดของห้องไปยังเกทเวย์

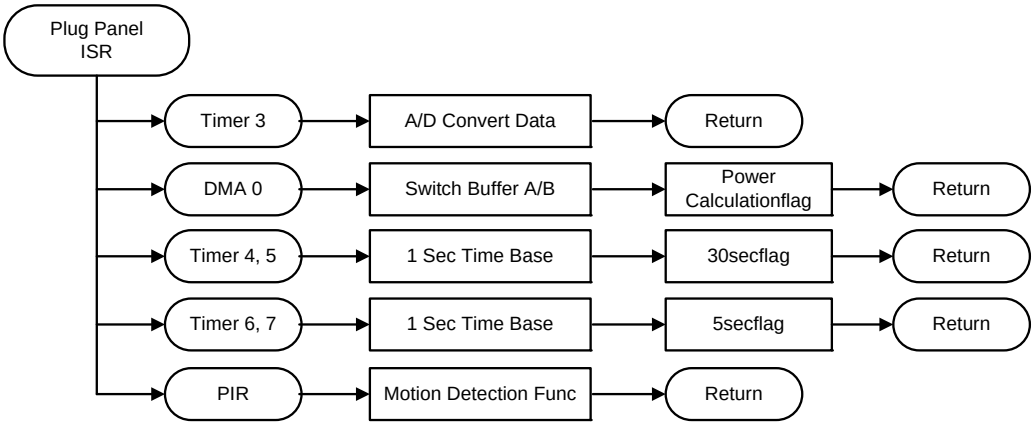
สำหรับการอัพเดทข้อมูลของทุกห้องเพื่อนำไปแสดงผลที่เว็บเพจ หรือรีโมทนั้นจะทำทุกๆ 2 นาที โดยเกทเวย์จะร้องขอข้อมูลสถานะทั้งหมดของห้องนั้น โดยส่งแพคเก็ตร้องขอมาที่ EACH_ROOM_STATUS _CLUSTER ซึ่งเมื่อแผงปลั๊กได้รับแล้วจะส่งค่าสถานะทั้งหมดภายในห้องกลับไปให้

1.4) การรับคำสั่งจากเกทเวย์

คำสั่งจากผู้ใช้ไม่ว่าจะติดต่อทางเว็บเพจหรือรีโมท จะถูกส่งไปที่เกทเวย์ จากนั้นเกทเวย์จะตรวจสอบคำสั่งว่าต้องส่งไปที่แผงปลั๊กใดบ้าง ก็จะส่งแพคเก็ตคำสั่งไปยังกลุ่ม COOR_COMMAND_CLUSTER ที่แผงปลั๊กนั้น จากนั้นแผงปลั๊กจะนำคำสั่งที่ส่งมาไปทำการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไป

2) การทำงานในส่วนหน้าที่ของแผงปลั๊ก

แผงปลั๊กเป็นส่วนที่ทำการควบคุมการปิดเปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยภายในจะประกอบไปด้วยรีเลย์ 6 ตัว ทำการเปิด-ปิดไฟ 3 ตัวและเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ตัว มีตัวรับรู้สำหรับตรวจจับคนแบบ PIR และทำหน้าที่วัดกำลังไฟฟ้าที่หลอดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบปลั๊กไว้ เมื่อโปรแกรมทำงานในส่วน router ในเครือข่าย Zigbee และการติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว ก็จะเข้าสู่การทำงานเหล่านี้ เริ่มต้นจะตรวจสอบสถานะของสวิทช์เพื่อดูว่ามีการเปลี่ยนสถานะการเปิด-ปิดหลอดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการเปิด/ปิดรีเลย์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นหากมีสัญญาณขัดจังหวะเข้ามา ก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของแผงปลั๊ก (Plug panel interrupt service routine) ต่อไป



ภาพที่ 4-40 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของแผงปลั๊ก

สัญญาณขัดจังหวะที่เกิดขึ้นภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดได้จากแหล่งต่างๆ ดังนี้

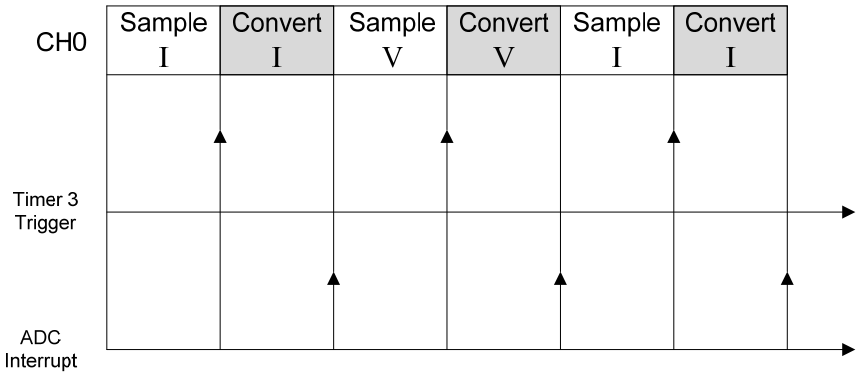
- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวจับเวลา3 (Timer3) เกิดขึ้นเมื่อครบกำหนดทุกๆ 125 ไมโครวินาทีสำหรับมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในการแปลงสัญญาณแรงดันและกระแสเป็นแบบดิจิทัล แล้วส่งต่อไปยังมอดูล DMA (Direct Memory Access)

- สัญญาณขัดจังหวะจากมอดูล DMA เมื่อข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลถูกเก็บเต็มบัฟเฟอร์ จะมีการสลับหน้าที่การทำงานของบัฟเฟอร์ทั้งสองในมอดูล DMA
- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวจับเวลา 4และ5 (Timer4 และ Timer5) เมื่อครบกำหนดทุกๆ 1 วินาที เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลาในการจับเวลา โดยเมื่อครบ 30 วินาที จะทำการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อย และนำค่าสถานะต่างๆทั้งหมดของห้องแสดงที่จอแอลซีดี
- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวจับเวลา 6 และ 7 (Timer6และ Timer7) เมื่อครบกำหนดทุกๆ 1 วินาที เพื่อใช้เป็นเวลาในการรอข้อมูลตอบกลับจากส่วนตรวจวัด สามารถทำการรีเซ็ตเมื่อได้รับข้อมูลและเริ่มการทำงานใหม่เมื่อส่งแพคเก็ตการร้องขอออกไป โดยมีระยะเวลาการรอ 5 วินาที
- สัญญาณขัดจังหวะจากตัวรับรู้ PIR เพื่อนำไปตัดสินใจในการเปิด ปิดรีเลย์

2.1) การวัดกำลังไฟฟ้า

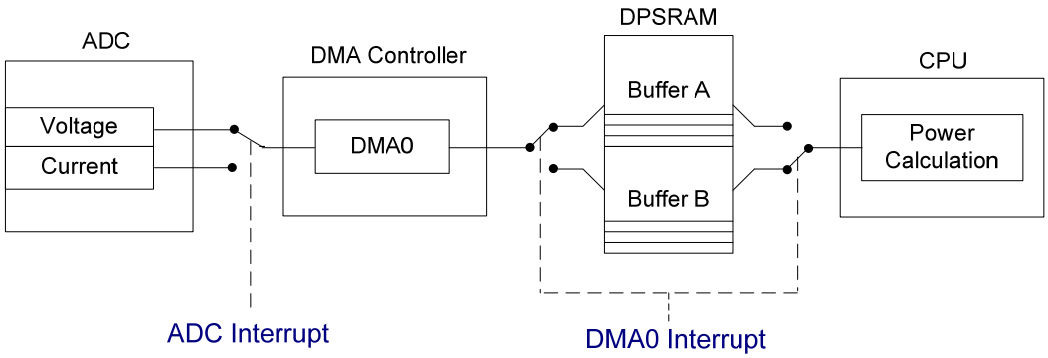
2.1.1)การทำงานของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและส่วน DMA

ในการทำงานส่วนของการวัดกำลังไฟฟ้า ทำการสลับการดึงสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันผ่านพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและใช้ตัวจับเวลาในการตั้งช่วงเวลาในการส่งสัญญาณกระตุ้นเพื่อทำการแปลงสัญญาณ โดยหลังจากการดึงสัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรปรับแต่ง เมื่อผ่านไป 125 ไมโครวินาทีจะทำการแปลงสัญญาณ หลังจากแปลงสัญญาณกระแสเรียบร้อยแล้วจะทำการดึงสัญญาณแรงดันเข้ามาทันที แล้วรอ 125 ไมโครวินาทีจึงทำการแปลงสัญญาณ เป็นเช่นนี้สลับกันไป ทำให้ได้ความถี่ในการชักสัญญาณกระแสและแรงดันอยู่ที่ประมาณ 4 กิโลเฮิทซ์ จากนั้นข้อมูลในแบบดิจิทัลจะถูกส่งไปพักที่บัฟเฟอร์ส่วน DMA (Direct Memory Access) เพื่อรอการนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 4-41 การชักตัวอย่างและการแปลงสัญญาณของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

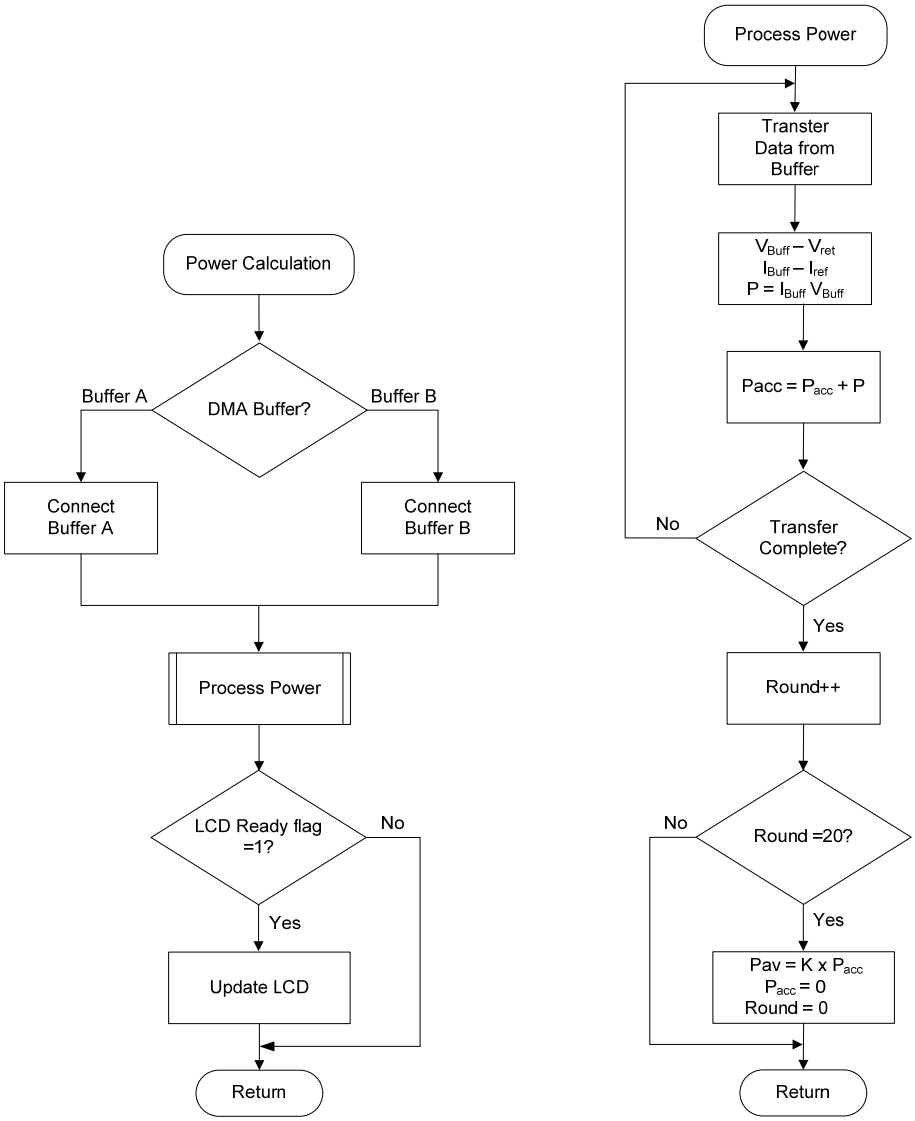
ในส่วน DMA จะประกอบด้วยหน่วยความจำแรมแบบ 2 พอร์ต (DPSRAM) ในโปรแกรมจะจองหน่วยความจำส่วนนี้ไว้ 2 ชุด ชุดละ 320 เวิร์ด (สัญญาณที่สุ่มแต่ละครั้ง เก็บในพื้นที่ 2 ไบต์) บัฟเฟอร์ 2 ชุดจะทำงานในโหมด Ping-Pong หรือสลับกันทำงานในการพักข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณและในการดึงข้อมูลไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า ในระหว่างบัฟเฟอร์ A กำลังเก็บค่าที่ถูกแปลงจากมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล บัฟเฟอร์ B ซึ่งเก็บข้อมูลที่แปลงเต็มแล้วจะถูกดึงไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า เมื่อบัฟเฟอร์ A เต็มก็จะสลับการทำงานโดยจะถูกดึงค่าที่แปลงแล้วไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าแทน ส่วนบัฟเฟอร์ B ก็จะใช้สำหรับพักข้อมูลที่ส่งมาจากมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแทน โดยการสลับหน้าที่ทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอด ทำให้สามารถดึงสัญญาณและทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องรอให้คำนวณกำลังไฟฟ้าเสร็จแล้วค่อยดึงสัญญาณ



ภาพที่ 4-42 การดึงสัญญาณดิจิทัลที่ได้มาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของ DMA เพื่อนำไปคำนวณกำลังไฟฟ้า

2.1.2) โปรแกรมคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจะทำโดยการดึงค่าแรงดันและกระแสที่ผ่านการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วซึ่งเก็บอยู่ภายในบัฟเฟอร์ของส่วน DMA โดยสลับการดึงข้อมูลจากบัฟเฟอร์ A และบัฟเฟอร์ B จากนั้นนำมาคำนวณโดยการดึงข้อมูลออกจากบัฟเฟอร์ทีละ 2 ชุด เนื่องจากมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำการมัลติเพล็กซ์ในการชักสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส ข้อมูล 2 ชุดที่ดึงออกมาคือสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสซึ่งผ่านการปรับโดยวงจรปรับสัญญาณ จากนั้นนำมาลบกับค่าคงที่ เนื่องจากในวงจรปรับสัญญาณจะใช้แรงดันออฟเซตเพื่อให้สัญญาณที่ได้มีค่าเป็นบวกเสมอ จากนั้นนำค่าสัญญาณแรงดันและกระแสทั้งหมดในบัฟเฟอร์มาคูณกันและเก็บค่าผลคูณสะสมไว้ โดยมีรอบการทำงานทั้งหมด 20 รอบ เมื่อครบแล้ว ค่าผลคูณสะสมทั้งหมดจะนำไปคูณกับค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งได้จากการสอบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐาน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้า

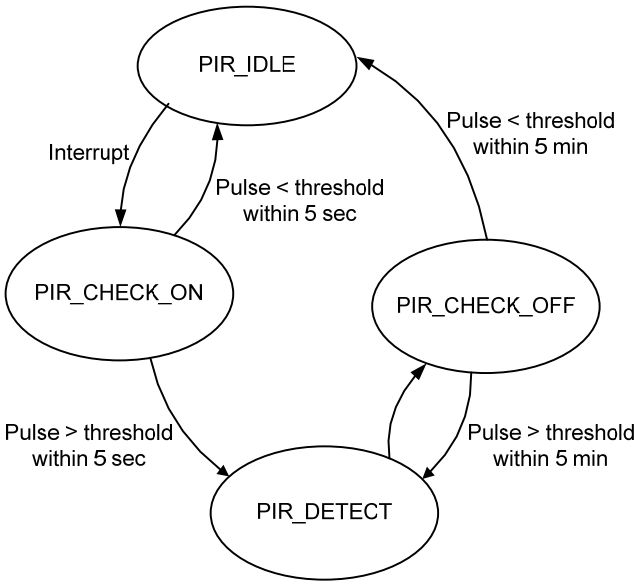


ภาพที่4-43 แผนผังการคำนวณกำลังไฟฟ้า

2.2) โปรแกรมในส่วนการทำงานอัตโนมัติ

แผงปลั๊กสามารถทำงานในโหมดการเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติ การทำงานของโหมดนี้มีเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน โดยจะปิดไฟโดยอัตโนมัติหากไม่มีคนอยู่ในห้อง และจะเปิดไฟหากมีคนเข้ามาในบริเวณห้อง โดยการตรวจสอบว่ามีคนอยู่หรือไม่จะใช้ตัวรับรู้ตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบ PIR ที่อยู่บนแผงปลั๊ก การทำงานของ PIR นั้นจะตรวจจับความร้อนของคน เมื่อเข้าใกล้ระยะทำงาน โดยส่งเอาท์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมหากมีการเคลื่อนไหว โดยสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณขัดจังหวะของไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานของโปรแกรมส่วนการตัดสินใจในการ

เปิด-ปิดไฟจะเป็นแบบ FSM มีทั้งหมด 4 สถานะ คือ PIR_IDLE, PIR_CHECK_ON, PIR_DETECT และ PIR_CHECK_OFF โดยมีรายละเอียดการทำงานดังนี้



ภาพที่ 4-44 แผนผังการทำงานแบบ FSM เมื่อแผงปลั๊กทำงานโนโหมดอัตโนมัติ

การทำงานเริ่มแรกเมื่อแผงปลั๊กทำงานในโหมดอัตโนมัติจะอยู่ในสถานะ PIR_IDLE ในสถานะนี้จะคอยจับสัญญาณขัดจังหวะ หากมีสัญญาณขัดจังหวะเข้ามาจะไปยังสถานะ PIR_CHECK_ON ซึ่งจะเริ่มจับเวลาเป็นเวลา 5 วินาที ในช่วงเวลาการจับเวลานี้ จะมีการนับจำนวนพัลส์จาก PIR เมื่อครบ 5 วินาทีแล้วจะนำจำนวนพัลส์ที่นับได้มาตัดสินใจว่ามีคนเข้ามาภายในห้องจริงๆหรือเป็นสัญญาณรบกวน (noise) หากจำนวนพัลส์มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ จะไปยังสถานะ PIR_DETECT หากน้อยกว่าก็จะกลับไปยังสถานะ PIR_IDLE เช่นเดิม ในสถานะ PIR_DETECT จะเปิดไฟและเริ่มจับเวลา 5 นาทีและจะไปยังสถานะ PIR_CHECK_OFF โดยในสถานะ PIR_CHECK_OFF จะนับจำนวนพัลส์จาก PIR และเมื่อครบ 5 นาทีจะนำจำนวนพัลส์ที่นับได้มาตัดสินใจว่ามีคนอยู่ในห้องหรือไม่ โดยหากน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ จะถือว่าไม่มีคนอยู่ในห้องและทำการปิดไฟ จากนั้นจะไปกลับไปยังสถานะ PIR_IDLE เช่นเดิม แต่หากว่าจำนวนพัลส์มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ก็จะไม่ดับไฟและกับไปยังสถานะ PIR_DETECT

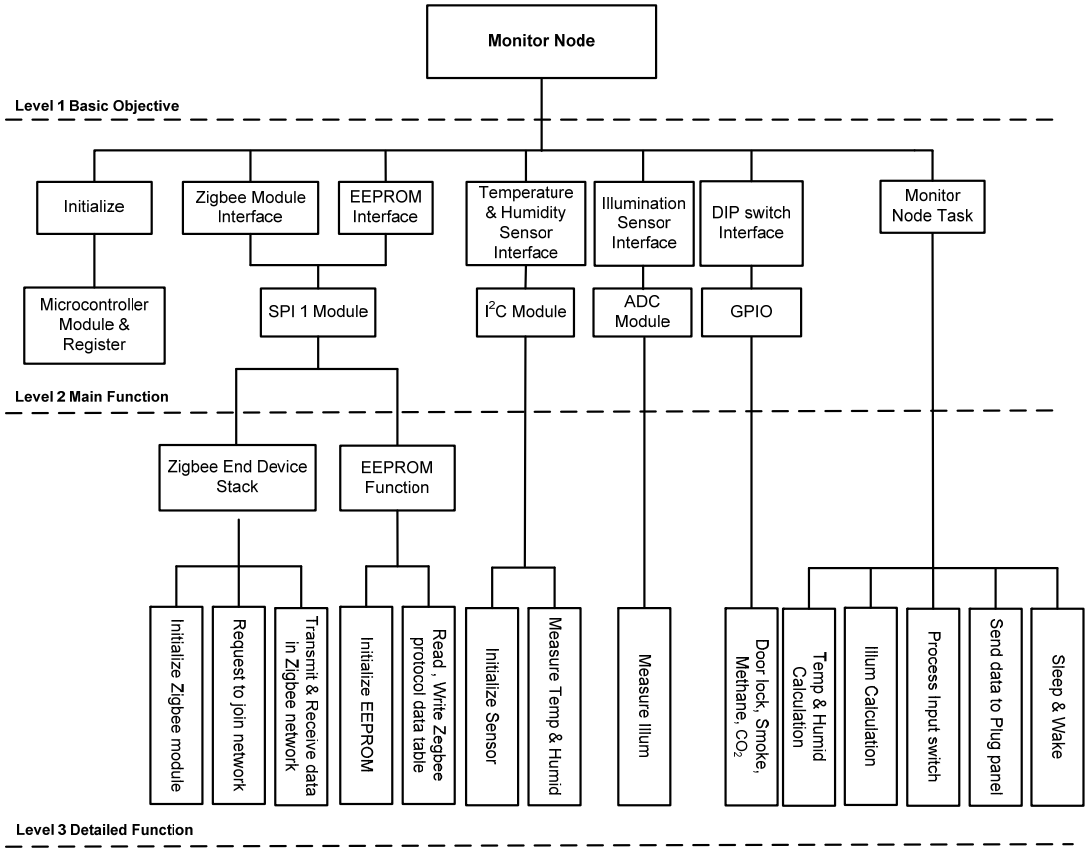
ผู้ใช้สามารถเลือกโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก ได้ทั้งจากรีโมทและผ่านทางเว็บเพจ โดยเลือกหัวข้อ Auto mode ให้เป็น ON หากไม่ต้องการใช้โหมดนี้เลือกให้เป็น OFF สำหรับค่าเริ่มต้น (default) โหมดนี้จะไม่ทำงาน

2.3) การเปิด-ปิดไฟด้วยสวิทช์บนแผงปลั๊ก

ผู้ใช้สามารถเปิด-ปิดไฟโดยตรงที่แผงปลั๊ก ซึ่งมีสวิทช์แบบสลับเปิด-ปิด (toggle) อยู่ 3 ตัวควบคุมการเปิด-ปิดรีเลย์ที่มีส่วนต่อกับหลอดไฟ 3 ดวง

4.2.3. โปรแกรมควบคุมการทำงานของส่วนตรวจวัดย่อย

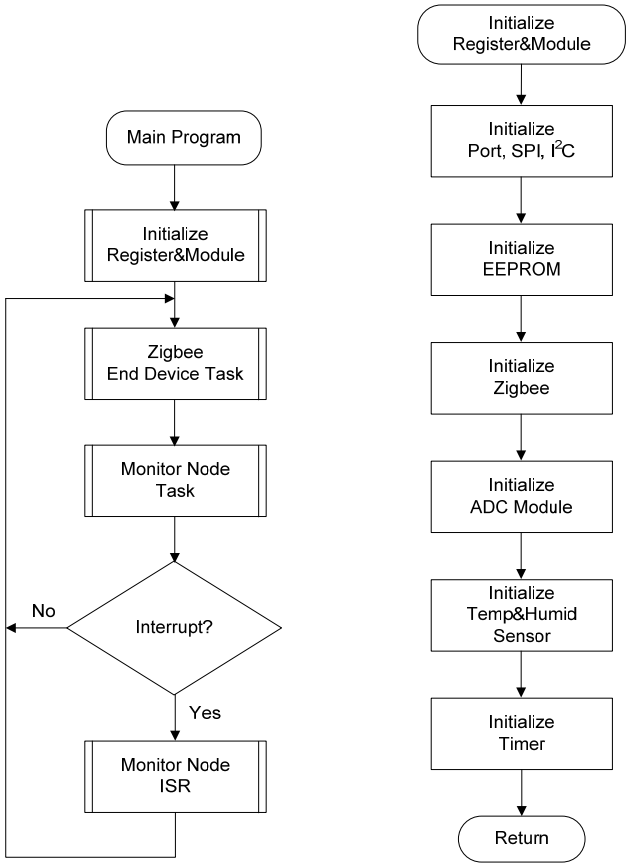
โปรแกรมของส่วนตรวจวัดย่อย แบ่งเป็นการทำงานในส่วนของเครือข่าย Zigbee การทำงานในส่วนติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติและการวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง รวมทั้งการจำลองการเปิด-ปิดประตู, ควัน, ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ มีโครงสร้างของโปรแกรม ดังภาพที่ 4-45



ภาพที่ 4-45 โครงสร้างโปรแกรมของส่วนตรวจวัดย่อย

การทำงานเริ่มต้นโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ของมอดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ มอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อรับค่าจากตัวรับรู้สำหรับวัดความสว่าง พอร์ต SPI สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee, หน่วยความจำ EEPROM และ

ขาสัญญาณติดต่อกับตัวรับรู้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นด้วย I^2C เริ่มต้นการทำงานของอุปกรณ์รอบข้าง คือมอดูล Zigbee หน่วยความจำ EEPROM และตัวรับรู้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น จากนั้นเข้าสู่การทำงานในส่วนของ Zigbee stack ซึ่งเป็น end device ของเครือข่าย ถัดไปเป็นส่วนการติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติ และโดยมีรอบการทำงานดังภาพที่ 4-46

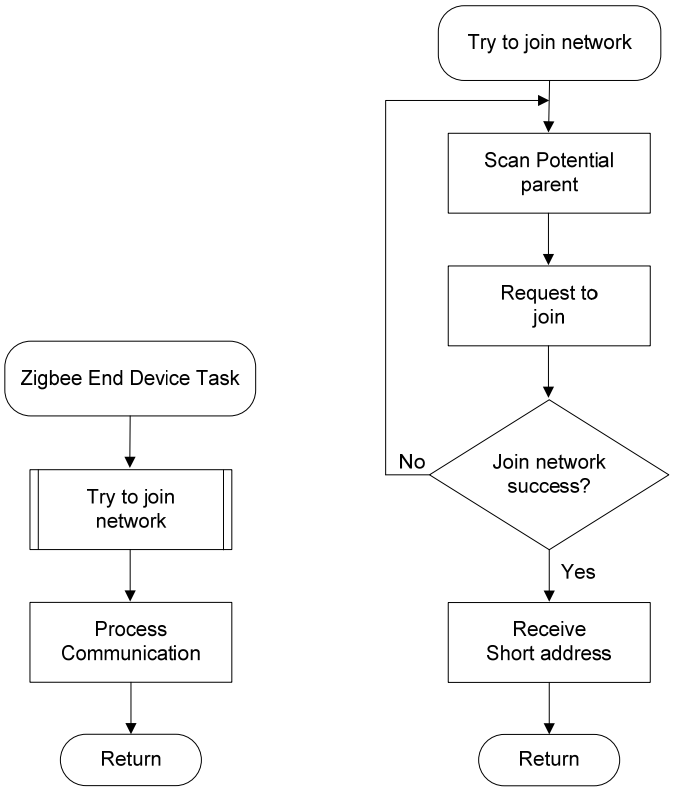


(ก) *(ข)*

ภาพที่ 4-46 (ก) แผนผังการทำงานของส่วนตรวจวัดย่อย และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน

4.2.3.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอลZigbeeของส่วนตรวจวัดย่อย

หน้าที่ของส่วนตรวจวัดย่อยในเครือข่าย Zigbee คือ เป็น end device ของเครือข่าย การทำงานในส่วนของ end device ใน Zigbee stack ด้วยโปรแกรม Zigbee2006 จะทำการร้องขอเข้าร่วมเครือข่าย เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้วหากไม่มีการทำงานสามารถหลับได้



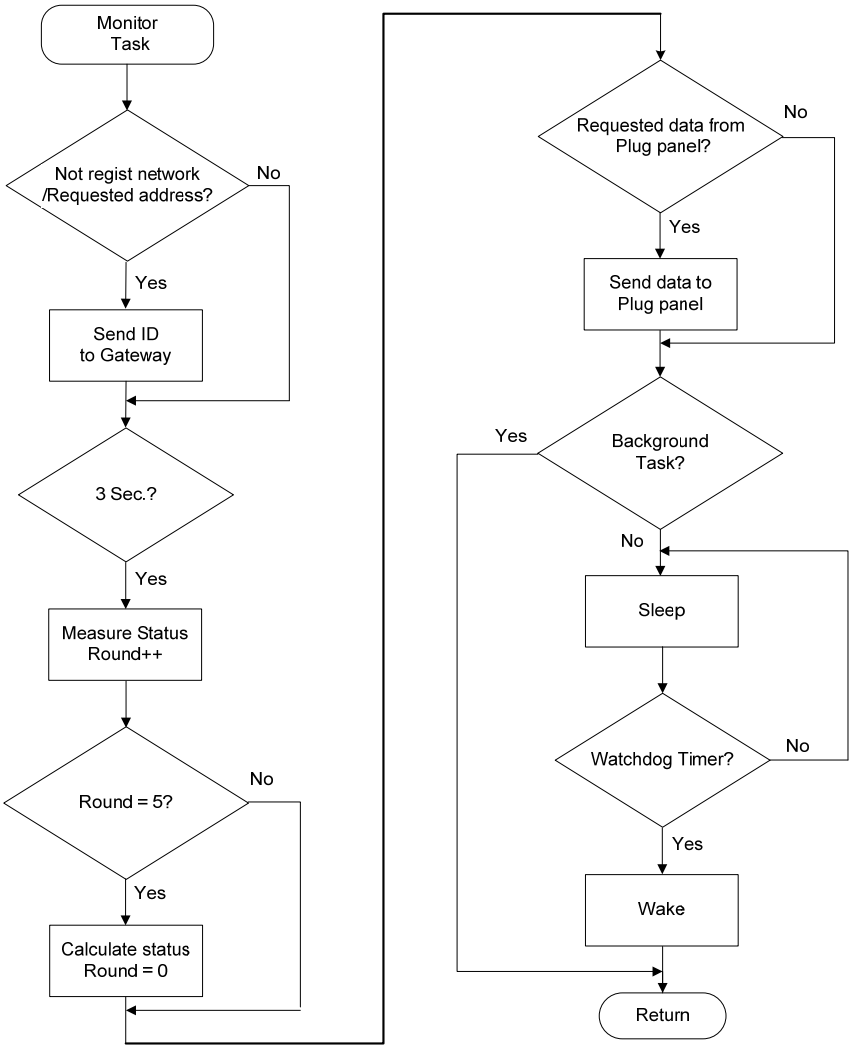
(ก) *(ข)*

ภาพที่ 4-47 (ก) แผนผังการการทำงานส่วน Zigbee end device และ (ข) การเข้าร่วมเครือข่าย

การเข้าร่วมเครือข่ายของส่วนตรวจวัดย่อย จะเลือกโหนดที่มีศักยภาพมากที่สุด หรือมีคุณภาพการสื่อสารที่ดีที่สุดโดยทำการร้องขอเข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งหากมีการตอบรับแล้ว จะได้รับเลขที่อยู่แบบสั้น (short address)

4.2.3.2. **การทำงานของส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติ**

ส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติจะแบ่งการทำงานเป็นส่วนการติดต่อสื่อสาร และการทำหน้าที่ตรวจวัดสถานะ โดยเมื่อส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายจะต้องลงทะเบียนที่เกทเวย์ จากนั้นจะทำการตรวจวัดสถานะในห้อง ซึ่งการวัดสถานะจะเสร็จสิ้นทุกๆ 15 วินาที และรอรับการร้องขอจากแผงปลั๊ก หากไม่มีงานหน่วยประมวลผลกลางและมอดูล Zigbee จะหลับและจับเวลาโดยตัวจับเวลาแบบ Watchdog (Watchdog Timer) แล้วจึงค่อยตื่นมาทำงาน การทำงานต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

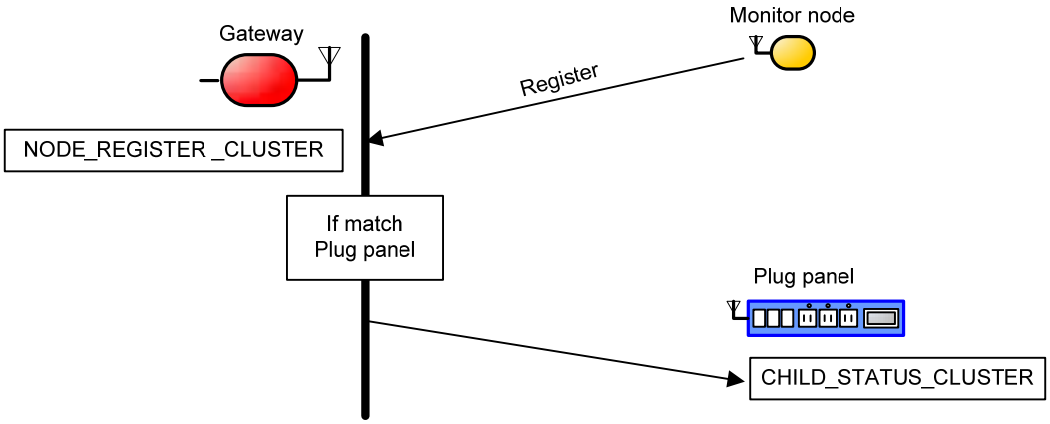


ภาพที่ 4-48 แผนผังส่วนหน้าที่ของส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติ

1) การทำงานในส่วนการติดต่อสื่อสารของส่วนตรวจวัดย่อย

1.1) การลงทะเบียนเข้าระบบ

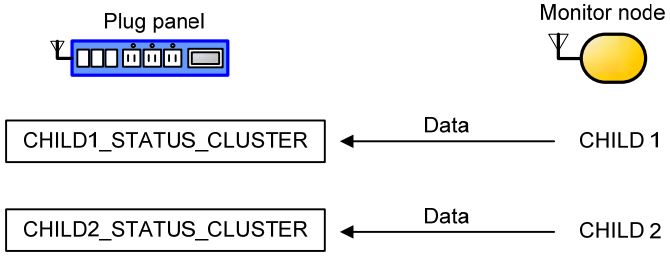
เมื่อส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว จะทำการส่งแพคเก็ตการลงทะเบียนไปที่เกทเวย์ เพื่อให้เกทเวย์ทราบว่า ส่วนตรวจวัดย่อยนั้นได้เข้าร่วมเครือข่ายแล้ว โดยแพคเก็ตประกอบด้วย ชนิดและลำดับของส่วนตรวจวัดย่อยและรหัสการจับคู่ ดังภาพที่ 4-49 โดยส่งไปที่กลุ่ม NODE_REGISTER_CLUSTER ของเกทเวย์ หากมีแผงปลั๊กที่เป็นคู่ของมันลงทะเบียนเข้าร่วมเครือข่ายแล้วก็จะส่งเลขที่อยู่ของมันให้กับแผงปลั๊กนั้น



ภาพที่ 4-49 การลงทะเบียนของส่วนตรวจวัดย่อย

1.2) การส่งข้อมูลสถานะห้องที่วัดได้ไปยังแผงปลั๊ก

เมื่อได้รับแพคเก็ตการร้องขอข้อมูลสถานะจากแผงปลั๊ก จะทำการส่งข้อมูลที่วัดได้กลับไปยังแผงปลั๊ก หากเป็นส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 1 จะส่งไปเข้ากลุ่ม CHILD_STATUS _CLUSTER1 หากเป็นส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 2 จะส่งไปเข้ากลุ่ม CHILD_STATUS_CLUSTER2



ภาพที่ 4-50 สถานะที่วัดได้จากส่วนตรวจวัดย่อยถูกส่งไปยังแผงปลั๊ก

2) การทำงานในส่วนหน้าที่ของส่วนตรวจวัดย่อยในระบบบ้านอัตโนมัติ

ส่วนตรวจวัดย่อยทำหน้าที่ในการวัดหรือตรวจจับค่าสถานะต่างๆภายในห้องโดยติดต่อกับตัวรับรู้ต่าง ทำการวัดสถานะทุกๆ 3 วินาทีรอบละ 5 ครั้ง เมื่อครบรอบจะนำสถานะที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ตัวจับเวลาทำการจับเวลา เมื่อมีการร้องขอข้อมูลจากแผงปลั๊กก็จะส่งค่าที่ตรวจวัดได้กลับไป หากไม่มีการทำงานก็จะหลับและตื่นเป็นช่วงๆ โดยเมื่อตื่นจะร้องขอข้อมูลจากโหนดแม่โดยใช้คำสั่ง sync request ซึ่งอยู่ในโปรโทคอล Zigbee เนื่องจากอาจมีการร้องขอจากแผงปลั๊กในช่วงที่ส่วนตรวจวัดย่อยกำลังหลับอยู่

2.1) การวัดอุณหภูมิและความชื้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับตัวรับรู้วัดอุณหภูมิและความชื้นผ่านทางพอร์ต I^2C โดยส่งคำสั่งในการอ่านค่าข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อไป ข้อมูลที่อ่านได้จากตัวรับรู้เพื่อนำไปคำนวณอุณหภูมิ SO_T มีขนาด 14 บิต และ ข้อมูลที่อ่านได้จากตัวรับรู้เพื่อนำไปคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ SO_{RH} มีขนาด 12 บิต โดยจะนำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณค่าต่างๆต่อไป ดังนี้

การหาค่าอุณหภูมิ เป็นไปตามสมการ (4.1)

$$T(C) = (SO_T) \times 0.1 - 40 \tag{4.1}$$

ค่าความชื้นที่ยังไม่ชดเชยด้วยค่าอุณหภูมิ เป็นไปตามสมการ (4.2)

$$RH_{linear} = -4 + (0.0405 \times SO_{RH}) + (-2.8 \times 10^{-6} \times (SO_{RH})^2) \tag{4.2}$$

จากนั้นนำค่าตามสมการ(4.2) มาชดเชยด้วยค่าอุณหภูมิเพื่อหาค่าความชื้นจริงได้จากสมการ (4.3)

$$RH_{true} = (T(C) - 25) \times (0.01 + 0.00008(SO_{RH}) + RH_{linear}) \tag{4.3}$$

2.2) การตรวจวัดความสว่าง

ตัวรับรู้สำหรับวัดค่าความสว่างจะให้ผลออกเป็นกระแสที่เป็นไปตามสมการ (4.4)

$$I_{out} = \left(\frac{60uA}{100lux}\right) \times L_{input} \tag{4.4}$$

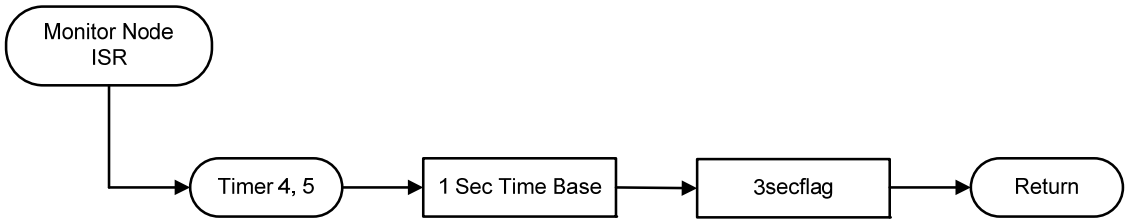
โดย L_{input} คือ ความสว่างของแสงที่วัดในหน่วยลักซ์

กระแสนี้จะนำผ่านตัวต้านทาน ที่ต่อระหว่างเอาท์พุตกับกราวด์ ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันเข้าขาพอร์ตของมอดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

2.3) การตรวจจับการเปิด-ปิดประตู, ตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต่อกับ DIP สวิทช์ในการจำลองการทำงาน โดยแอคทีฟ low แสดงถึงสถานะปกติ และ แอคทีฟ high แสดงถึงการตรวจจับหรือมีเหตุการณ์เกิดขึ้น

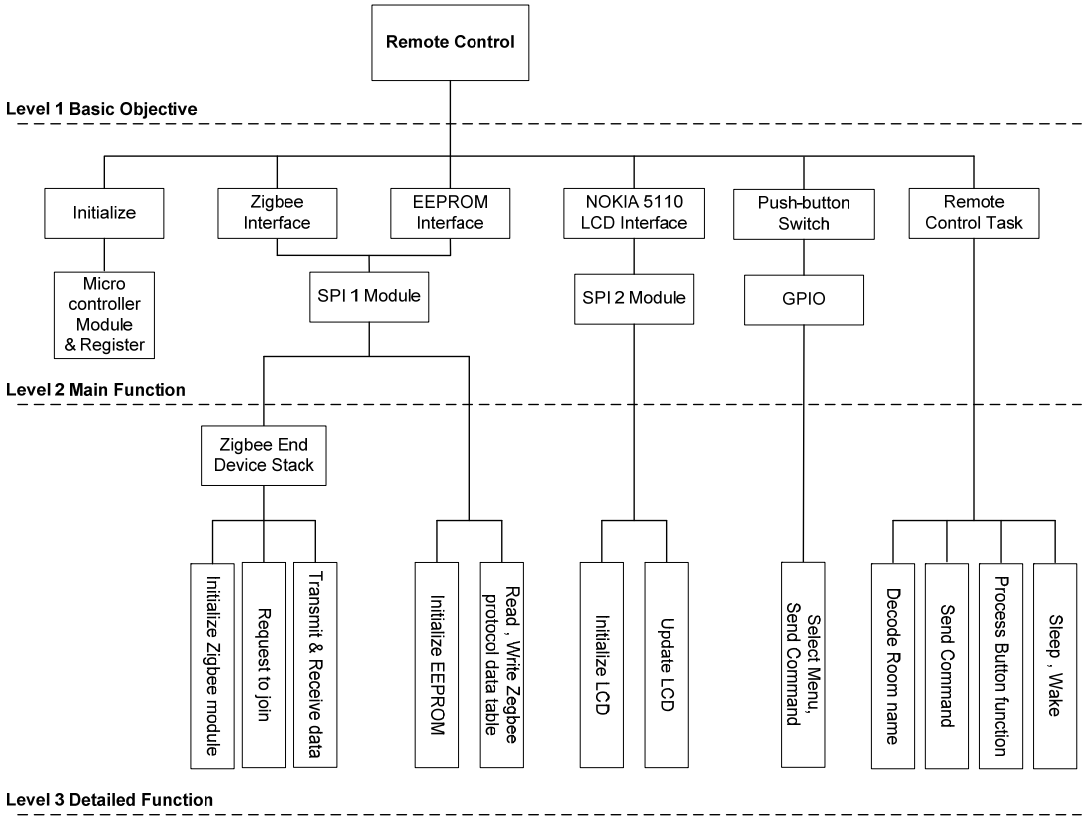
ในส่วนสัญญาณขัดจังหวะ การทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของส่วนตรวจวัดย่อย (Monitor node interrupt service routine) จะเป็นการสร้างฐานเวลา โดยใช้ตัวจับเวลา 4 และ 5 ในการสร้างฐานเวลา 1 วินาที โดยทำการตรวจวัดทุกๆ 3 วินาที 5 ครั้งแล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าสถานะทุกๆ 15 วินาที



ภาพที่ 4-51 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของส่วนตรวจวัดย่อย

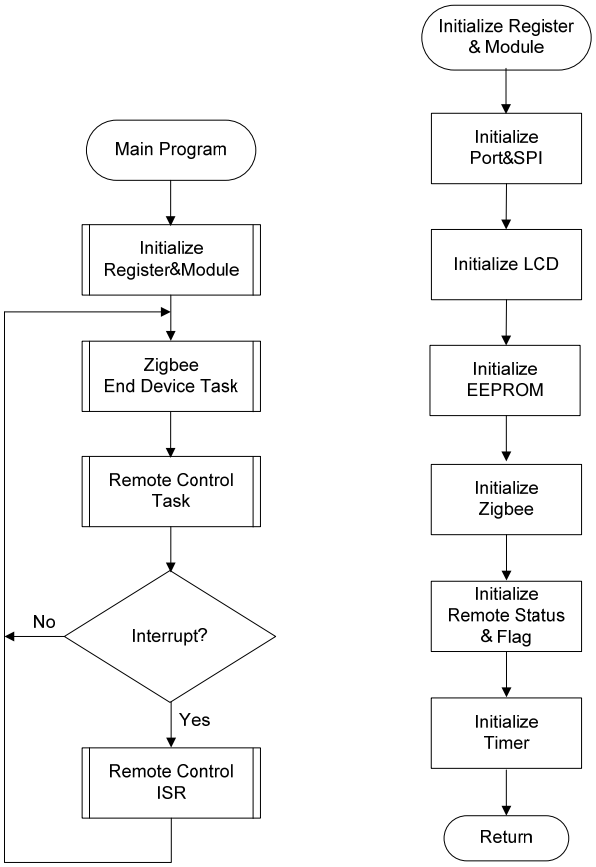
4.2.4. โปรแกรมควบคุมการทำงานของรีโมทควบคุม

โปรแกรมของรีโมทแบ่งเป็นการทำงานในส่วนของเครือข่าย Zigbee การทำงานในส่วนติดต่อสื่อสารในระบบบ้านอัตโนมัติ และส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งประกอบด้วยการแสดงผลบนจอแอลซีดี NOKIA 5110 และการควบคุมผ่านปุ่มคำสั่งต่างๆ ดังภาพที่ 4-52



ภาพที่ 4-52 โครงสร้างโปรแกรมของรีโมทควบคุม

การทำงานแบ่งเป็นการทำงานในส่วนเครือข่าย Zigbee, การทำงานในส่วนของการติดต่อสื่อสารในบ้านอัตโนมัติ และการทำงานในส่วนหน้าที่ของรีโมท การทำงานเริ่มด้วยการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับรีจิสเตอร์และมอดูลต่างๆภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ คือพอร์ต SPI ซึ่งใช้ร่วมกันในการติดต่อกับมอดูล Zigbee หน่วยความจำ EEPROM เริ่มการทำงานของอุปกรณ์รอบข้างเหล่านี้ รวมถึงจอแอลซีดี NOKIA 5110 จากนั้นโปรแกรมเข้าสู่การทำงานในเครือข่าย Zigbee หากมีสัญญาณขัดจังหวะ (Interrupt) เกิดขึ้นก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของรีโมท(Remote control interrupt service routine) ต่อไป โดยมีรอบการทำงานดังภาพที่ 4-53



ภาพที่ 4-53 (ก) แผนผังการทำงานของรีโมทควบคุม และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน

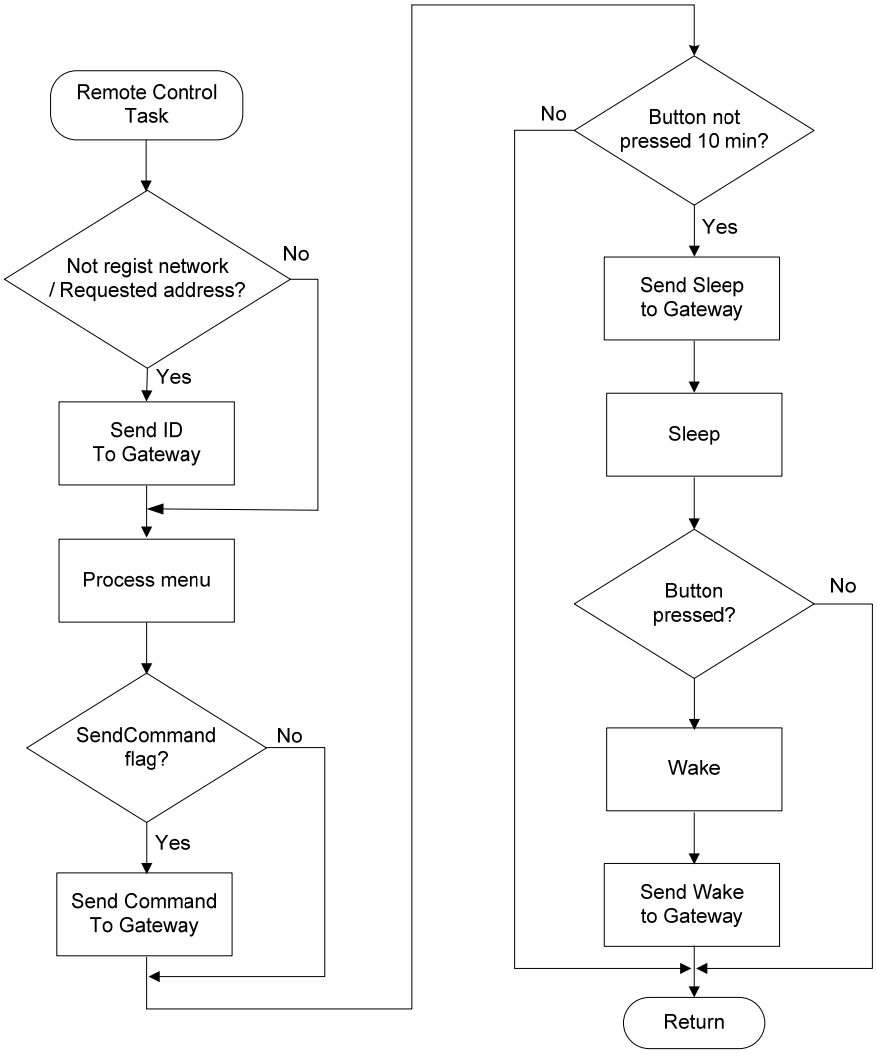
4.2.4.1. การทำงานในส่วนโปรโทคอลZigbeeของรีโมทควบคุม

หน้าที่ของรีโมทในเครือข่าย Zigbee คือ เป็น end device ของเครือข่าย การทำงานในส่วนของ end device เช่นเดียวกับส่วนตรวจวัดย่อยคือการขอเข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งจะได้เลขที่อยู่แบบสั้นเพื่อใช้ติดต่อในระบบ และสามารถหลับได้

4.2.4.2. การทำงานของรีโมทควบคุมในระบบบ้านอัตโนมัติ

รีโมทในระบบบ้านอัตโนมัติจะแบ่งการทำงานเป็นส่วนการติดต่อสื่อสาร และการทำหน้าที่ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ โดยเมื่อรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายจะต้องลงทะเบียนที่เกทเวย์ โดยผู้ใช้สามารถดูสถานะหรือควบคุมผ่านเมนูต่างๆที่แสดงบนหน้าจอ โดยคำสั่งจะส่งไปยังเกทเวย์ หากผู้ใช้ไม่ได้กดปุ่มรีโมทเป็นเวลา 10 นาที รีโมทจะหลับ โดยการส่งสถานะการหลับไปที่เกทเวย์

เพื่อให้เกทเวย์เปลี่ยนเป็นโหมดสั่งผ่านเว็บ หากผู้ใช้กดปุ่มใดก็ตามบนรีโมท รีโมทจะตื่นและส่งสถานะการตื่นไปยังเกทเวย์เพื่อให้เกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท โดยสถานะของรีโมทจะถูกส่งทุกๆ 10 วินาทีจนกว่าจะได้รับการตอบกลับจากเกทเวย์ การทำงานต่างๆมีรายละเอียดดังนี้



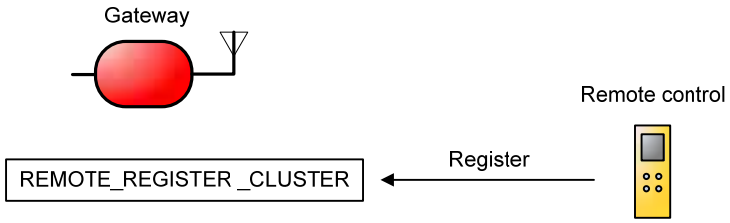
ภาพที่ 4-54 แผนผังส่วนหน้าที่ของรีโมทควบคุมในระบบบ้านอัตโนมัติ

1) การทำงานในส่วนการติดต่อสื่อสารของรีโมทควบคุม

รีโมทใช้สำหรับการควบคุมเมื่ออยู่ในบ้าน โดยสามารถที่จะดึงค่าสถานะต่างๆของแต่ละห้องมาแสดงที่จอ หรือใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถหลับได้เมื่อไม่มีการใช้งาน การทำงานในส่วนการติดต่อสื่อสารของบ้านอัตโนมัติมีดังนี้

1.1) การลงทะเบียนเข้าระบบ

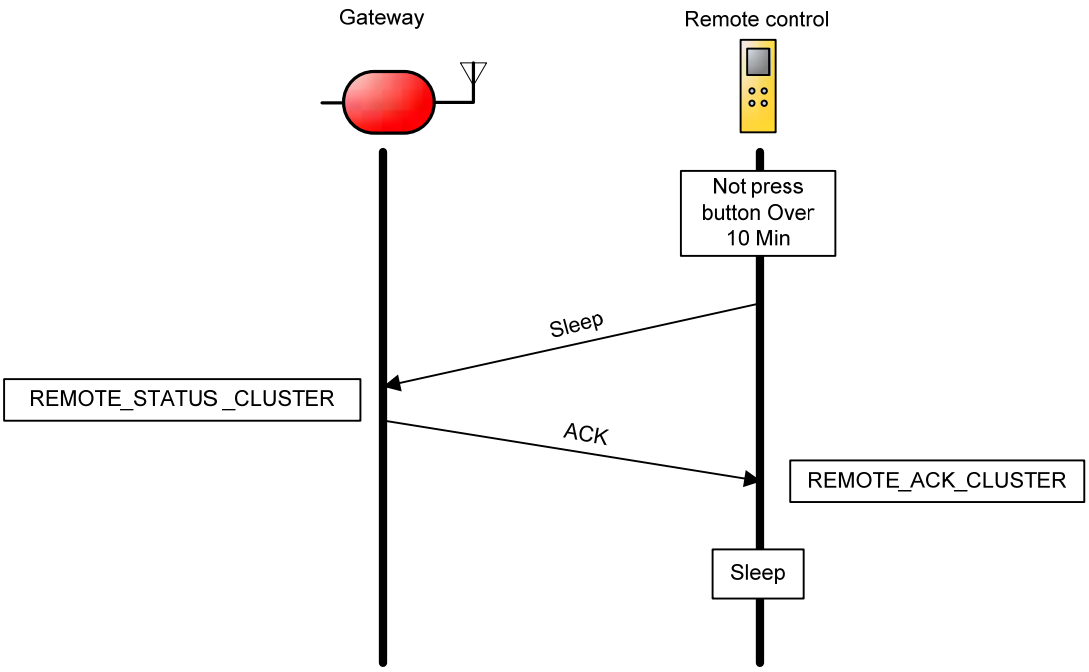
เมื่อส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว จะทำการส่งแพคเก็ตการลงทะเบียนไปยังเกทเวย์ เพื่อให้เกทเวย์ทราบว่ารีโมทได้เข้าร่วมเครือข่ายแล้ว โดยแพคเก็ตประกอบด้วยชนิดของรีโมท โดยแพคเก็ตจะถูกส่งไปยังกลุ่ม REMOTE_REGISTER_CLUSTERของเกทเวย์



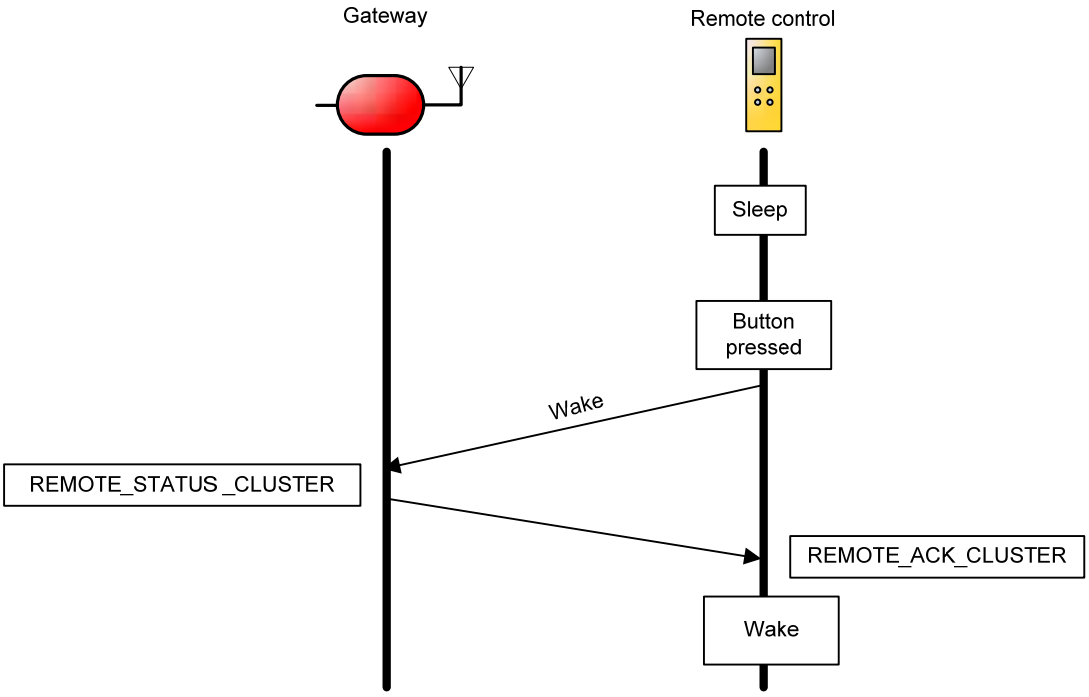
ภาพที่ 4-55 การลงทะเบียนของรีโมทควบคุม

1.2) การส่งสถานะการตื่นหรือหลับของรีโมท

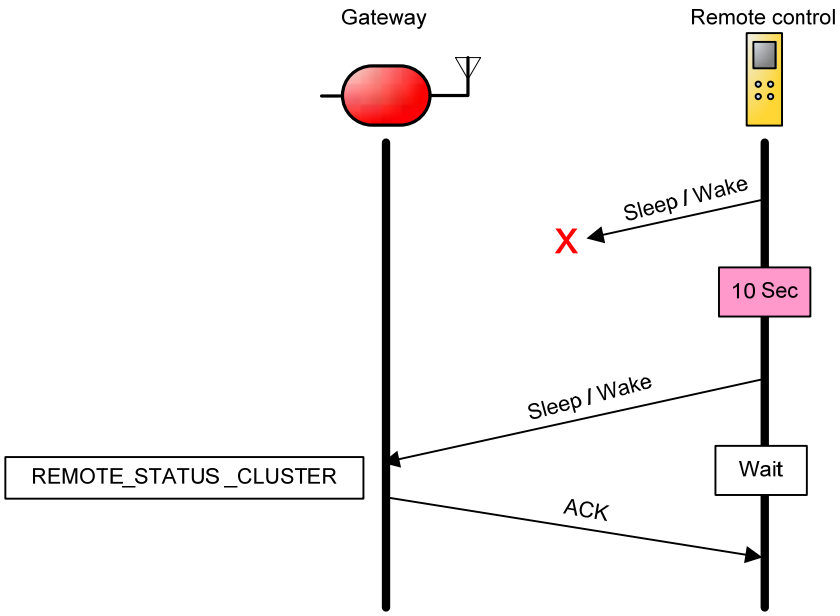
สถานะของรีโมทมีอยู่ด้วยกัน 2 สถานะ คือตื่นและหลับโดยทุกครั้งที่รีโมทจะหลับก็จะส่งแพคเก็ตซึ่งบอกสถานะไปที่กลุ่ม REMOTE_STATUS_CLUSTER ของเกทเวย์ ซึ่งสถานะของรีโมทจะใช้ในการพิจารณาโหมดการทำงานของเกทเวย์ หากรีโมทอยู่ในสถานะตื่น เกทเวย์จะทำงานในโหมดรีโมท เวลามีการอัพเดทสถานะของห้อง ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปที่รีโมท รวมถึงส่งคำสั่งควบคุมผ่านรีโมท แต่หากรีโมทอยู่ในสถานะหลับ เกทเวย์จะทำงานในโหมดเว็บเพจ เมื่ออัพเดทสถานะของห้องทั้งหมด ข้อมูลจะถูกส่งไปแสดงที่เว็บเพจ และรับคำสั่งผ่านเว็บเพจ เมื่อเกทเวย์ได้รับแพคเก็ตสถานะของรีโมทแล้วจะส่งแพคเก็ตตอบกลับไปยังกลุ่ม REMOTE_ACK_CLUSTER ของรีโมท


Gateway
Remote control
Not press button Over 10 Min
Sleep
REMOTE_STATUS _CLUSTER
ACK
REMOTE_ACK_CLUSTER
Sleep

(ก)


Gateway
Remote control
Sleep
Button pressed
Wake
REMOTE_STATUS _CLUSTER
REMOTE_ACK_CLUSTER
Wake

(ข)

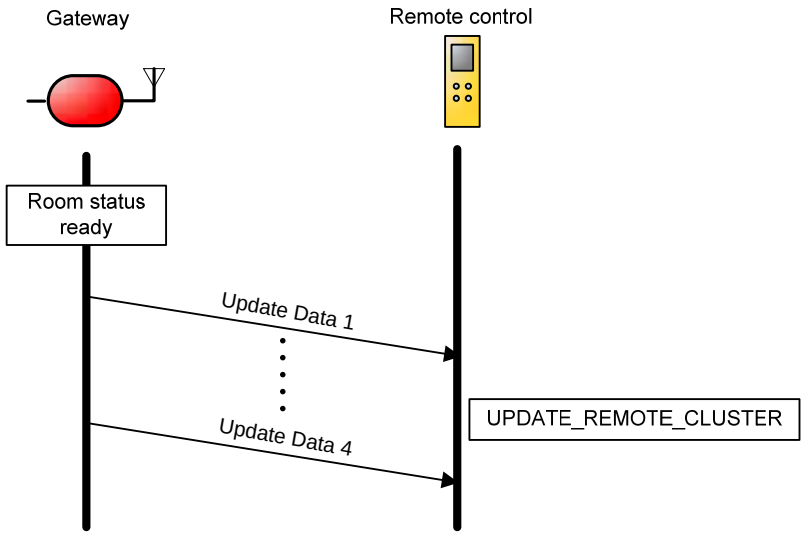


(ค)

ภาพที่ 4-56 (ก) การส่งสถานะการหลับ และตื่น (ข) ของรีโมทควบคุมไปยังเกทเวย์ (ค)รีโมทควบคุมจะส่งสถานะการหลับหรือตื่นซ้ำทุกๆ 10 วินาทีหากไม่ได้รับการตอบรับจากเกทเวย์

1.3) การอัพเดทสถานะของห้องมายังรีโมท

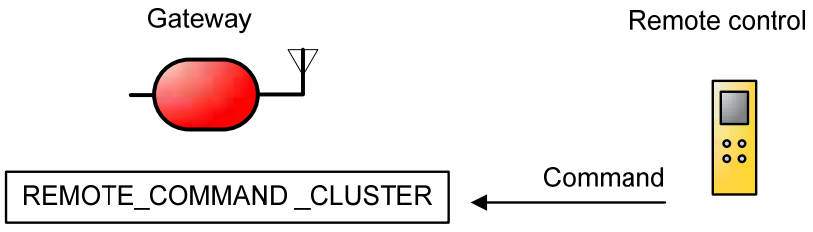
สถานะล่าสุดของทุกห้องจะถูกส่งมาที่เกทเวย์ทุกๆ 2 นาที หากเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท จะส่งข้อมูลเข้ามาที่กลุ่ม UPDATE_REMOTE_CLUSTER ซึ่งแพคเก็ตที่ส่งมามีตั้งแต่ 1-4 แพคเก็ต ขึ้นอยู่กับว่ามีโหนดแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายเป็นจำนวนเท่าไร โดยแพคเก็ตที่ส่งมาจะประกอบด้วย สถานะต่างๆของห้องรวมถึงรหัสชื่อห้อง เพื่อนำไปแสดงในเมนูของรีโมท เพื่อให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้นั้นเป็นห้องใดภายในบ้าน



ภาพที่ 4-57 การอัพเดทสถานะห้องล่าสุดไปยังรีโมทควบคุม โดยจำนวนแพคเก็ตที่ส่งขึ้นกับจำนวนแผงปลั๊กที่ลงทะเบียน

1.4) การส่งคำสั่งควบคุม

การควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน สามารถใช้รีโมทโดยผู้ใช้ทำการกดปุ่มควบคุม ซึ่งมีจอแอลซีดีสำหรับแสดงผลเมนูต่างๆ เมื่อผู้ใช้ทำการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า คำสั่งจะถูกส่งไปยังเกทเวย์ก่อนที่เกทเวย์จะส่งคำสั่งควบคุมไปที่แผงปลั๊กที่เหมาะสมต่อไป โดยแพคเก็ตของคำสั่งควบคุม ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ โดยจะถูกส่งไปยังกลุ่ม REMOTE_COMMAND_CLUSTER ของเกทเวย์



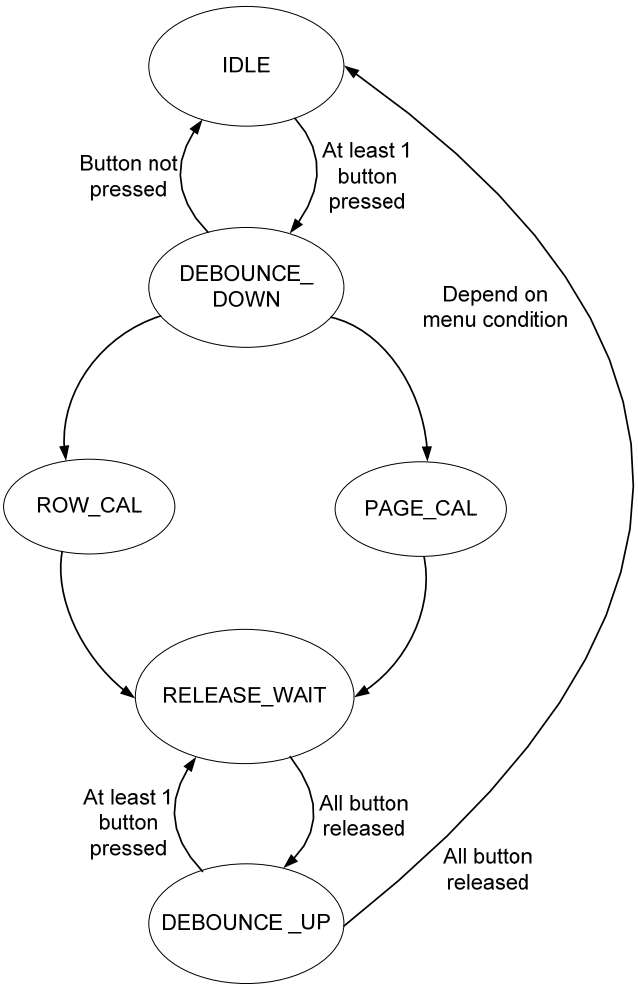
ภาพที่ 4-58 การส่งคำสั่งจากรีโมทควบคุม

2) การทำงานในส่วนติดต่อผู้ใช้ของรีโมทควบคุม

รีโมทควบคุมสามารถเลือกดูสถานะของห้องภายในบ้านหรือทำการควบคุมการปิด-เปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า รีโมทมีปุ่มควบคุมทั้งหมด 6 ปุ่มเพื่อใช้ในการเลือกการทำงานต่างๆ บนเมนูที่แสดงบนจอแอลซีดี ซึ่งปุ่มควบคุมแต่ละปุ่มมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

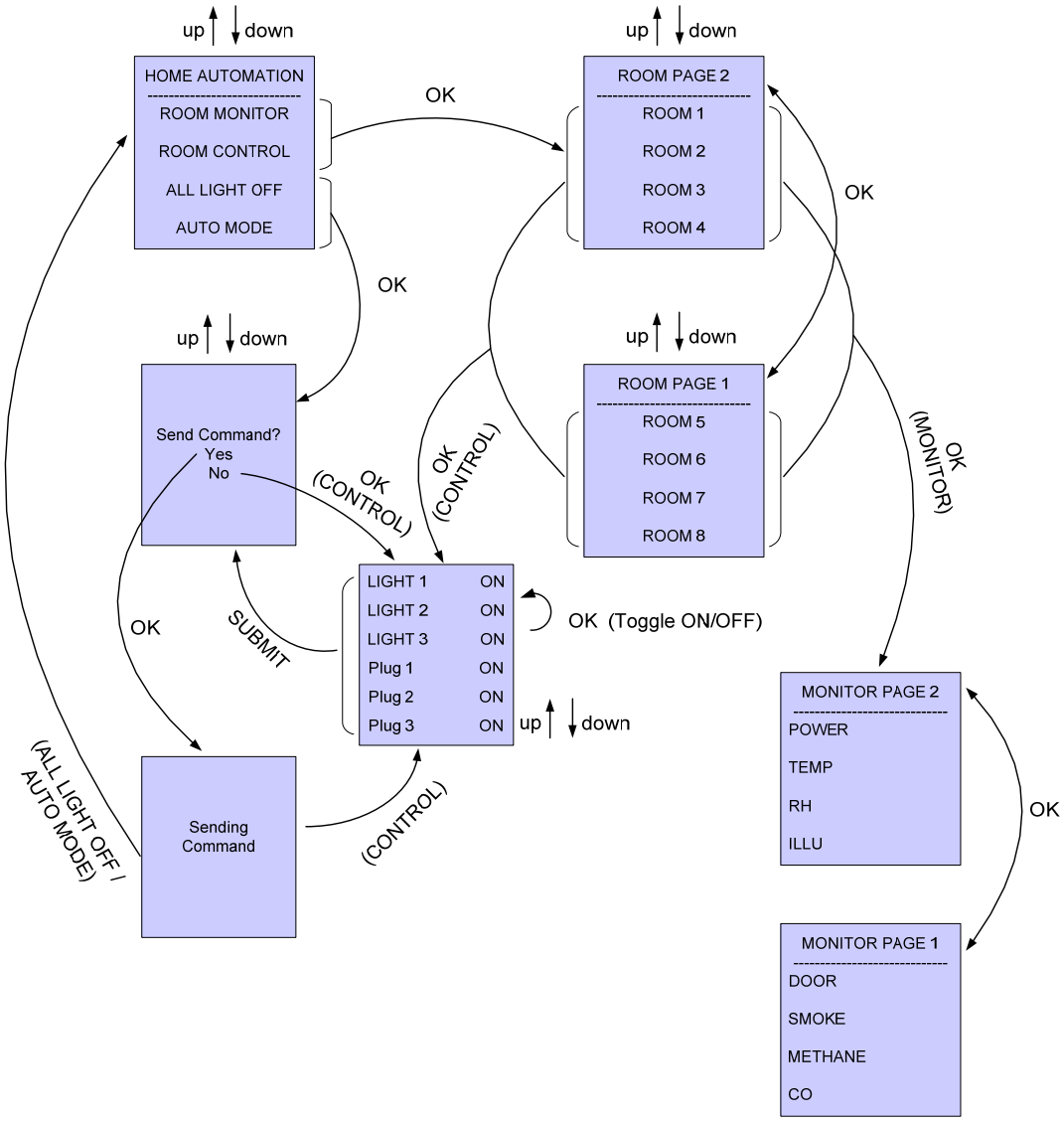
- UP ใช้สำหรับเลือกรายการโดยขึ้นบนทีละบรรทัด
- DOWN ใช้สำหรับเลือกรายการโดยลงล่างทีละบรรทัด
- BACK ให้สำหรับย้อนกลับไปหน้าก่อน
- HOME ใช้สำหรับย้อนกลับไปหน้าแรก
- OK ปุ่มตกลง
- SUBMIT ปุ่มส่งคำสั่ง

โปรแกรมควบคุมการทำงานปุ่มกดของรีโมท เป็น FSM (Finite State Machine) ซึ่งมีการทำงาน แบ่งเป็น 6 สถานะ คือ IDLE, DEBOUNCE_DOWN, ROW_CAL, PAGE_CAL, RELEASE_WAIT และ DEBOUNCE_UP การทำงานเริ่มต้นที่สถานะ IDLE ซึ่งเป็นสถานะที่รอการกด เมื่อผู้ใช้กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งจะเข้าสู่สถานะ DEBOUNCE_DOWN ซึ่งในสถานะนี้จะรีเซ็ตตัวจับเวลา(ในการจับเวลา 10 นาที หากไม่มีการกดปุ่ม รีโมทจะหลับ) และพิจารณาค่า page และ row เพื่อดูว่าขณะกดปุ่มนั้นโปรแกรมทำงานที่หน้าใดและแถวที่เท่าไร และจะพิจารณาปุ่มที่กดเพื่อดูเงื่อนไขการทำงาน ซึ่งค่า page, row และปุ่มที่กดจะเป็นเงื่อนไขว่าจะไปยังสถานะ ROW_CAL หรือ PAGE_CAL ในสถานะ ROW_CAL จะมีการคำนวณค่าแถวว่าจะเลื่อนบรรทัดขึ้นหรือลง ส่วนในสถานะ PAGE_CAL จะมีการคำนวณหน้าว่าจะไปยังหน้าใด ซึ่งเมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะอัพเดทการแสดงผลที่จอแอลซีดี จากนั้นจะไปยังสถานะ RELEASE_WAIT เพื่อรอว่ามีการปล่อยปุ่มหรือยัง หากพบการปล่อยปุ่มจะไปยังสถานะDEBOUNCE_UP ซึ่งจะตรวจสอบอีกครั้ง หากปล่อยปุ่มแล้วจะเริ่มจับเวลา 10 นาทีอีกครั้งและกลับไปที่สถานะ IDLE เพื่อรอการกดปุ่มอีกครั้งหนึ่ง แต่หากยังไม่ปล่อยจะกลับไปที่สถานะ RELEASE_WAIT เพื่อรอการปล่อยปุ่ม



ภาพที่ 4-59 แผนผัง FSM การทำงานของปุ่มกด

การแสดงผลของเมนูรีโมทบนจอแอลซีดี จะมีทั้งหมด 8 หน้า และมีจำนวนบรรทัดสูงสุด 6 บรรทัด ซึ่งการกดปุ่มควบคุมบนรีโมทมีผลต่อการทำงานและการแสดงผลเมนูของรีโมท ซึ่งมีการทำงานดังนี้

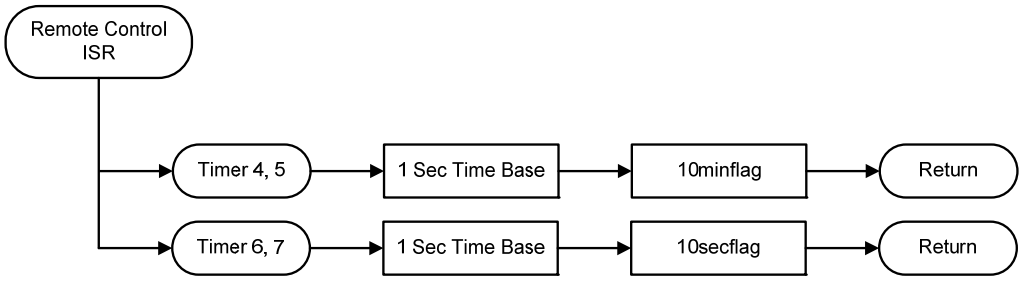


ภาพที่ 4-60 หน้าแสดงผลและเงื่อนไขการเปลี่ยนการแสดงผลของรีโมทควบคุม

ในเริ่มแรกเมื่อรีโมททำงาน ค่า page = 1 และค่า row =1 เมนูจะแสดงหน้าแรก และไอคอนจะชี้ที่บรรทัดแรก ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะทำการดูสถานะห้อง, ควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรือปลั๊ก, ปิดไฟทุกห้อง หรือเปลี่ยนโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก หากเลือกปิดไฟทุกห้องหรือเปลี่ยนโหมดการทำงานของแผงปลั๊กก็จะไปยังหน้าให้ยืนยันคำสั่ง แต่หากเลือกดูสถานะห้องหรือควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรือปลั๊ก จะไปยังหน้าเลือกห้อง ซึ่งในหน้าเลือกห้องนี้จะสามารถเลือกได้เฉพาะห้องที่ลงทะเบียนเข้าระบบเท่านั้น โดยหากเลือกห้องที่ไม่ได้ลงทะเบียนก็จะไม่ไปยังหน้า

ต่อไป ห้องที่ลงทะเบียนแล้วจะมีชื่อเริ่มต้น (default) คือ ROOM นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเลือกชื่อห้องได้ผ่านทางเว็บ (กล่าวถึงภายหลังในส่วนเกทเวย์ทำงานในโหมดเว็บ) หน้าเลือกห้องนี้จะมี 2 หน้า หน้าแรกจะแสดงห้องที่ 1-4 ส่วนหน้าที่ 2 จะแสดงห้องที่ 5-8 โดยหากเลือกดูสถานะห้อง ก็จะไปยังหน้าแสดงสถานะซึ่งจะแสดงสถาะนต่างๆของห้องที่เลือกซึ่งมีทั้งหมด 2 หน้า หน้าแรกจะแสดงสถานะกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น และความสว่าง ส่วนหน้าที่สองจะแสดงสถานะการเปิด-ปิดประตูห้อง การตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่หากผู้ใช้เลือกควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรือปลั๊ก จะแสดงหน้าการควบคุมซึ่งแสดงสถานะของหลอดไฟและปลั๊กโดยผู้ใช้เลือกเปิด-ปิดด้วยปุ่ม OK ซึ่สถานะดวงไฟจะสลับ (toggle) สถานะ ON และ OFF แต่คำสั่งจะยังไม่ถูกส่งจนกว่าจะกดปุ่ม SUBMIT ซึ่งเมื่อกดปุ่มนี้จะไปยังหน้ายืนยันคำสั่ง สำหรับปุ่ม BACK หากกดแล้วจะไปยังหน้าก่อนนั้น และปุ่ม HOME จะกลับไปยังหน้าแรกเสมอ

ในส่วนสัญญาณขัดจังหวะ การทำงานในส่วนของบริการสัญญาณขัดจังหวะของรีโมท (Remote control interrupt service routine) จะเป็นการสร้างฐานเวลา โดยใช้ตัวจับเวลา 4 และ 5 ในการสร้างฐานเวลา 1 วินาที ในการรอการตอบกลับจากเกทเวย์ โดยจะส่งสถานะของรีโมททุกๆ 10 วินาทีจนกว่าจะได้รับการตอบกลับ ใช้ตัวจับเวลา 6 และ 7 สร้างฐานเวลาเพื่อใช้ในการหลับ หากไม่มีการกดปุ่มใดๆบนรีโมทเป็นเวลา 10 นาที



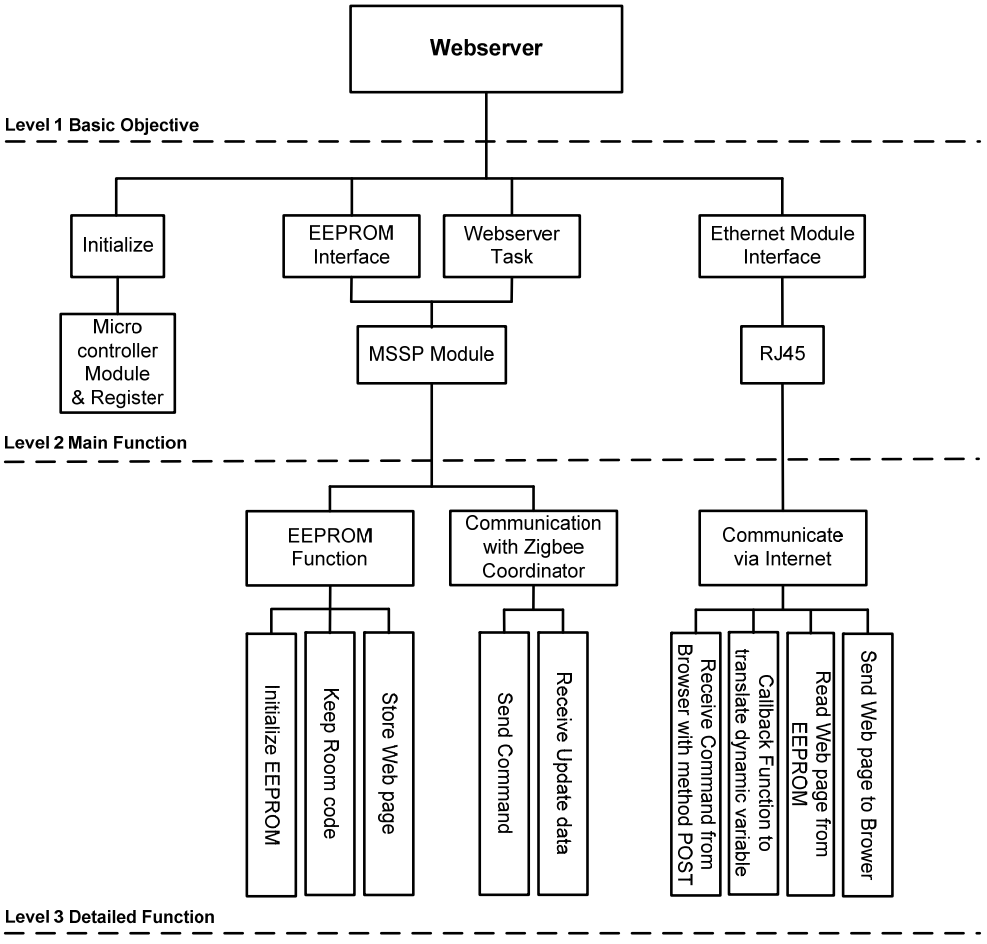
ภาพที่ 4-61 การให้บริการสัญญาณขัดจังหวะของรีโมทควบคุม

4.3. **รายละเอียดการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต**

หน้าที่ของเกทเวย์นอกจากจะเป็น coordinator ในเครือข่าย Zigbee เพื่อจัดการในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้านของระบบบ้านอัตโนมัติแล้ว ยังสามารถติดต่อเพื่อควบคุมหรือดูค่าสถานะต่างๆภายในบ้านผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย ซึ่งหากไม่ได้ใช้งานรีโมท เกทเวย์จะทำงานในโหมดเว็บเพจซึ่งทำงานในกรณีที่ผู้ใช้อยู่นอกบ้าน

4.3.1. โปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเกทเวย์

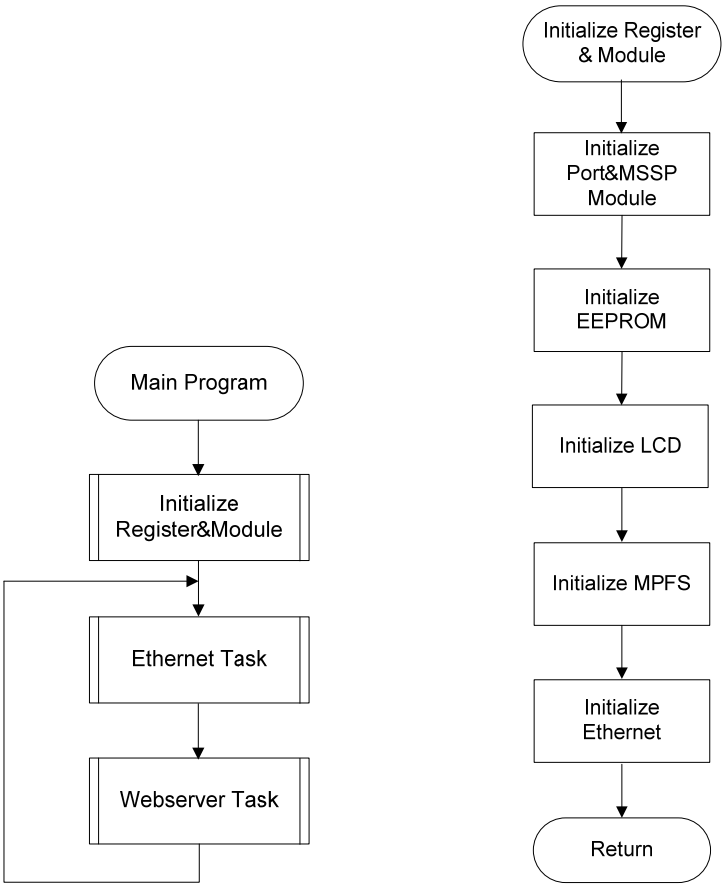
การทำงานในส่วนของเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F86J65 ซึ่งมีมอดูลอีเทอร์เน็ตอยู่ภายในเป็นตัวประมวลผล โดยมีโครงสร้างของโปรแกรมดังภาพที่ 4-62



ภาพที่ 4-62 โครงสร้างโปรแกรมของเว็บเซิร์ฟเวอร์ในเกทเวย์

การทำงานในส่วนของเว็บเซิร์ฟเวอร์ เริ่มจากกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ของมอดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่นพอร์ต MSSP (Master Synchronous Serial Port) เพื่อทำงานในโหมด SPI ซึ่งจะใช้ร่วมกันในการติดต่อกับฝั่ง coordinator และติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM ที่เก็บเว็บเพจและข้อมูลต่างๆ จากนั้นเริ่มการทำงานของอุปกรณ์รอบข้าง ประกอบด้วย หน่วยความจำ EEPROM และจอแอลซีดี ขนาด 16x2 สำหรับแสดงข้อมูลของเว็บเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นจะเข้าสู่การทำงานของ TCP/IP stack ซึ่งมีการเริ่มต้นค่าต่างๆที่จำเป็นในการติดต่อผ่านอินเทอร์เน็ต เช่น IP address, subnet mask, default gateway, DNS server เป็นต้น โดยการ

ทำงานของ stack ขึ้นกับว่าได้กำหนดให้ทำหน้าที่ใด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็น HTTP server ซึ่งรองรับการร้องขอเว็บเพจจากบราวเซอร์ ถัดจากการทำงานส่วนนี้จะเข้าสู่การทำงานในส่วนของระบบบ้านอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการติดต่อกับส่วน Zigbee coordinator โดยรอบการทำงานเป็นดังภาพที่ 4-63



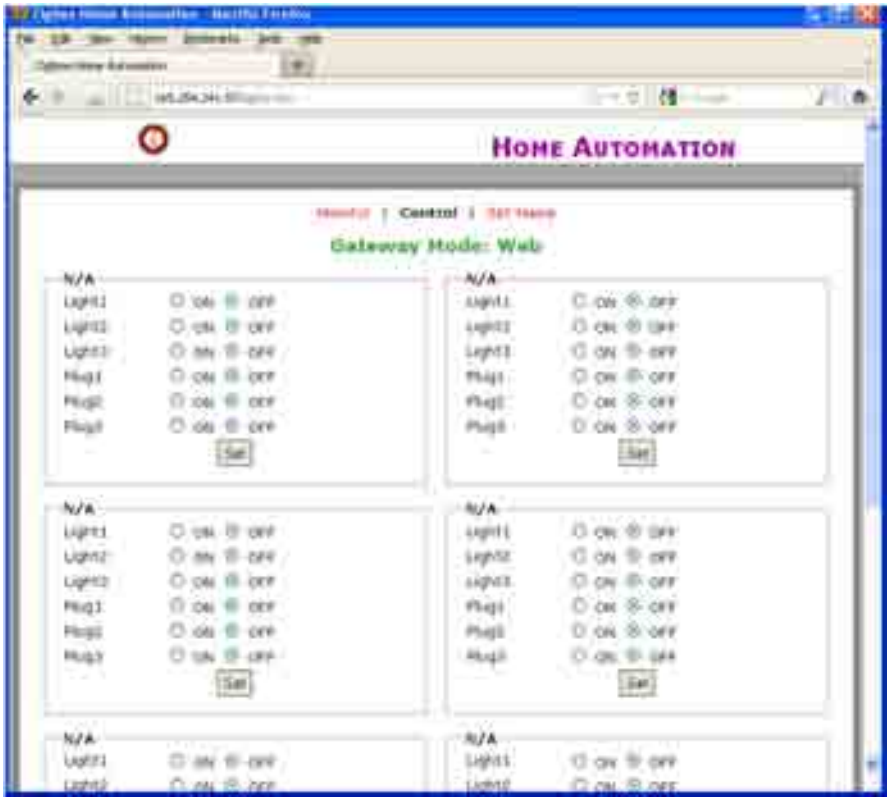
ภาพที่ 4-63 (ก) แผนผังการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ และ (ข) การเริ่มต้นทำงาน

4.3.2. เว็บเพจ

การติดต่อเพื่อทำการควบคุมหรือดูสถานภายในบ้านผ่านทางอินเทอร์เน็ต จะติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเว็บเพจ หน้าเว็บจะมีทั้งหมด 3 หน้า ดังภาพ หน้าแรกจะแสดงข้อมูลสถานะทั้งหมดของแต่ละห้อง หน้าที่ 2 จะเปิดการควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยแสดงสถานะการเปิด-ปิดในปัจจุบันด้วย หน้าที่ 3 ใช้สำหรับตั้งชื่อห้องและโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก

HOME AUTOMATION
Gateway Mode: Web
N/A
N/A
N/A
N/A
N/A
N/A

(ก)

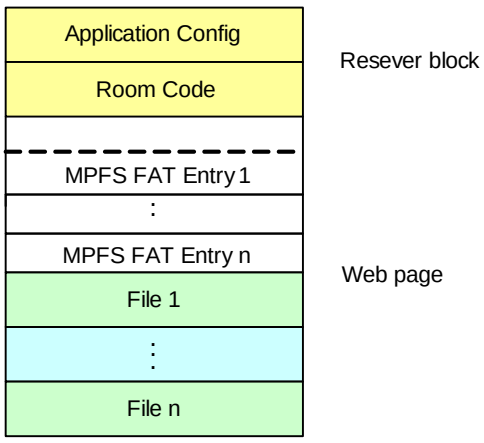

HOME AUTOMATION
Control
Gateway Mode: Web
N/A
N/A
N/A
N/A
N/A
N/A

(ข)

(ค)

ภาพที่ 4-64 หน้าต่างๆของเว็บเพจ (ก) หน้าแสดงสถานะห้อง (ข) หน้าควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า (ค) หน้าสำหรับตั้งชื่อห้องและโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก

เว็บเพจที่ออกแบบไว้จะเก็บไว้ใน EEPROM โดยเว็บเซิร์ฟเวอร์ จะรองรับการเขียนทั้ง HTML, AJAX รวมถึง CSS ไฟล์เว็บเพจเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นระบบไฟล์ MPFS ด้วยโปรแกรม MPFS2 ซึ่งจะได้เป็นไฟล์อิมเมจสำหรับนำไปเก็บไว้ในEEPROM ระบบไฟล์ MPFS มีโครงสร้างคล้ายระบบ FAT ไฟล์อิมเมจที่เก็บภายใน EEPROM จะแบ่งเป็นส่วนๆ ดังภาพที่ 4-65 โดยไฟล์อิมเมจนี้มีขนาดสูงสุด 64 กิโลไบต์



ภาพที่ 4-65 ไฟล์ต่างๆที่เก็บในหน่วยความจำ EEPROM

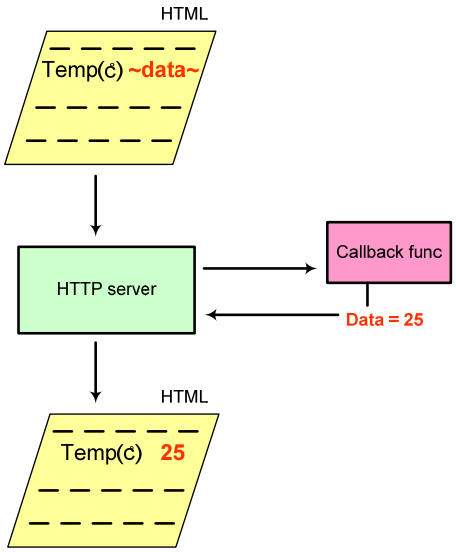
4.3.3. **การทำงานส่วนมอดูล** Ethernet

การทำงานของมอดูล Ethernet แบ่งเป็นการนำค่ามาแสดงยังเว็บเพจและการส่งข้อมูลผ่านเว็บเพจ ดังนี้

4.3.3.1.) **การแสดงผลข้อมูล**

เมื่อมีการร้องขอเว็บเพจจากเว็บบราวเซอร์ เว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการดึงไฟล์เว็บเพจหน้าที่ร้องขอซึ่งเก็บไว้ในหน่วยความจำ EEPROM จากนั้นจะนำข้อมูลส่วนที่เป็นค่าสถานะต่างๆ มาใส่รวมกันเป็นไฟล์ HTML ส่งกลับไปยังเว็บบราวเซอร์เพื่อแสดงผล

ในเว็บที่ออกแบบด้วยภาษา HTML ในส่วนข้อมูลที่มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ต้องกำหนดให้เป็นตัวแปรพลวัต (dynamic variable) ซึ่งจะมีเครื่องหมาย ~ (tilde) คร่อมอยู่ เมื่อโปรแกรมส่วน HTTPserver ใน TCP/IP stack พบตัวแปรนี้ จะทำการเรียก callback function ที่ชื่อ HTTPPrint โดยจะนำค่าที่เก็บไว้มาเขียนแทนลงไปในตำแหน่งตัวแปรพลวัต จากนั้นก็จะส่งไฟล์ HTML ที่ได้นี้กลับไปให้เว็บบราวเซอร์เพื่อประมวลผล



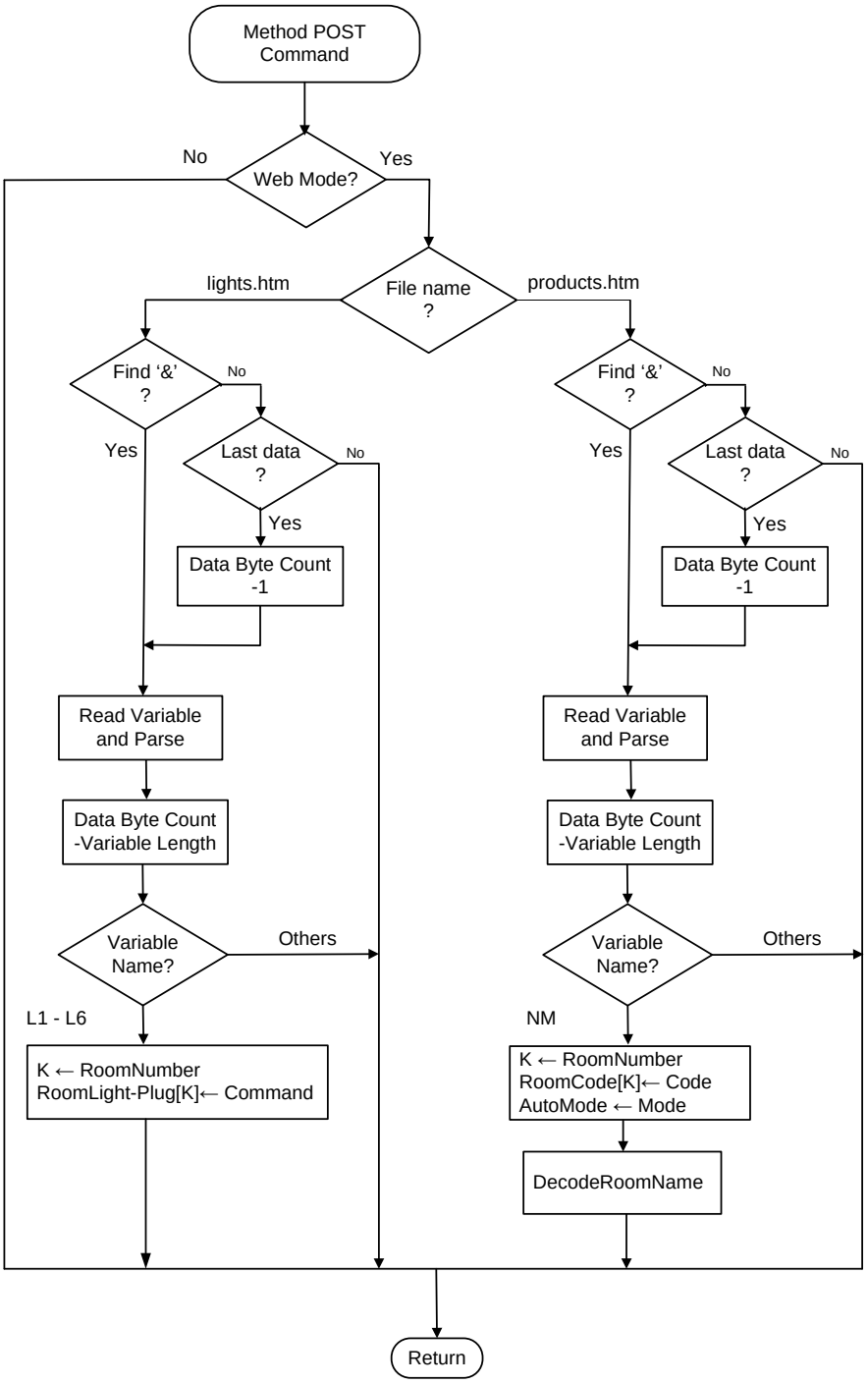
ภาพที่ 4-66 การแปลงค่าตัวแปรในไฟล์ HTML ก่อนส่งให้เว็บบราวเซอร์

4.3.3.2) **การส่งข้อมูล**

การส่งข้อมูลคำสั่งนั้นมีวิธีในการส่ง 2 วิธี คือ method get และ method post ซึ่งการเลือกใช้ต้องพิจารณาตามความเหมาะสม ดังนี้

- Method get จะส่งข้อมูลโดยผูกติดกับ URL โดยจะเป็นสายของตัวแปรและค่าของมัน ตัวแปรและค่าของตัวแปรนั้นจะคั่นด้วยเครื่องหมาย = และคู่ของตัวตัวแปรและค่าจะคั่นด้วยเครื่องหมาย & การส่งแบบนี้จะไม่มีความปลอดภัย เนื่องจากจะเห็นค่าต่างๆปรากฏบน URL และมีการจำกัดความยาวไว้ที่ประมาณ 100 ไบต์
- Method post จะส่งข้อมูลเป็นแพคเก็ตข้อมูล โดยข้อมูลถูกส่งไปเก็บที่บัฟเฟอร์ TCP การดึงข้อมูลมาใช้จะมีความยุ่งยากกว่า method get แต่มีข้อดีกว่า คือ สามารถส่งข้อมูลความยาวไม่จำกัด

ในงานวิจัยจะใช้วิธีนี้ในการส่งคำสั่งเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานคือเมื่อเลือกการเปิด-ปิดเสร็จแล้วตามด้วยกด SET แพคเก็ตคำสั่งจะถูกส่งมาที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ โปรแกรมจะเรียก callback function ชื่อHTTPExecutePost() ขั้นแรกจะทำการตรวจสอบชื่อหน้าเว็บเพจที่ส่งมาโดยเว็บเพจที่ออกแบบไว้ที่ใช้ method post คือ หน้าควบคุม lights.htm และหน้าตั้งชื่อ products.htm หากไม่ตรงกับชื่อใดเลยจะละทิ้งแพคเก็ตนั้น จากนั้นจะตรวจสอบความยาวของข้อมูลใน TCP buffer โดยหาตำแน่งของเครื่องหมาย & ถ้าไม่เจอจะพิจารณาว่าเป็นข้อมูลชุดสุดท้ายหรือไม่โดยโดยเทียบค่าความยาวของข้อมูลในบัฟเฟอร์กับ HTTPbyteCount หากตรงกันก็ลบค่าของ HTTPbyteCount ออกไป 1 ถ้าไม่ใช่ข้อมูลชุดสุดท้าย ก็จะทำการขอข้อมูลเพิ่มต่อไป แต่หากพบเครื่องหมาย & ต้องดูว่าข้อมูลนั้นเกิด overflow หรือไม่ หากเกิดก็จะทำการข้ามไปชุดข้อมูลถัดไป จากนั้นจะทำการดึงข้อมูลออกมา และลบค่าใน HTTPbyteCount ออกไปตามจำนวนความยาวของข้อมูลที่ดึงออกมา จากนั้นทำการแปลความหมายข้อมูลและทำตามคำสั่ง การทำงานเป็นเช่นนี้จนครบทุกข้อมูลคำสั่งที่ส่งเข้ามา

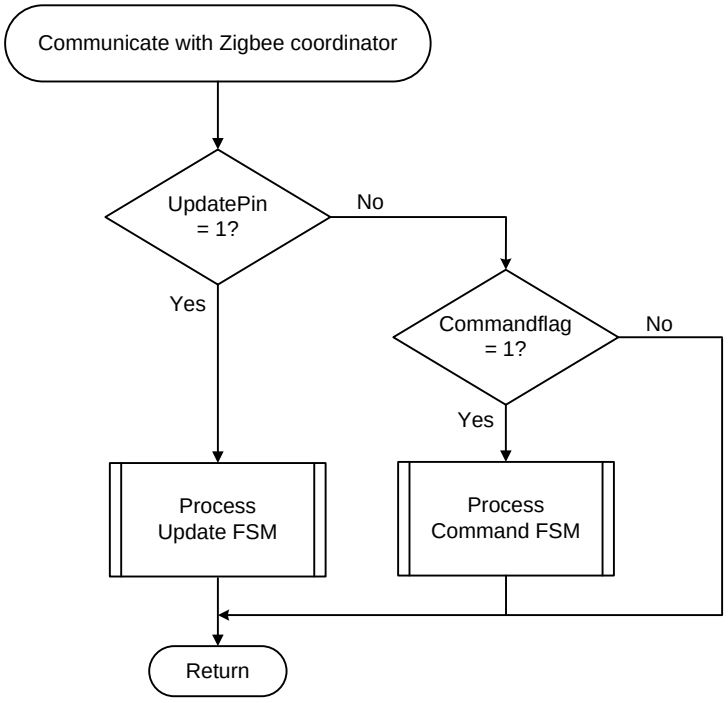


ภาพที่ 4-67 แผนผังการรับคำสั่งจากเว็บบราวเซอร์ด้วย Method Post

4.3.4. **การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์กับ Zigbee Coordinator ในเกทเวย์**

การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์และZigbee coordinator แบ่งเป็นการอัพเดทข้อมูลและการส่งคำสั่ง การติดต่อจะเป็นแบบใดนั้นจะพิจารณาตามลำดับความสำคัญ ซึ่งการอัพเดทข้อมูล

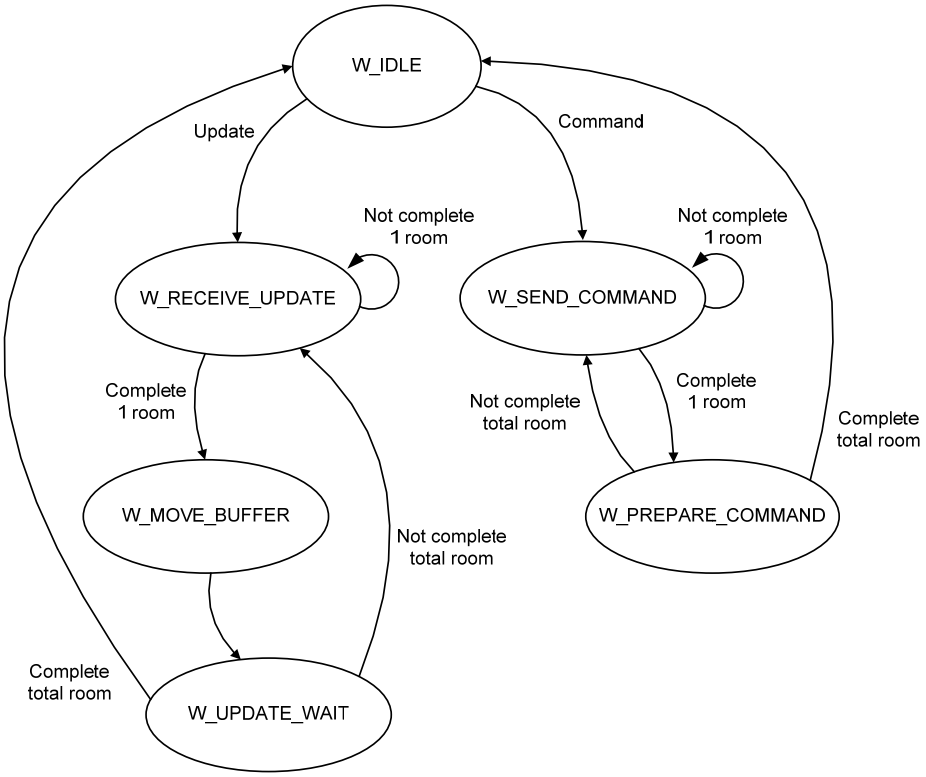
จะมีลำดับความสำคัญสูงกว่าการส่งคำสั่ง เมื่อเกทเวย์ได้รับข้อมูลสถานะห้องต่างๆที่ร้องขอจากแผงปลั๊ก เมื่อมาถึงช่วงอัพเดทข้อมูลหากเกทเวย์พบว่าทำงานอยู่ในโหมดเว็บ ขา Update ส่วน Zigbee coordinator จะเป็น 1 เพื่อบอกส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์ว่าพร้อมที่จะอัพเดทข้อมูลแล้ว หรือหากมีคำสั่งส่งมาจากเว็บบราวเซอร์เรียบร้อยแล้ว Commandflag ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ของส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์จะเป็น 1 เมื่อโปรแกรม TCP/IP stack ดำเนินมาถึงส่วน Gateway Task จะทำการตรวจสอบขา Update ก่อนซึ่งหากยังเป็น 0 จะทำการตรวจสอบ Commandflag ต่อไปเพื่อพิจารณาว่าต้องทำการติดต่อกับ Zigbee coordinator หรือไม่ หากมีจะเป็นการติดต่อแบบใด



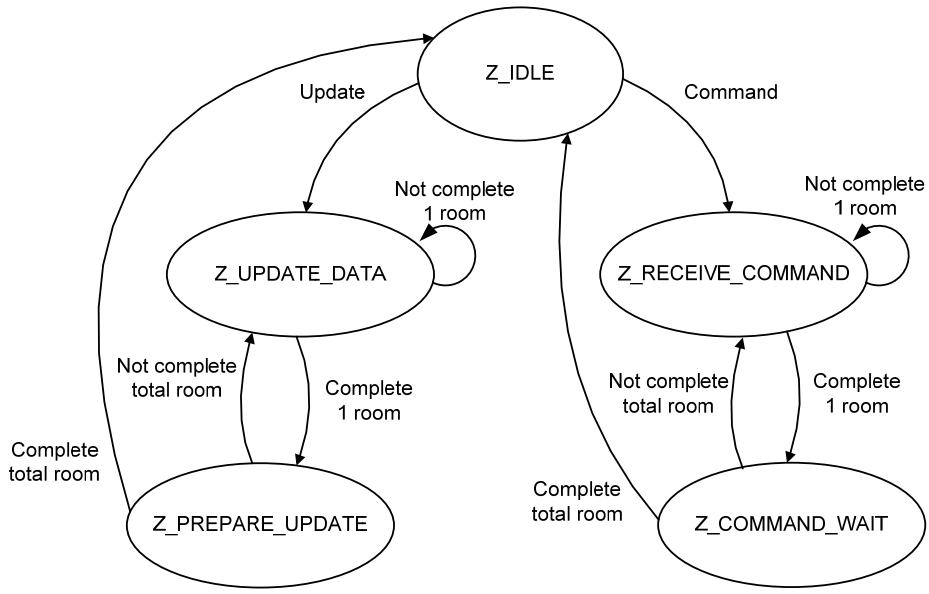
ภาพที่ 4-68 แผนผังการทำงานในส่วน Gateway Task ในการติดต่อกับส่วน Zigbee coordinator

การทำงานเมื่อต้องติดต่อระหว่างกันจะเป็นแบบ FSM ซึ่งในส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์จะมีสถานะทั้งหมด 6 สถานะคือ W_IDLE, W_RECEIVE_UPDATE, W_MOVE_BUFFER, W_UPDATE _WAIT, W_PREPARE_COMMAND และ W_SEND_COMMAND

สำหรับในส่วน Zigbee coordinator การติดต่อเป็นแบบ FSM เช่นกัน โดยจะมีสถานะทั้งหมด5 สถานะ ประกอบด้วย Z_IDLE, Z_PREPARE_UPDATE, Z_UPDATE_DATA, Z_RECEIVE_COMMAND และ Z_COMMAND_WAIT



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-69 แผนผัง FSM การติดต่อระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์กับ Zigbee coordinator
(ก) สถานะ FSM ฝั่งเว็บเซิร์เวอร์ (ข) สถานะ FSM ฝั่ง Zigbee coordinator

1) การรับแพคเก็ตข้อมูลอัพเดทจาก Zigbee coordinator

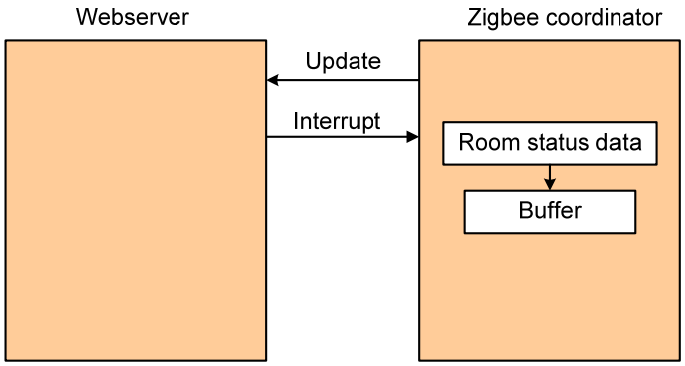
1.1) เมื่อ Zigbee coordinator พร้อมที่จะอัพเดทข้อมูล ขา Update จะเป็น 1 และเมื่อโปรแกรมในเว็บเซิร์ฟเวอร์ดำเนินมาถึงส่วน Gateway Task โดยสถานะการติดต่ออยู่ใน W_IDLE (Wcom = W_IDLE) จ ะทำการตรวจสอบ หากพบว่าขา Update เป็น 1 จะเข้าสู่การทำงานในส่วนรับแพคเก็ตอัพเดท โดยจะส่งสัญญาณขัดจังหวะไปยัง Zigbee coordinator ซึ่งเมื่อ Zigbee coordinator พร้อมที่จะอัพเดทนั้นอยู่ในสถานะอัพเดท (GatewayFSM = UPDATE_ROOM_STATUS) และการติดต่ออยู่ในสถานะ Z_IDLE (Zcom = Z_IDLE) โดยเมื่อได้รับสัญญาณขัดจังหวะแล้ว จะนำข้อมูลสถานะห้องใส่ในบัฟเฟอร์ สถานะการติดต่อจะไปยังสถานะ Z_UPDATE_DATA ส่วนฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ สถานะการติดต่อจะไปยังสถานะ W_RECEIVE_UPDATE ดังภาพที่ 4-70 (ก)

1.2) เมื่อสถานะการติดต่อของเว็บเซิร์ฟเวอร์อยู่ใน W_RECEIVE_UPDATE จะทำการเซ็ตค่ารีจิสเตอร์ต่างๆในมอดูล SPI ให้ทำงานในโหมด SPI slave (เนื่องจากการติดต่อกับ EEPROM เพื่อดึงเว็บเพจ SPI ทำงานในโหมด master) จากนั้นจะทำการเตรียมรับแพคเก็ตอัพเดท ส่วน Zigbee coordinator ที่สถานะการติดต่ออยู่ใน Z_UPDATE_DATA จะนำค่าจากบัฟเฟอร์ที่เตรียมไว้แล้วส่งผ่าน SPI โดยส่งครั้งละ 2 ไบต์ โดยทั้งทางฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์และ Zigbee coordinator จะส่งข้อมูลจนครบ 1 ห้อง (19 ไบต์) โดยเว็บเซิร์ฟเวอร์ใช้ขา WebReady ในการบอกว่าพร้อมรับไบต์ข้อมูลแล้ว (ขณะรับข้อมูล 1 ไบต์ขา WebReady จะเป็น 0 หากทำการดึงไบต์ข้อมูลจากมอดูล SPI มาใส่ในบัฟเฟอร์เรียบร้อยแล้วจะกลับเป็น 1 อีกครั้ง) เมื่อครบ 1 ห้องแล้ว ฝั่ง Zigbee coordinator จะตรวจสอบว่า ส่งครบทุกห้องหรือยัง ในกรณีที่ยังไม่ครบ สถานะการติดต่อจะไปยังสถานะ Z_PREPARE_UPDATE ส่วนฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์ สถานะการติดต่อจะไปยังสถานะ W_MOVE_BUFFER เพื่อนำค่าจากบัฟเฟอร์ไปใส่ในค่าสถานะต่างๆ ที่จะแสดงที่เว็บเพจ จากนั้นจะไปยังสถานะ W_UPDATE_WAIT ดังภาพที่ 4-70 (ข)

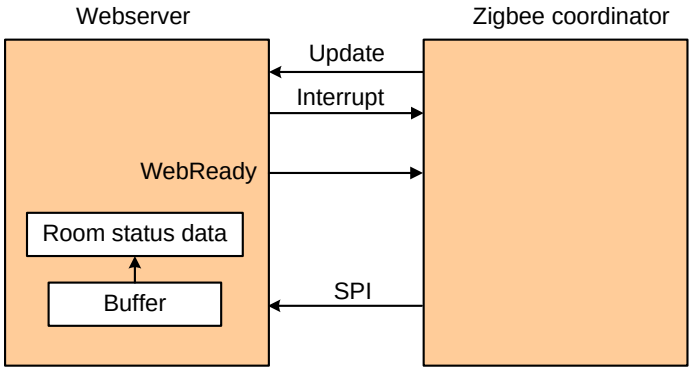
1.3) เมื่อสถานะการติดต่อของ Zigbee coordinator อยู่ใน Z_PREPARE _UPDATE หากยังอัพเดทไม่ครบทุกห้องจะทำการเตรียมข้อมูลสถานะห้องต่อไปที่จะส่งไปอัพเดทใส่ไว้ในบัฟเฟอร์และไปยังสถานะ Z_UPDATE_DATA ส่วนฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์เมื่อสถานะการติดต่ออยู่ใน W_UPDATE_WAIT จะทำการตรวจสอบว่าการอัพเดทเสร็จครบทุกห้องหรือไม่โดยการ

ตรวจสอบที่ขา Update หากยังเป็น 1 แสดงว่ายังไม่ครบ และจะกลับไปยังสถานะ W_RECEIVE_UPDATE และทำการรับแพคเก็ตอัพเดทอีกครั้งดังที่กล่าวมาในข้อที่แล้ว ดังภาพที่ 4-70 (ค)

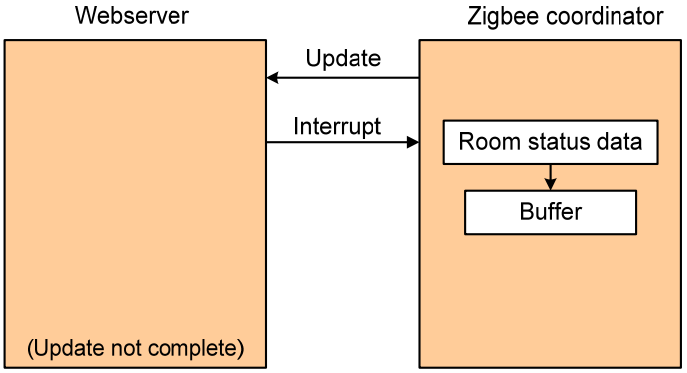
1.4) เมื่อมีการส่งข้อมูลอัพเดทในแต่ละห้องครบแล้ว สถานะการติดต่อของ Zigbee coordinator ซึ่งอยู่ใน Z_UPDATE_DATA จะเซ็ตขา Update เป็น 0 และจะกลับไปที่สถานะ Z_ PREPARE_UPDATE ซึ่งในสถานะนี้หากพบว่าส่งข้อมูลครบแล้วก็จะไปยังสถานะการติดต่อ Z_IDLE และเปลี่ยนสถานะของเกทเวย์เป็น FSM_IDLE ส่วนฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์เมื่อส่งข้อมูลครบ 1 ห้องแล้วสถานะการติดต่อจะไปยัง W_UPDATE_WAIT และเมื่อพบว่าขา Update เป็น 0 คืออัพเดทเสร็จแล้วก็จะกลับไปยังสถานะ W_IDLE ต่อไป ดังภาพที่ 4-70 (ง)



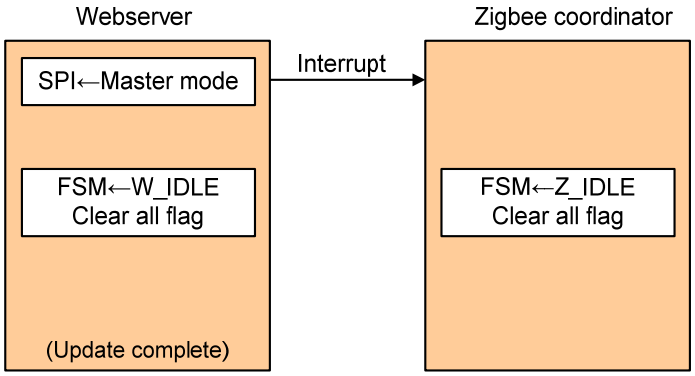
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4-70 (ก) ขั้นตอนการเตรียมรับแพคเก็ตอัพเดท (ข) ขั้นตอนการรับแพคเก็ตอัพเดท ผ่านSPI (ค) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลอัพเดทห้องต่อไปหากยังอัพเดทไม่ครบ (ง) ขั้นตอนการสิ้นสุดการอัพเดท

2) การส่งแพคเก็ตคำสั่งไปยัง Zigbee coordinator

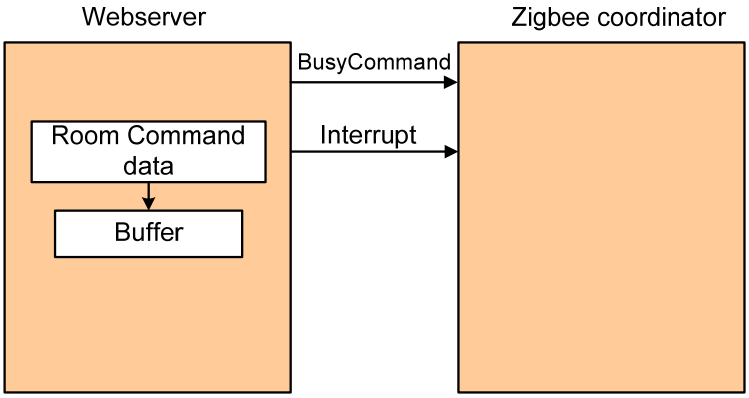
2.1) เมื่อโปรแกรมของเว็บเซิร์ฟเวอร์ดำเนินมาถึง Gateway Task และสถานะการติดต่ออยู่ใน W_IDLE หากไม่มีการขออัพเดทข้อมูลจาก Zigbee coordinator (ขา Update เป็น 0) ก็จะทำการตรวจสอบ Commandflag ว่าถูกเซ็ตหรือไม่ (Commandflag เป็น 1 เมื่อคำสั่งจากเว็บบราวเซอร์ส่งมายังเว็บเซิร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว) หากถูกเซ็ตก็จะเตรียมแพคเก็ตคำสั่งโดยนำคำสั่งแต่ละห้องมาใส่ในบัฟเฟอร์ และเซ็ตขา BusyCommand ซึ่งฝั่ง Zigbee coordinator ใช้ตรวจสอบว่าส่งคำสั่งครบทุกห้องหรือยัง จากนั้นจะส่งสัญญาณขัดจังหวะและเปลี่ยนจากสถานะ W_IDLE ไปเป็นสถานะ W_SEND_COMMAND เมื่อฝั่ง Zigbee coordinator

ได้รับสัญญาณขัดจังหวะและพบว่าเกทเวย์ไม่ได้อยู่ในสถานะอัพเดทข้อมูล ก็จะเปลี่ยนจากสถานะ Z_IDLE ไปเป็นสถานะ Z_RECEIVE_COMMAND ดังภาพที่ 4-71 (ก)

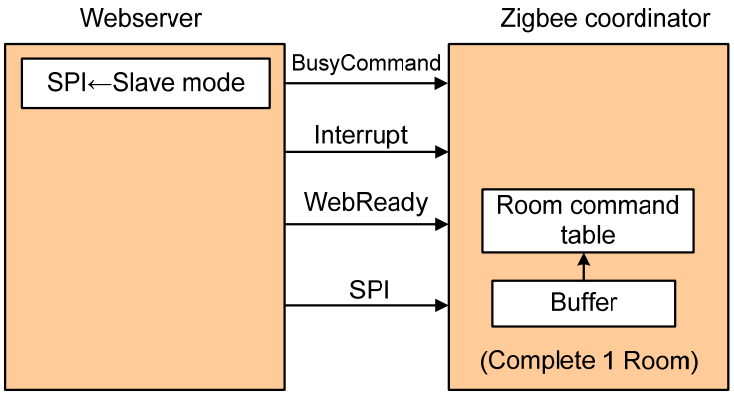
2.2) เมื่อสถานะการติดต่อของเว็บเซิร์ฟเวอร์อยู่ใน W_SEND_COMMAND จะทำการเซ็ตค่ารีจิสเตอร์ต่างๆในมอดูล SPI ให้ทำงานในโหมด SPI slave จากนั้นจะนำค่าจากบัฟเฟอร์ใส่ลงในมอดูล SPI แล้วรอให้ฝั่ง Zigbee coordinator ส่งไบต์ดัมมี่ (0x00) มาเพื่ออ่านไบต์คำสั่งเมื่ออยู่ในสถานะ Z_RECEIVE_COMMAND เมื่อส่งแพคเก็ตคำสั่งครบ 1 ห้อง (9 ไบต์) ฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์จะไปยังสถานะ W_PREPARE_COMMAND ส่วน Zigbee coordinator ก็นำคำสั่งในบัฟเฟอร์ไปยังตารางเก็บคำสั่งและไปยังสถานะ Z_COMMAND_WAITดังภาพที่ 4-71 (ข)

2.3) เมื่อสถานะการติดต่อของเว็บเซิร์ฟเวอร์อยู่ใน W_PREPARE_COMMAND หากยังส่งคำสั่งไม่ครบทุกห้องจะทำการเตรียมข้อมูลคำสั่งห้องต่อไปมาใส่ในบัฟเฟอร์และกลับไปยังสถานะ W _SEND_COMMAND ส่วนฝั่ง Zigbee coordinator เมื่ออยู่ในสถานะ Z_COMMAND _WAIT จะทำการตรวจสอบว่าการส่งคำสั่งเสร็จครบทุกห้องหรือไม่ โดยตรวจสอบที่ขา BusyCommand หากพบว่ายังไม่เป็น 0 ก็จะกลับไปยังสถานะ Z_RECEIVE_COMMAND เพื่อรับแพคเก็ตคำสั่งต่อไป ดังภาพที่ 4-71 (ค)

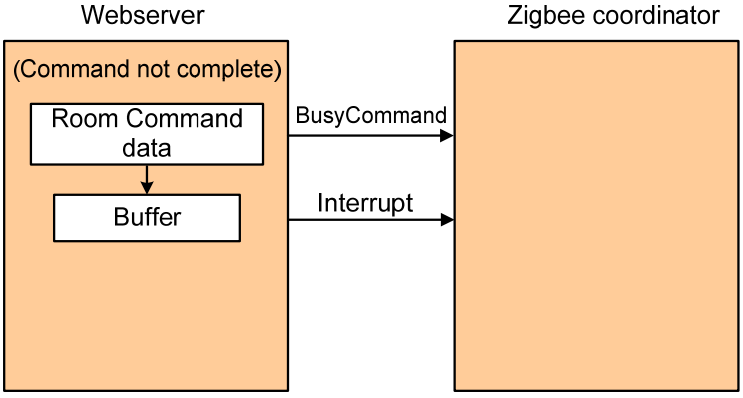
2.4) เมื่อส่งข้อมูลคำสั่งแต่ละห้องครบแล้ว สถานะการติดต่อของเว็บเซิร์ฟเวอร์ซึ่งอยู่ใน W_SEND_COMMAND จะเซ็ตขา BusyCommand และ Commandflag เป็น 0 และไปยังสถานะ W_PREPARE_COMMAND ซึ่งในสถานะนี้เมื่อพบว่าส่งข้อมูลครบทุกห้องแล้ว ก็จะกลับไปยัง W_IDLE ส่วนฝั่ง Zigbee coordinator ซึ่งอยู่ในสถานะ Z_RECEIVE_COMMAND เมื่อได้รับคำสั่งแต่ละห้องครบ จะนำค่าคำสั่งจากบัฟเฟอร์ใส่ในตารางคำสั่ง และไปยังสถานะ Z_COMMAND_WAIT โดยในสถานะนี้จะทำการตรวจสอบขา BusyCommand เมื่อพบว่าเป็น 0 หมายถึงการรับคำสั่งเสร็จสิ้นแล้วก็จะกลับไปยังสถานะ Z_IDLE ดังภาพที่ 4-71 (ง)


Webserver
Zigbee coordinator
BusyCommand
Interrupt
Room Command data
Buffer

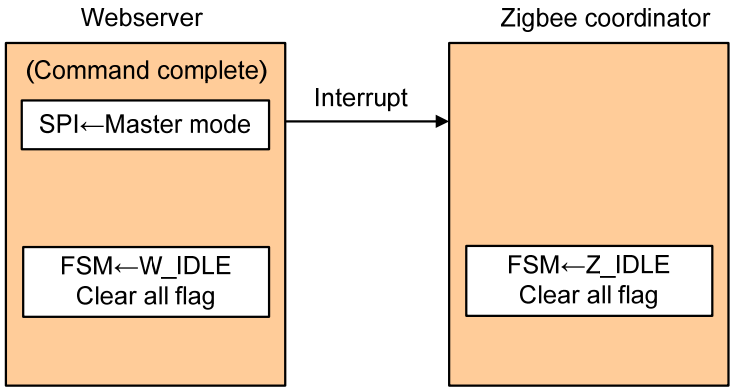
(ก)


Webserver
Zigbee coordinator
SPI←Slave mode
BusyCommand
Interrupt
WebReady
SPI
Room command table
Buffer
(Complete 1 Room)

(ข)


Webserver
Zigbee coordinator
(Command not complete)
Room Command data
Buffer
BusyCommand
Interrupt

(ค)



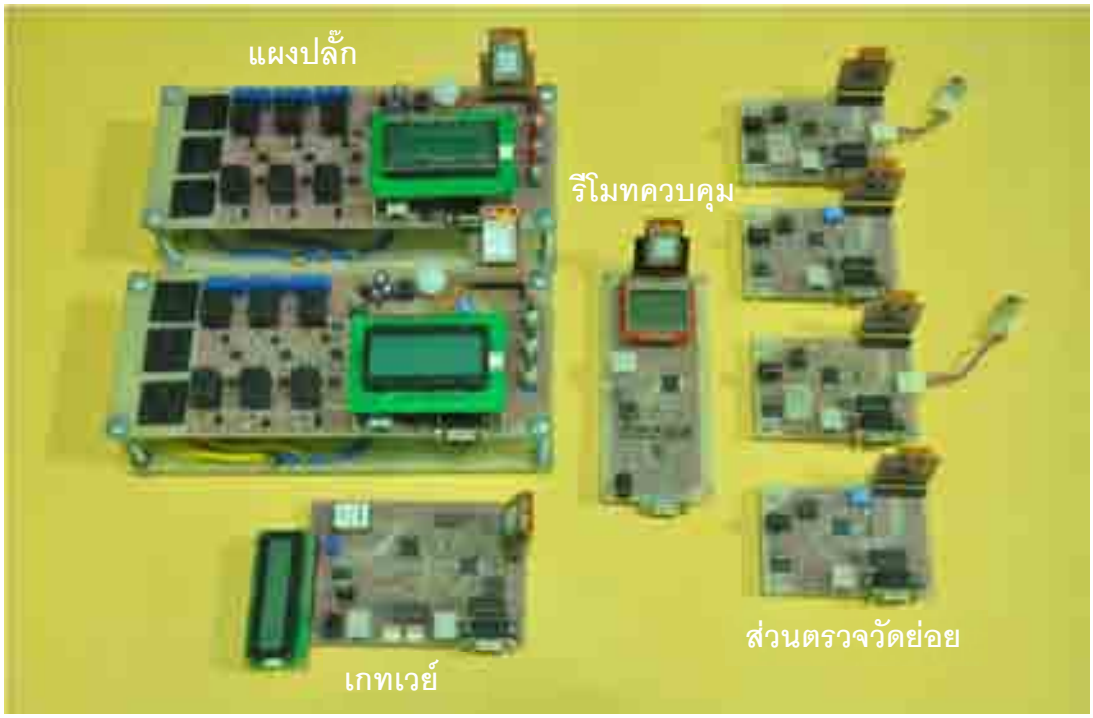
(ง)

ภาพที่ 4-71 (ก) ขั้นตอนการเตรียมส่งแพคเก็ตคำสั่ง (ข) ขั้นตอนการส่งแพคเก็ตคำสั่งผ่านSPI (ค) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลคำสั่งห้องต่อไปหากยังส่งคำสั่งไม่ครบ (ง) ขั้นตอนการสิ้นสุดการส่งคำสั่ง

บทที่ 5

ผลการทดสอบการทำงาน

การทดสอบการทำงานของระบบบ้านอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น แบ่งเป็นการทดสอบระบบภายในบ้าน ได้แก่ การจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อยเมื่อมีการเข้าร่วมเครือข่าย, การรับส่งข้อมูลเมื่ออุปกรณ์มีเข้าร่วมระบบด้วยรูปแบบเครือข่ายต่างๆ, ระยะการทำงานของเครือข่าย Zigbee รวมถึงการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ ทั้งการทำงานภายในบ้านซึ่งประกอบด้วย การอัพเดทสถานะห้องไปยังรีโมทควบคุม, การส่งคำสั่งผ่านรีโมท, การทดสอบความแม่นยำของการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก ส่วนการทดสอบการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วย การส่งข้อมูลมาแสดงผล, การส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์และการตั้งชื่อห้อง

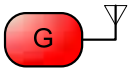
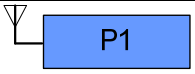
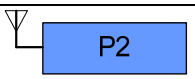
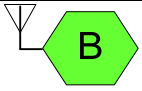


ภาพที่ 5-1 ฮาร์ดแวร์ของระบบบ้านอัตโนมัติที่ใช้ในการทดสอบ

5.1.การทดสอบด้านเครือข่ายและคุณภาพการสื่อสารของเครือข่าย Zigbee

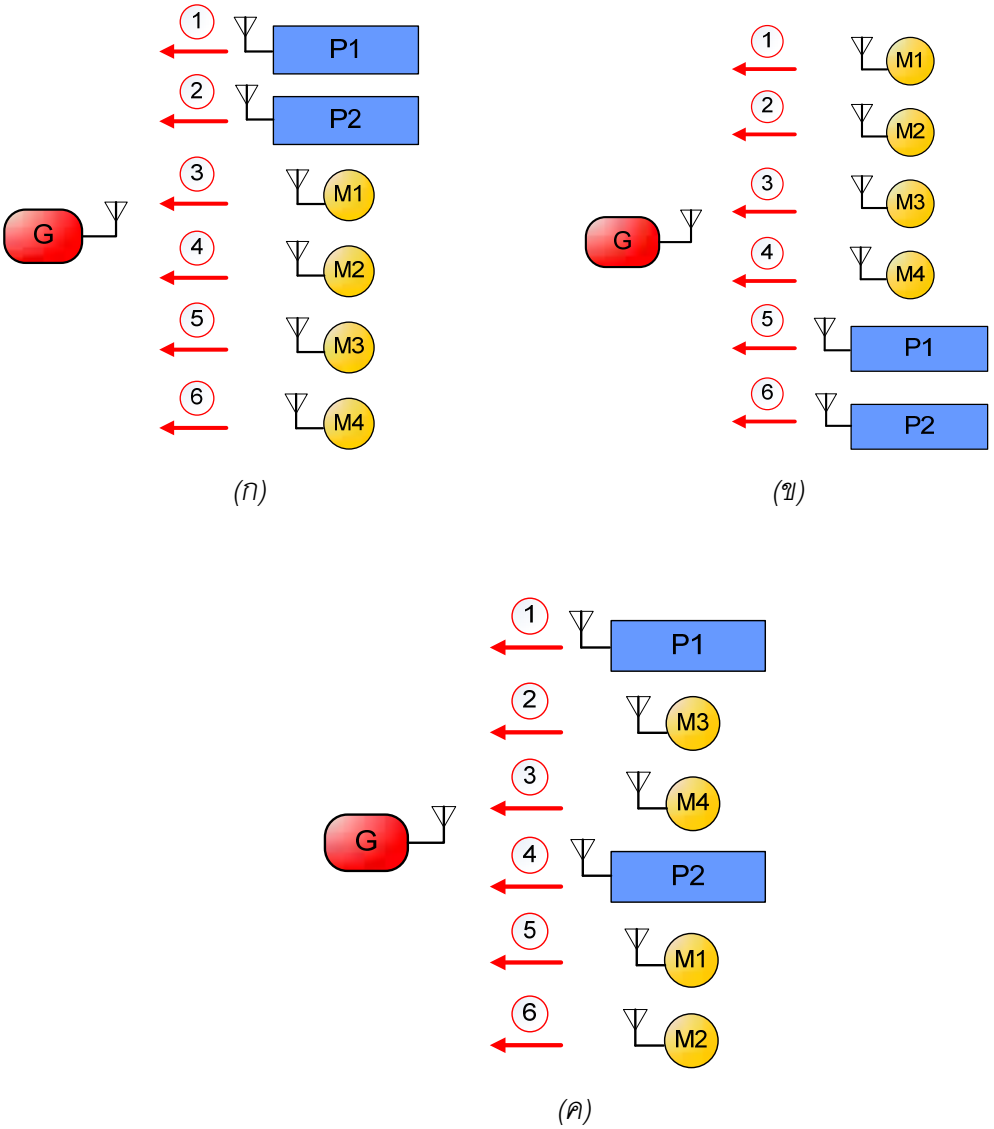
ทำการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ในการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อย และการทำงานต่างๆของ Zigbee stack รายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 หมายเลขต่างๆและรหัสประจำตัวของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

Device	Number	MAC	Type	Match Code	Symbol
Gateway	-	AAAAAAAAAAAAAAAA	-	-	
Plug panel	1	0000000400000001	0	17	
Plug panel	2	0000000400000002	0	82	
Monitor node	1	0000000000000001	1	17	
Monitor node	2	0000000000000002	2	17	
Monitor node	3	0000000000000003	1	82	
Monitor node	4	0000000000000004	2	82	
Test board	-	0000000400000005	-	-	

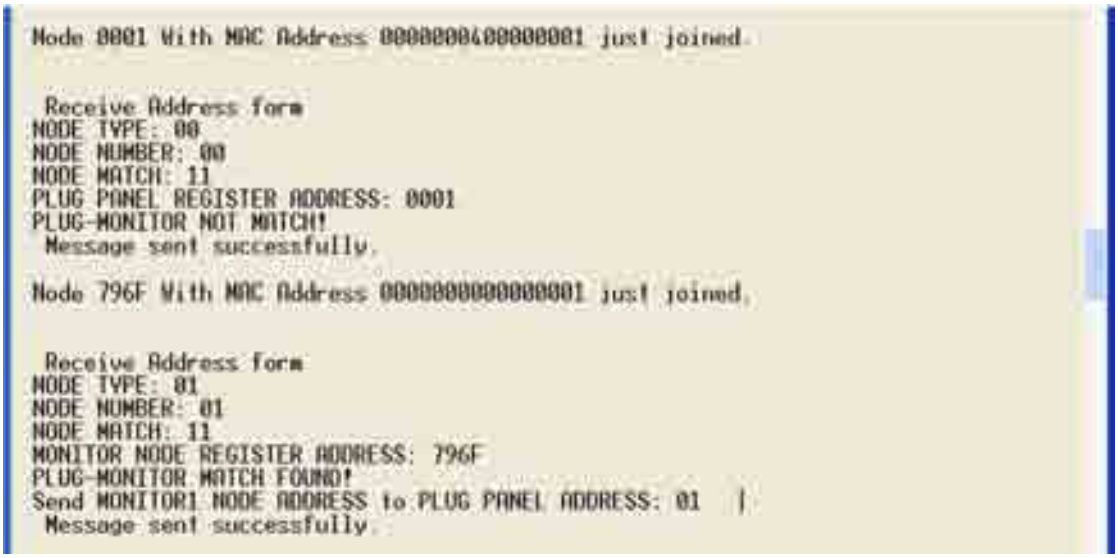
5.1.1. การทดสอบการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊กกับส่วนตรวจวัดย่อย

เมื่อแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยเข้าร่วมเครือข่าย จำเป็นต้องมีการจับคู่ระหว่างกันเป็นกลุ่มย่อยสำหรับทำงานแต่ละห้อง ในระบบที่ออกแบบนั้น ไม่ว่าแผงปลั๊กหรือส่วนตรวจวัดใดเข้าร่วมเครือข่ายก่อนหลังจะต้องสามารถจับคู่กันได้เสมอ การทดสอบประกอบด้วยแผงปลั๊ก 2 ตัว และส่วนตรวจวัดย่อย 4 ตัว ทำการเข้าร่วมเครือข่ายโดยแบ่งเป็นการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กก่อน – หลังส่วนตรวจวัดย่อย และรหัสจับคู่ตรงกันและไม่ตรงกัน รายละเอียดลำดับการเข้าร่วมเครือข่ายในการทดสอบเป็นไปตามภาพที่ 5-2



ภาพที่ 5-2 (ก) – (ค) ลำดับการเข้าร่วมเครือข่ายในการทดสอบ

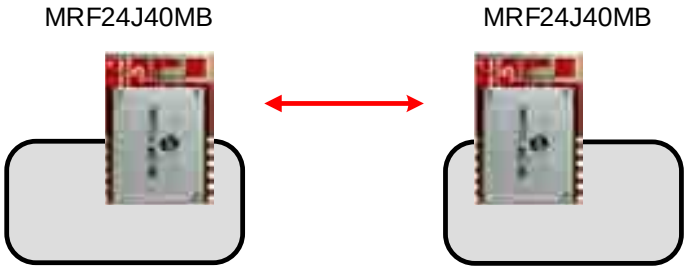
จากการทดสอบ พบว่าแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยสามารถจับคู่กันได้ในการเข้าร่วมเครือข่ายทั้ง 3 รูปแบบ ตัวอย่างผลการการจับคู่ระหว่างแผงปลั๊ก1 และส่วนตรวจวัดย่อย1 แสดงดังภาพที่ 5-3



ภาพที่ 5-3 ตัวอย่างผลการทดสอบการจับคู่กันระหว่างแผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อยที่เกทเวย์

5.1.2. การทดสอบระยะการทำงานของเครือข่าย Zigbee

สำหรับการทดสอบระยะทำงานจะทำการทดสอบมอดูล MRF24J40MB และมอดูล MRF24J40MA ของบริษัท MICROCHIP โดยเป็นการวัดคุณภาพของการสื่อสารที่ระยะต่างๆ ระหว่างอุปกรณ์ โดยพิจารณาจากค่า LQI (Link Quality Indicator) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 – 255 โดยทำการวัดค่าเฉลี่ยแล้วนำมาเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การลดทอนเมื่อเทียบกับค่าสูงสุด



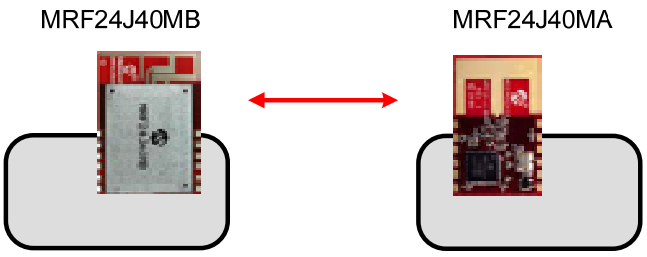
ภาพที่ 5-4 ทดสอบระยะทำการของอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB

สำหรับคุณภาพการสื่อสารด้วยมอดูล MRF24J40MB ค่าที่ได้เป็นไปตามตาราง 5-2

ตารางที่ 5-2 คุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ระยะต่างๆของมอดูลMRF24J40MB

ระยะห่าง (เมตร)	LQI เฉลี่ย	% เทียบกับค่า LQI สูงสุด
1	255	100
10	255	100
20	249	98
30	212	83
40	203	80
50	191	75
60	184	72
70	169	66
80	148	58
90	135	53
100	124	49

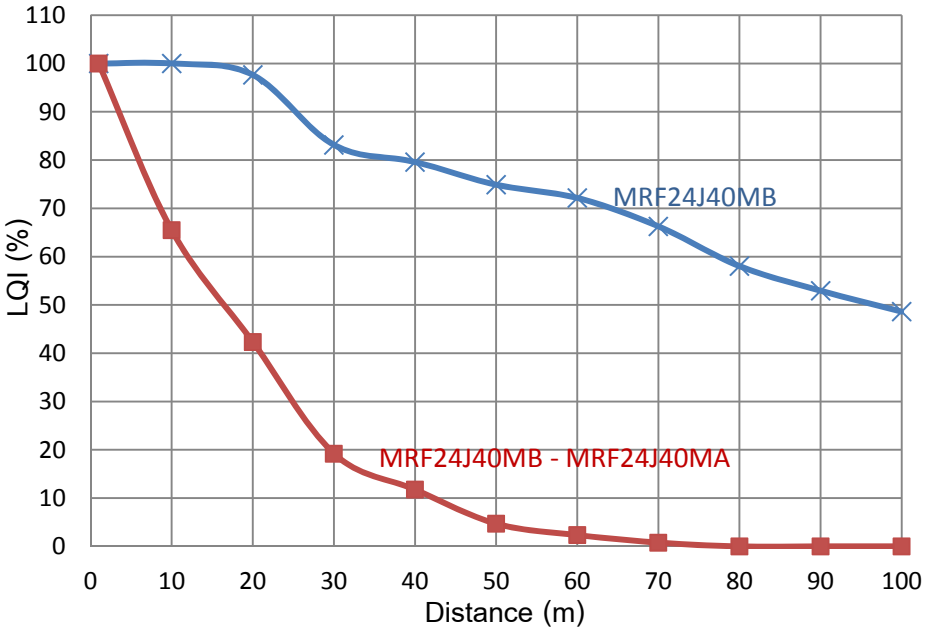
การทดสอบคุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MA ค่าที่ได้เป็นดังตารางที่ 5-3



ภาพที่ 5-5 ทดสอบระยะทำการของอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับ MRF24J40MA

ตารางที่ 5-3 คุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ระยะต่างๆระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MA

ระยะห่าง (เมตร)	LQI เฉลี่ย	% เทียบกับค่า LQI สูงสุด
1	255	100
10	167	65
20	108	42
30	49	19
40	30	12
50	12	5
60	6	2
70	2	1
80	0	0
90	0	0
100	0	0

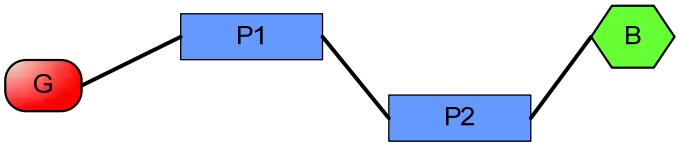


ภาพที่ 5-6 เปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB และอุปกรณ์ที่ใช้มอดูล MRF24J40MB กับ MRF24J40MA

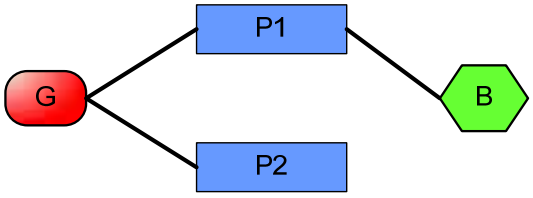
ระยะการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ภายในระบบบ้านอัตโนมัติ ในการออกแบบขั้นแรกนั้นกำหนดให้เกทเวย์ซึ่งทำหน้าที่เป็น Zigbee coordinator ของเครือข่าย, แผงปลั๊กซึ่งทำหน้าที่เป็น router ของเครือข่ายและรีโมทควบคุมที่ทำหน้าที่เป็น end device ใช้มอดูล MRF24J40MB และส่วนตรวจวัดย่อยใช้มอดูล MRF24J40MA เนื่องจากเกทเวย์, แผงปลั๊กและรีโมทควบคุมต้องมีระยะทำการที่ไกลเพื่อให้ระบบสามารถติดต่อสื่อสารได้ครอบคลุมพื้นที่ภายในบ้าน สำหรับส่วนตรวจวัดย่อยนั้น มีหน้าที่ตรวจวัดสถานะภายในห้องซึ่งต้องการเพียงติดต่อกับแผงปลั๊กที่เป็นคู่ของมันที่อยู่ภายในห้องเดียวกันเท่านั้นจึงมีระยะการทำงานใกล้กว่า จากการทดสอบนั้นแม้ว่ามอดูล MRF24J40MB ติดต่อกับมอดูล MRF24J40MA ในระยะ 30 เมตรได้ แต่มีคุณภาพการสื่อสารที่ไม่สูง (LQI เท่ากับ 49 ในที่โล่ง) หากใช้ติดต่อกันในบริเวณที่มีการกีดขวางระหว่างอุปกรณ์อาจทำให้มีอัตราการส่งซ้ำ (retransmit) สูงหรือกระทั่งหลุดจากเครือข่าย จึงพิจารณาใช้มอดูล MRF24J40MB กับอุปกรณ์ทั้งหมด สำหรับมอดูล MRF24J40MB นั้น ที่ระยะการสื่อสาร 30 เมตร พบว่ามีค่า LQI เท่ากับ 212 ซึ่งถือว่ามีคุณภาพการสื่อสารที่สูง และเพียงพอในการติดต่อระหว่างห้องและชั้นในบ้านพักอาศัยและอาคาร

5.1.3. การรับส่งข้อมูลเมื่ออุปกรณ์เข้าร่วมระบบด้วยรูปแบบต่าง ๆ

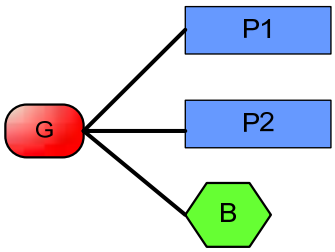
ทำการทดสอบความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น router ในเครือข่าย Zigbee ของซอฟต์แวร์ Microchip Zigbee stack เวอร์ชั่น 2006 โดยโปรแกรมบอร์ดทดลองให้ทำหน้าที่เป็นแผงปลั๊ก จากนั้นทำการเข้าร่วมเครือข่ายในรูปแบบต่างๆ โดยมีระยะระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวที่ 30 เมตร ดังภาพที่ 5-7



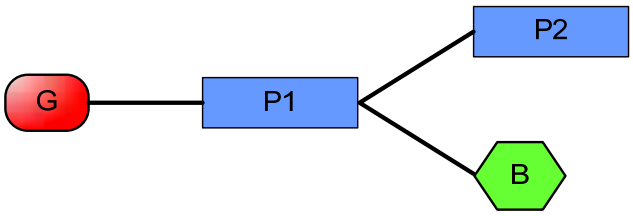
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

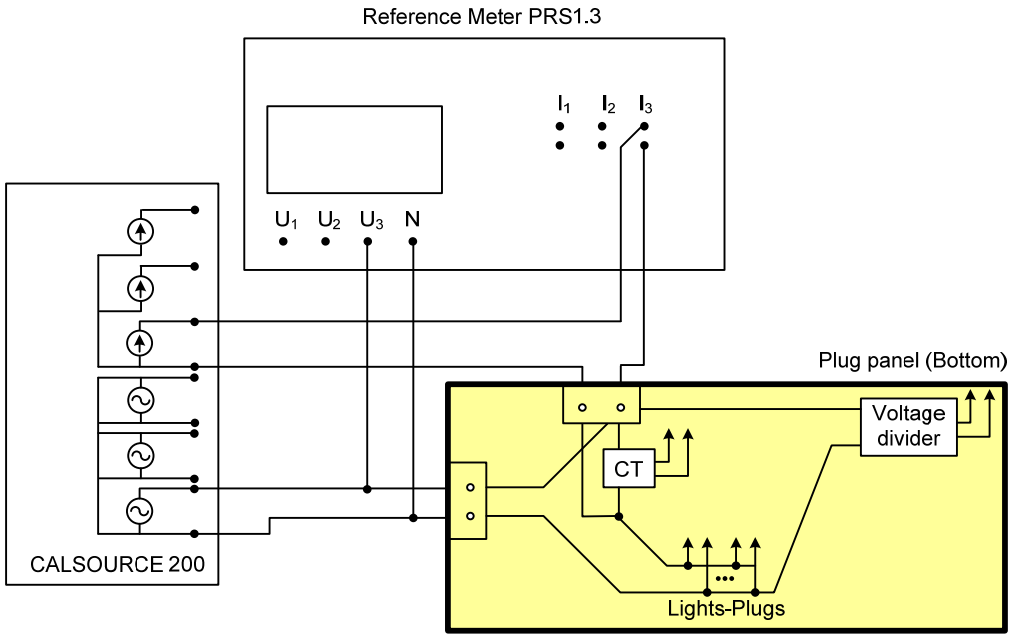
ภาพที่ 5-7 (ก) – (ง) รูปแบบเครือข่ายในการทดสอบการส่งผ่านข้อมูลของ router

เมื่อทำการส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลจาก router แต่ละตัว พบว่า router สามารถส่งผ่านข้อมูลได้เป็นอย่างดีในรูปแบบเครือข่ายทุกรูปแบบดังกล่าว

5.2. การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ของเครือข่ายภายในบ้าน

5.2.1. ความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก

การทดสอบความแม่นยำของการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก ใช้เครื่องจ่ายแรงดัน – กระแสอ้างอิงรุ่น CALSOURCE 200 ของบริษัท MEH และมิเตอร์อ้างอิงความแม่นยำการวัดระดับ 0.05% รุ่น PRS1.3 ของบริษัท MEH เช่นเดียวกัน โดยระบบทดสอบแสดงดังภาพที่ 5-8



ภาพที่ 5-8 ระบบทดสอบความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊ก

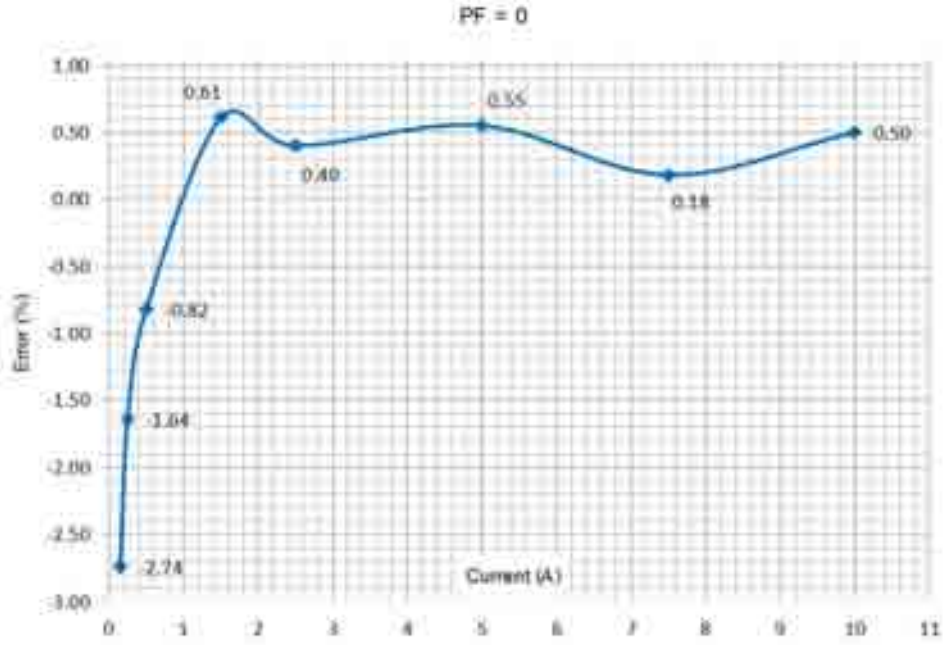
การทดสอบความแม่นยำจะทดสอบที่กระแสต่างๆ ในพิกัดสูงสุด 10 แอมป์ โดยพิกัดแรงดัน 220 โวลต์คงที่ ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) 0, ล้าหลัง 30, ล้าหลัง 60, นำหน้า 30 และนำหน้า 60 องศา จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงปลั๊กและค่าที่วัดได้จากมิเตอร์อ้างอิงมาคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาความคลาดเคลื่อน ตามสมการ

$$error = \frac{P_{mes} - P_{ref}}{P_{ref}} \times 100 \quad \% \tag{5.1}$$

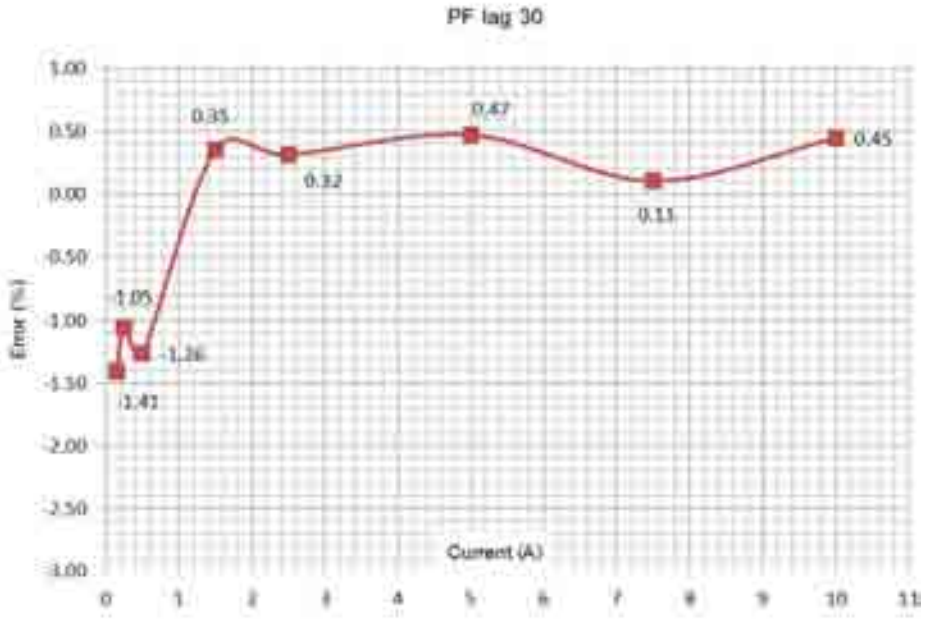
P_{mes} = ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงปลั๊ก

P_{ref} = ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากมิเตอร์อ้างอิง

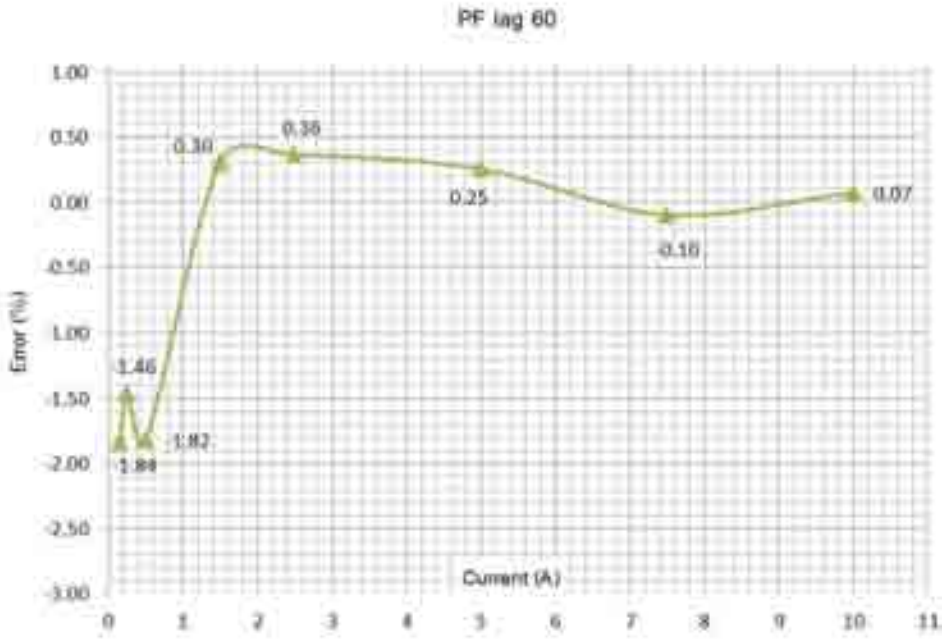
ความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้ เป็นดังนี้



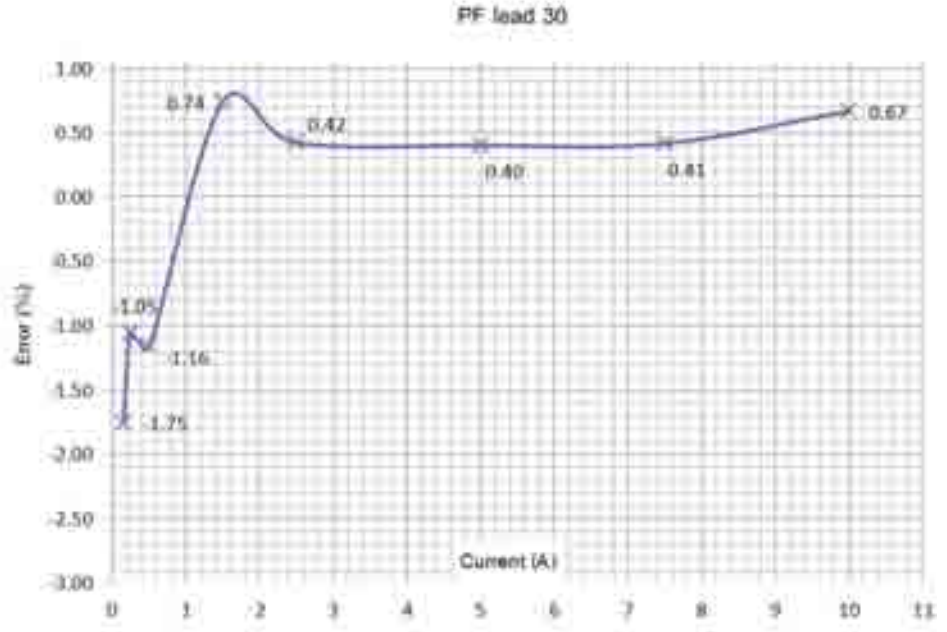
ภาพที่ 5-9 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลัง 0 องศา



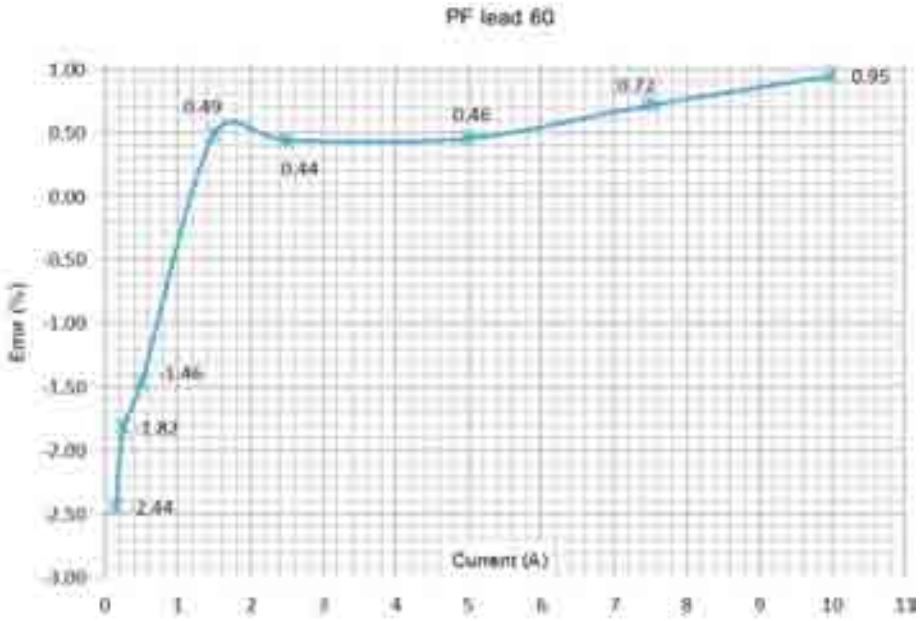
ภาพที่ 5-10 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง 30 องศา



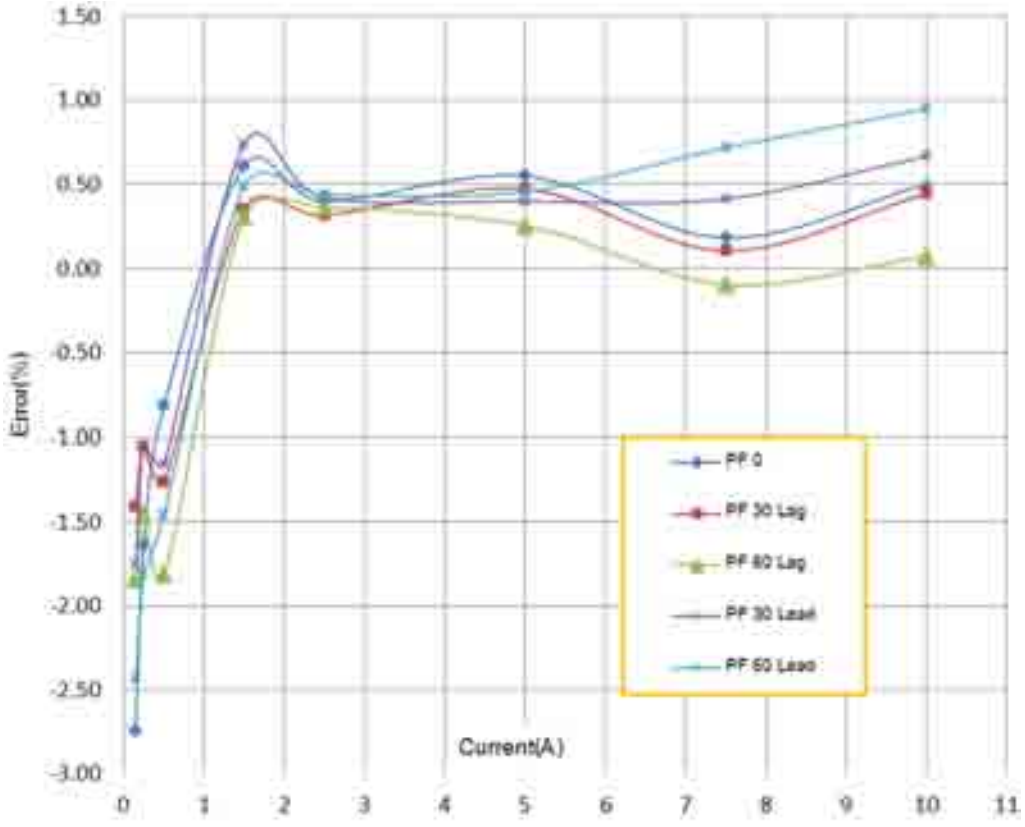
ภาพที่ 5-11 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังล้าหลัง 60 องศา



ภาพที่ 5-12 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า 30 องศา



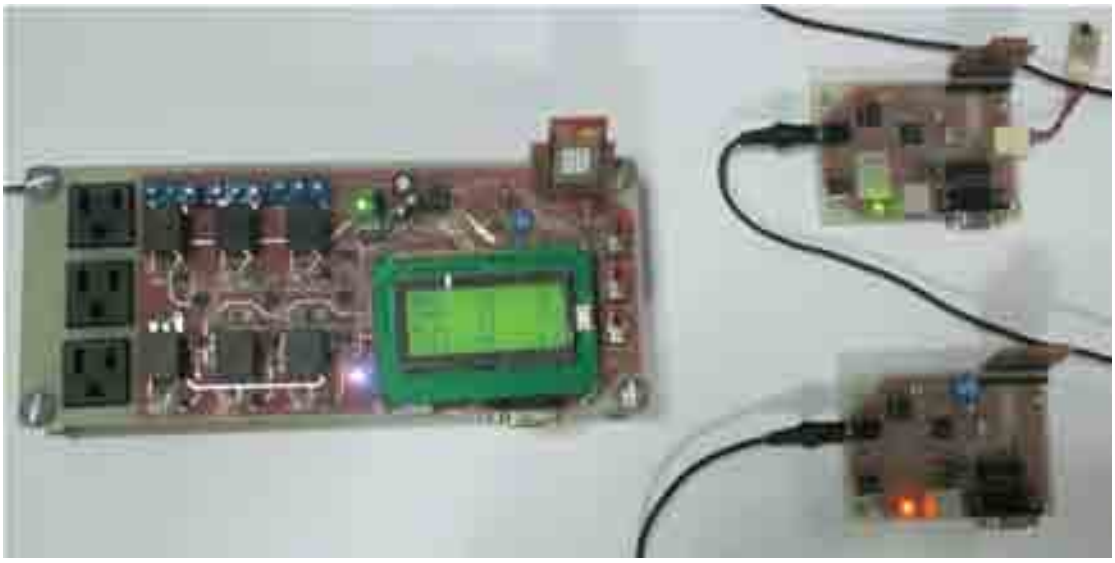
ภาพที่ 5-13 ความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า 60 องศา



ภาพที่ 5-14 เปรียบเทียบความแม่นยำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ตัวประกอบกำลังต่างๆ

จากการทดสอบพบว่าในพิกัดการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงปลั๊กที่กระแสตั้งแต่ 0 – 10 แอมป์ มีความคลาดเคลื่อนของการวัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ เนื่องจากการแสดงผลบนจอแอลซีดีบนแผงปลั๊ก, การแสดงผลบนจอรีโมทควบคุม และบนเว็บเพจนั้นเป็นจำนวนเต็ม (ค่าความละเอียด 16 บิต) ซึ่งจะได้รับผลจากความผิดพลาดในการปัดเศษ (round-off error) ทำให้ความคลาดเคลื่อนระดับ 3 เปอร์เซนต์นั้นยอมรับได้ เนื่องจากระบบออกแบบให้วัดค่ากำลังไฟฟ้าโดยประมาณเท่านั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีความแม่นยำระดับมิเตอร์วัดไฟฟ้า

5.2.2. ทดสอบการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยของแผงปลั๊ก



ภาพที่ 5-15 ทดสอบการร้องขอข้อมูลของแผงปลั๊กจากส่วนตรวจวัดย่อย

เมื่อแผงปลั๊กจับคู่กับส่วนตรวจวัดย่อยเรียบร้อยแล้ว เมื่อครบรอบทุกๆ 30 วินาที จะทำการร้องขอข้อมูลจากส่วนตรวจวัดย่อยทั้งสองเพื่อนำมาแสดงที่จอแอลซีดี และส่งต่อไปแสดงยังส่วนกลางที่เกทเวย์เมื่อได้รับการร้องขอ โดยการแสดงผลที่จอแอลซีดีนั้นสามารถเลือกได้จากสวิทช์ที่แผงปลั๊ก โดยสามารถเลือกแสดงผลกำลังไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความชื้น, ความสว่าง หรือแสดงผลการเปิด-ปิดประตู, การตรวจจับควัน, ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดสอบ พบว่าค่าสถานะต่างๆที่วัดได้จากส่วนตรวจวัดย่อย ถูกส่งมาที่แผงปลั๊กและแสดงผลยังจอแอลซีดีได้อย่างถูกต้องดังภาพที่ 5-16

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 5-16 ตัวอย่างผลการทดสอบการแสดงผลสถานะห้องที่แผงปลั๊ก (ก) การแสดงผลที่จอแอลซีดีแบบแรก (ข) การแสดงผลที่จอแอลซีดีแบบที่สอง (ค) สวิทช์เลือกการแสดงผลจอแอลซีดี

5.2.3. **ทดสอบการทำงานของรีโมทควบคุม**

1) ทดสอบการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กที่รีโมท

การทดสอบการทำงานของรีโมทควบคุม เริ่มจากการเข้าร่วมเครือข่ายของรีโมท เมื่อรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว เกทเวย์จะทำงานในโหมดรีโมท ซึ่งเมื่อครบทุกๆ 2 นาทีเกทเวย์จะส่งค่าสถานะห้องล่าสุดมาให้รีโมท หน้าแรกของเกทเวย์สามารถเลือกได้ว่าจะทำการดูสถานะห้องหรือจะทำการควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในกรณีที่เกทเวย์ยังไม่ได้อัพเดทค่าสถานะห้องมายังรีโมท เมื่อทำการเลือกที่จะดูสถานะหรือควบคุมจะไม่สามารถทำได้เนื่องจากไม่ทราบว่ามีแผงปลั๊กของห้องใดเข้าร่วมเครือข่ายบ้างจนกว่าจะได้รับการอัพเดทสถานะห้อง ดังภาพที่ 5-17 ซึ่งพบว่ามีการอัพเดทข้อมูลการเข้าร่วมเครือข่ายได้อย่างถูกต้อง โดยค่าเริ่มต้นของชื่อห้องคือ ROOM

(ก)

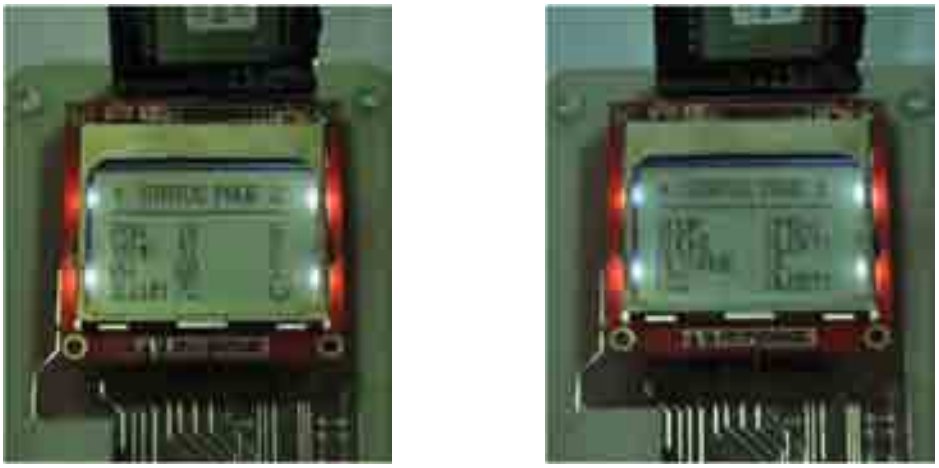
(ข)

(ค)

ภาพที่ 5-17 ทดสอบการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กที่รีโมท (ก) หน้าแรกใช้เลือกการทำงาน (ข) กรณียังไม่ได้รับการอัพเดทจากเกทเวย์ (ค) เมื่อได้รับการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กแล้ว

2) ทดสอบการดูสถานะห้องด้วยรีโมท

เมื่อรีโมทควบคุมได้รับการอัพเดทครั้งแรกแล้วและพบว่ามีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายอย่างน้อย 1 ตัว ก็จะทำการติดต่อกับเครือข่ายภายในบ้านด้วยปุ่มต่างๆ จากการทดสอบโดยเลือกการดูสถานะในหัวข้อ ROOM MONITOR ของแผงปลั๊กตัวแรก (1ROOM) หน้าจอรีโมทจะแสดงดังภาพที่ 5-18 ซึ่งพบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง



(ก) *(ข)*

ภาพที่ 5-18 ทดสอบการดูค่าสถานะของห้องที่รีโมท (ก) ค่าสถานะห้องหน้าแรก (ข) ค่าสถานะห้องหน้าที่สอง

3) ทดสอบการควบคุมด้วยรีโมท

ภาพที่ 5-19 ปุ่มควบคุมที่รีโมท

เมื่อเลือกทำการควบคุมในหัวข้อ ROOM CONTROL แล้วเลือกแผงปลั๊กแรก หน้าจอจะแสดงสถานะการเปิด-ปิดของไฟ 3 ดวงและปลั๊ก 3 ดวง การควบคุมทำได้โดย กดปุ่ม OK ซึ่งสลับ (toggle)เลือกว่าให้เปิดหรือปิด (ON-OFF) โดยเมื่อเลือกได้แล้วก็ กดปุ่ม SUBMIT ซึ่ง

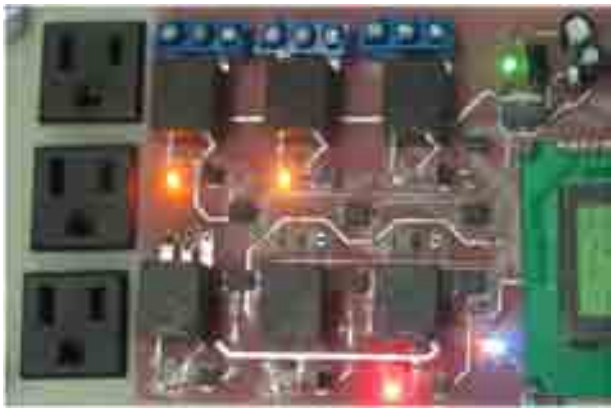
จะเป็นหน้าจอยืนยันคำสั่ง ถ้าเลือก Yes ก็จะส่งคำสั่งทันที ถ้าเลือก No ก็จะกลับไปยังหน้าควบคุมเช่นเดิม ดังภาพที่ 5-20

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)



(จ)

ภาพที่ 5-20 ทดสอบการควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่รีโมท (ก) หน้าสถานะการเปิด-ปิด (ข) เลือกควบคุมการเปิด-ปิด (ค) หน้าจอยืนยันคำสั่ง (ง) หน้าจอเมื่อทำการส่งคำสั่งแล้ว (จ) รีเลย์ที่แผงปลั๊กทำงานตามคำสั่งจากรีโมทควบคุม

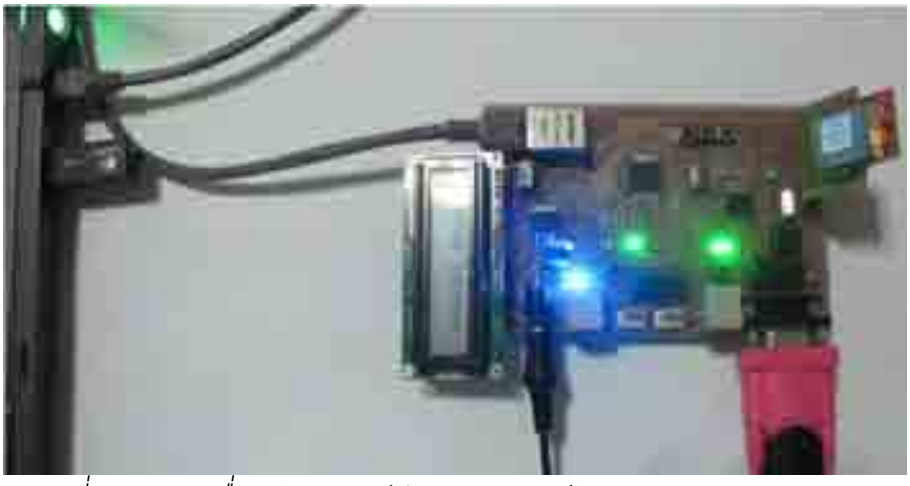
นอกจากนี้ยังสามารถเลือกให้ปิดไฟทุกดวงภายในบ้าน โดยการปิดไฟของทุกแผงปลั๊กที่เข้าร่วมเครือข่ายโดยใช้คำสั่ง ALL LIGHT OFF หรือเลือกโหมดการทำงานอัตโนมัติของแผงปลั๊กที่ AUTO MODE ว่าให้ทำงานหรือไม่ (ON หรือ OFF) ซึ่งถ้าแผงปลั๊กทำงานในโหมดอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้องเป็นเวลานานก็จะปิดไฟ จากการทดสอบการควบคุมทั้งหมด พบว่ารีโมทสามารถส่งคำสั่งได้อย่างถูกต้อง

ภาพที่ 5-21 คำสั่งปิดไฟทั้งหมดและคำสั่งเลือกโหมดการทำงานของแผงปลั๊ก

5.3. การทดสอบการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

5.3.1 การแสดงสถานะและการควบคุมผ่านเว็บบราวเซอร์

1) ทดสอบการติดต่อผ่านโปรโทคอล TCP/IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์



ภาพที่ 5-22 การเชื่อมต่อเกทเวย์กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายแลนและ UART

ทำการทดสอบโดยการต่อเกทเวย์เข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายแลน แล้วทำการส่งคำสั่ง Ping ไปที่ IP ของเกทเวย์ จากการทดสอบพบว่าสามารถติดต่อเกทเวย์ผ่านโปรโทคอล TCP/IP ได้ ดังภาพที่ 5-23

ภาพที่ 5-23 ทดสอบการส่งคำสั่ง Ping ไปยังเกทเวย์

2) ทดสอบการอัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กมายังเว็บบราวเซอร์

เมื่อเกทเวย์ทำงาน หากยังไม่มีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่าย เมื่อติดต่อผ่านเว็บเพจจะพบว่า แต่ละห้องจะไม่มีข้อมูลเข้ามาและชื่อห้องจะแสดงเป็น N/A ต่อมาเมื่อมีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่าย และเกทเวย์อัพเดทสถานะมายังส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์แล้ว จะพบว่าห้องที่มีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่ายนั้นจะแสดงชื่อเป็น ROOM แล้วตามด้วยชื่อลำดับ ซึ่งจากการทดสอบ พบว่าเกทเวย์อัพเดทการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กได้อย่างถูกต้องตามภาพที่ 5-24

(ก)

(ข)

ภาพที่ 5-24 ทดสอบการอัพเดทสถานะการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊ก (ก) หน้าเว็บเพจเมื่อยังไม่มีแผงปลั๊กเข้าร่วมเครือข่าย (ข) หน้าเว็บเพจเมื่อมีการอัพเดทสถานะการเข้าร่วมเครือข่ายของแผงปลั๊กเรียบร้อยแล้ว

3) ทดสอบการแสดงสถานะห้องผ่านเว็บบราวเซอร์

การทดสอบการแสดงสถานะห้องโดยให้แผงปลั๊กและส่วนตรวจวัดย่อย 2 กลุ่มเข้าร่วมเครือข่าย เมื่อเกทเวย์ทำการร้องขอสถานะห้องของแผงปลั๊กทั้งสองเรียบร้อยจะทำการอัพเดทมายังเกทเวย์ เมื่อติดต่อเกทเวย์ผ่านเว็บบราวเซอร์ในหัวข้อ Monitor แล้วพบว่าหน้าเว็บเพจแสดงค่าต่างๆได้อย่างถูกต้อง ดังภาพที่ 5-25

(ก)

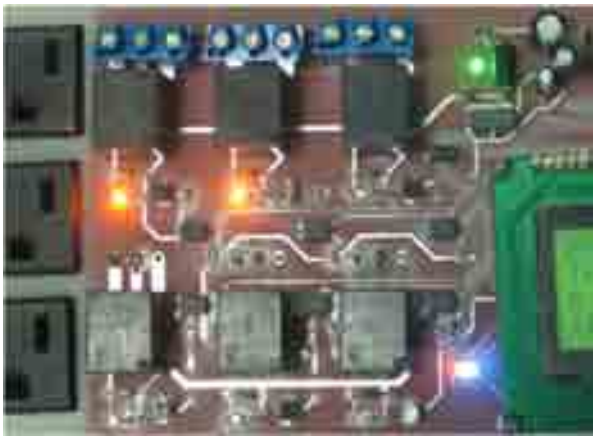
(ข)

ภาพที่ 5-25 ทดสอบการแสดงสถานะห้องผ่านหน้าเว็บเพจ (ก)สถานะต่างๆภายในห้อง (ข) สถานะการเปิด-ปิดไฟและปลั๊กแต่ละห้อง

4) ทดสอบการส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์

ทดสอบการส่งคำสั่งโดยเลือกหัวข้อ Control ที่เว็บเพจ โดยเลือก ON หรือ OFF ที่ไฟและปลั๊ก เมื่อเลือกเสร็จเรียบร้อยทำการส่งคำสั่งโดยเลือก Set พบว่าสามารถส่งคำสั่งผ่านเว็บเพจได้อย่างถูกต้อง ตามภาพที่ 5-26

(ก)



(ข)

ภาพที่ 5-26 ทดสอบการส่งคำสั่ง (ก) เลือกเปิด-ปิดไฟหรือปลั๊กผ่านทางเว็บบราวเซอร์ (ข) ผลการส่งคำสั่งที่แผงปลั๊ก

5.3.2. **การตั้งชื่อห้องผ่านเว็บบราวเซอร์**

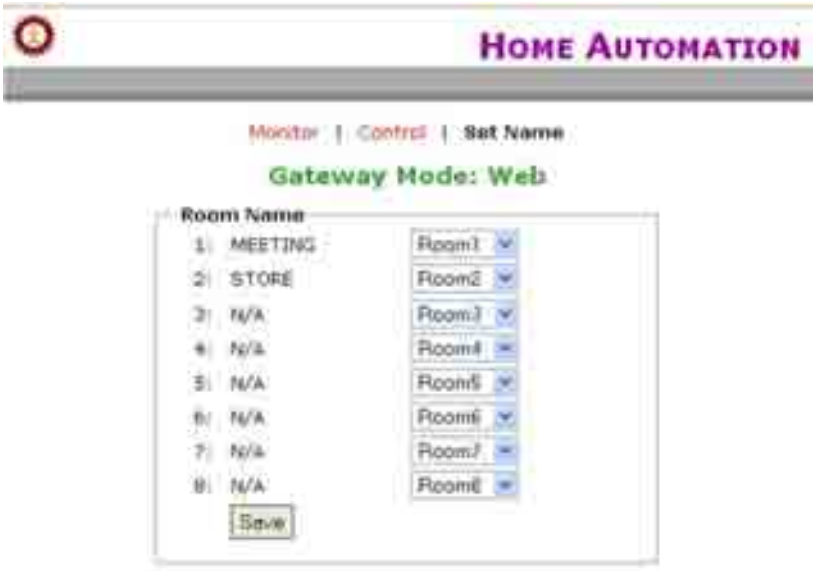
1) ทดสอบการตั้งชื่อห้องที่เว็บเพจ

ทดสอบการตั้งชื่อห้องที่ติดตั้งแผงปลั๊ก โดยเลือกในหัวข้อ Set Name เพื่อช่วยให้ผู้อาศัยสามารถทราบรายละเอียดมากขึ้นว่าสถานะที่แสดงนั้นเป็นสถานะของห้องใดภายในบ้าน โดยชื่อห้องที่สามารถกำหนดได้นั้นประกอบด้วย

- Room เป็นชื่อห้องเริ่มต้น (default)
- Living ห้องนั่งเล่น
- Meeting ห้องประชุม
- Kitchen ห้องครัว
- Dining ห้องรับประทานอาหาร
- Private ห้องส่วนตัว
- Hall ห้องโถง
- Office ห้องทำงาน
- Store ห้องเก็บของ
- Garage โรงรถ

เมื่อทำการเลือกชื่อห้องแล้ว ทำการบันทึกชื่อที่เลือกไว้โดยกดปุ่ม Save จะพบว่าชื่อห้องในแต่ละหน้าเว็บเพจเปลี่ยนไปตามที่กำหนด ดังภาพที่ 5-27 นั่นคือการส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์ทำงานได้อย่างถูกต้อง

(ก)



(ข)

(ค)

ภาพที่ 5-27 ทดสอบการตั้งชื่อห้อง (ก) เลือกชื่อห้องในหัวข้อ Set Name (ข) ทำการบันทึกชื่อที่เลือก(ค) ชื่อห้องในแต่ละหน้าของเว็บเพจเปลี่ยนไปตามชื่อที่เลือกไว้

2) ทดสอบการอัพเดทชื่อห้องไปยังรีโมทควบคุม

ทำการทดสอบโดยเมื่อตั้งชื่อห้องและบันทึกเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเปิดการทำงานให้รีโมทเข้าร่วมเครือข่าย เมื่อเกทเวย์พบว่ามีรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายและอยู่ในสถานะตื่น (Wake) ก็จะทำงานในโหมดรีโมท เมื่อครบทุก 2 นาทีก็จะอัพเดทค่าต่างๆไปที่รีโมทรวมถึงชื่อห้องที่ได้ทำการเลือกเอาไว้ด้วย ดังภาพที่ 5-28

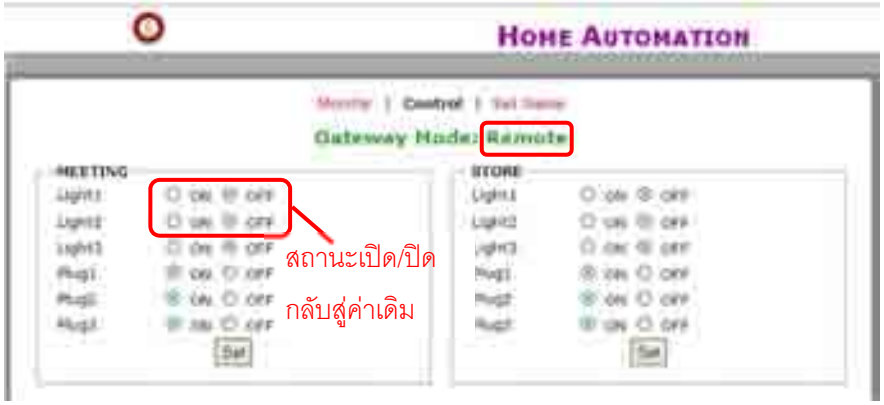
(ก)

(ข)

ภาพที่ 5-28 ทดสอบการอัพเดทชื่อห้องไปยังรีโมท (ก) หน้าเว็บเพจเมื่อมีรีโมทเข้าร่วมเครือข่ายและอยู่ในสถานะตื่น (ข) เมื่อเกทเวย์อัพเดทค่าสถานะไปยังรีโมท พบว่าชื่อห้องเปลี่ยนไปตามที่เลือกไว้

5.3.3. ทดสอบการส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์เมื่อเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท

ทำการทดสอบโดยระบบบ้านอัตโนมัติตามที่ออกแบบไว้นั้น เมื่อเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท เมื่อมีการส่งคำสั่งผ่านเว็บบราวเซอร์ จะปฏิเสธคำสั่งนั้น จากการทดสอบ พบว่าเมื่อเลือกคำสั่งเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าและกด Set สถานะการเปิด-ปิดของไฟและปลั๊กจะกลับมาเหมือนก่อนหน้าที่ทำการส่งคำสั่ง นั้นคือ คำสั่งใหม่ที่ถูกที่ส่งผ่านเว็บบราวเซอร์นั้นไม่มีผล นั้นคือเกทเวย์ทำงานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้



ภาพที่ 5-29 คำสั่งที่ถูกส่งผ่านเว็บบราวเซอร์ไม่ทำงานเมื่อเกทเวย์ทำงานในโหมดรีโมท

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. ข้อสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการพัฒนาระบบบ้านอัตโนมัติด้วยมาตรฐาน Zigbee ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่เหมาะสำหรับเครือข่ายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำแต่เน้นที่การประหยัดพลังงาน อุปกรณ์ภายในระบบประกอบด้วย เกทเวย์, แผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อยและรีโมทควบคุมโดยระบบสามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้า และวัดสถานะต่างๆภายในห้อง ซึ่งการควบคุมและตรวจวัดนั้นแต่ละห้องนั้นจะใช้กลุ่มอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยแผงปลั๊ก, ส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่1 และส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 2

แผงปลั๊กสามารถเปิด-ปิดไฟ, อุปกรณ์ไฟฟ้าและทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 1 ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิ ความชื้นและความสว่าง ส่วนตรวจวัดย่อยแบบที่ 2 นั้นใช้ DIP สวิทช์ในการจำลองการทำงานของตัวตรวจวัดในการตรวจสอบการเปิด-ปิดประตู, การตรวจจับควัน , ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อมูลจากส่วนตรวจวัดจะถูกส่งไปยังแผงปลั๊กที่เป็นคู่ของมัน ซึ่งภายในแผงปลั๊กมีจอแอลซีดีเพื่อแสดงค่าต่างๆที่ตรวจวัดได้ นอกจากนี้ค่าที่รวบรวมได้ที่แผงปลั๊กจะถูกส่งไปยังส่วนกลางที่เกทเวย์เพื่อใช้ในการแสดงสถานะของห้องทั้งหมดภายในบ้านอีกด้วย ซึ่งเกทเวย์นี้จะทำหน้าที่ประสานงานการทำงานของระบบทั้งหมดโดยทำการติดต่อกับผู้ใช้ผ่านรีโมทควบคุมหรือเว็บเพจผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ในเครือข่าย Zigbee นั้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง เกทเวย์ทำหน้าที่เป็น Zigbee coordinator, แผงปลั๊กทำหน้าที่เป็น router, ส่วนตรวจวัดย่อยและรีโมทควบคุมทำหน้าที่เป็น end device การรับส่งข้อมูลจะใช้มอดูล MRF24J40 MB โดยโครงสร้างของเครือข่ายเป็นแบบโครงสร้างต้นไม้ (Cluster tree)

สำหรับการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ภายในเกทเวย์นั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F86J65 ซึ่งมีมอดูลอินเทอร์เน็ตอยู่ภายในทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ และไฟล์เว็บเพจจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ EEPROM โดยหน่วยประมวลผลของเว็บเซิร์ฟเวอร์และหน่วยประมวลผลของเครือข่าย Zigbee ในเกทเวย์นั้นจะติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ต SPI

จากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee มีระยะในการสื่อสารเกินกว่า 30 เมตร หากบริเวณนั้นเป็นที่โล่งหรือไม่มีสิ่งบดบังสัญญาณ และระยะสื่อสารจะลดลงหากต้องติดต่อระหว่างห้องหรือระหว่างชั้นของบ้าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ติดตั้ง แผงปลั๊กมีความผิดพลาดในการวัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 3% ซึ่งยอมรับได้เนื่องจากเพียงต้องการทราบถึงแนวโน้มของปริมาณการใช้ไฟฟ้า การนำอุปกรณ์ไปใช้งานจริงนั้นจำเป็นที่จะต้องออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์ ระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถรองรับแผงปลั๊กเพิ่มเติมได้สูงสุด 8 ตัว ผู้ใช้เพียงทำการกำหนดค่าคุณลักษณะของแผงปลั๊กซึ่งประกอบด้วยหมายเลข, รหัสการจับคู่และชนิดของอุปกรณ์นั้นตามข้อกำหนด เมื่อเปิดการทำงานอุปกรณ์จะเข้าร่วมเครือข่ายและจับคู่ได้เอง การออกแบบได้พยายามที่จะให้อุปกรณ์แต่ละตัวมีขนาดเล็ก แต่หากมีการนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์อาจใช้อุปกรณ์จำพวก ASIC หรือ SOC ซึ่งจะประหยัดเนื้อที่ได้มากกว่า สำหรับค่าใช้จ่ายในงานวิจัยนั้นได้เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพง และไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของซอฟต์แวร์ ทำให้ประหยัดงบประมาณได้มาก

6.2. **ข้อเสนอแนะ**

1. เพิ่มวงจรรวมฐานเวลาจริงภายในเกทเวย์ สำหรับเพิ่มการตั้งเวลาการเปิด-ปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าล่วงหน้า หรือใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนได้
2. การติดต่อกับผู้ใช้ด้วยรีโมทควบคุม อาจเปลี่ยนจอแสดงผลเป็นแบบสัมผัส เพื่อความสะดวกในการควบคุม และสามารถออกแบบ GUI ได้หลากหลายกว่า
3. การติดต่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอาจใช้ชิป Ethernet controller ภายนอก เช่น ชิป Zero G ของบริษัท Microchip เนื่องจากสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระดับความเร็วมากกว่ามอดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

4. นอกจากการเปิด-ปิดไฟแล้วอาจเพิ่มการทำงานให้สามารถหรี่ไฟได้
5. ภายในระบบบ้านอัตโนมัติอาจเพิ่มส่วนการติดต่อผ่านเครือข่าย Wi-Fi ควบคู่ไปกับเครือข่าย Zigbee สำหรับงานที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงกว่า เนื่องจากมีมอดูลสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.11b ที่มีราคาถูกวางขายในท้องตลาด
6. เพิ่มการควบคุมที่ละเอียดขึ้น เช่นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วย infrared โดยใช้ชิปสำหรับแปลงข้อมูลจาก Zigbee เป็นสัญญาณ infrared
7. เนื่องจากการเก็บไฟล์เว็บเพจไว้ในหน่วยความจำ EEPROM ของ TCP/IP stack ที่ใช้นั้นมีขนาดสูงสุดเพียง 64 กิโลไบต์ จึงเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการขยายระบบ หากต้องการระบบที่ใหญ่มากขึ้น ควรใช้หน่วยประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ARM และใช้ระบบปฏิบัติการในการพัฒนา เช่น ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์แบบฝังตัว

รายการอ้างอิง

[1] Zigbee Alliances. Zigbee Specification Document 053474r17 [Online]. 2008. Available from: http://www.zigbee.org [January, 2008]

[2] Fabio L. Zucatto, Clecio A. Biscassi, Ferdinando Monsignore, Francis Fidelix, Samuel Coutinho, Monica L. Rocha. Zigbee for Building Control Wireless Sensor Networks 2007. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [November, 2007]

[3] Vincent Ricquebourg, David Menga, David Durand, Bruno Marhic, LaurentDelahoche, Christophe. The Smart Home Concept: our immediate future. 2006. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [December, 2006]

[4] Li Jiang, Da-You Liu, Bo Yang. Smart Home Research. 2004. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [August, 2004]

[5] Khusvinde Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao, Xin Lu. A Zigbee-Based Home Automation System. 2008. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [November, 2008]

[6] Rohit Sharma, Kushagra Kumar, Shashank Vig. DTMF Based Remote Control System. 2006. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [December, 2006]

[7] ปรมาภรณ์ เนตรวิกรม. ส่งข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไร้สายผ่านอินเทอร์เน็ต. กรุงเทพฯ: เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็คทรอนิกส์, ธันวาคม 2549.

[8] P.Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, E. Sisini, A. Taroni. A Bluetooth-based Sensor Network with Web Interface. 2003. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [May, 2003]

[9] A. Ricci, I De Munari, V. Cascio, P. Ciampolini. Electrical Appliances Networking: An Ultra-Low Cost Solution Based on Power-Line Communication 2007. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [January, 2007]

[10] Mohsen Darianian, Martin Peter Michael. Smart Home Mobile RFID-based Internet-Of-Things System and Services. 2006. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [December, 2006]

[11] Yong-Seok Kim, Hee-Sun Kim, Chang-Goo Lee. The Development of USB Home Control Network System. 2004. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [December, 2004]

[12] Xu Huaiyu, Jiang Linying, Jin Song. Wireless-Lan Based Distributed Digital Lighting System for Digital Home. 2009. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [January, 2009]

[13] Wan-Ki Park, Chang-Sic Choi, Jinsoo Han, Intark Han. Design and Implementation of Zigbee based URC Applicable to Legacy Home Appliances. 2007. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [June, 2006]

[14] Yong Tae Park, Sthapit P., Jae-Young Pyun. Smart digital door lock for the home automation. 2009. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [January, 2009]

[15] Maoheng Sun, Qian Liu, Min Jiang. An Implementation of Remote Lighting Control System Based on Zigbee Technology and Soc Solution. 2008. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [July, 2008]

[16] Mario Collota, Giuseppina Nicolosi, Emanuele Toscano, Orazio Mirabella. A Zigbee-base network for home heating control. 2008. Available from: http://ieeexplore.ieee.org [November, 2008]

[17] ธงชัย พจน์เสถียร, ดนุชา ประเสริฐสม, วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. ระบบเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 สำหรับแสดงผลและบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 (EECON-33) ธันวาคม 2553.

[18] กวิน เลขานนท์. การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่ใช้ในอาคารที่ระดับความแม่นยำ 0.5 . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[19] Shahin Farahani. Zigbee Wireless Network and Transceivers. Elsevier, 2008

[20] Microchip Technology. AN1232 Microchip Zigbee-2006 Residential Stack Protocol [Online]. 2009. Available from: http://www.microchip.com [March, 2009]

[21] จตุชัย แพงจันทร์, อนุโชติ วุฒิพรพงษ์. เจาะระบบ Network 2nd Edition. นนทบุรี: อินโฟเพรส, 2551.

[22] Microchip Technology. AN833 Microchip TCP/IP Stack Protocol [Online]. 2008. Available from: http://www.microchip.com [August, 2008]

[23] Microchip Technology. dsPIC33FJXXXGPX06A/X08A/X10A 16-bit Digital Signal Controllers [Online]. 2009. Available from: http://www.microchip.com [March, 2009]

[24] Microchip Technology. PIC18F86J65 1-Mbit Flash microcontroller with Ethernet [Online]. 2007. Available from: http://www.microchip.com [January, 2007]

[25] Microchip Technology. MRF24J40MB 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4 RF Transceiver Module [Online]. 2009. Available from: www.microchip.com [October, 2009]

[26] Microchip Technology. MRF24J40MA 2.4 GHz IEEE Std. 802.15.4 RF Transceiver Module [Online]. 2009. Available from: www.microchip.com [August, 2009]

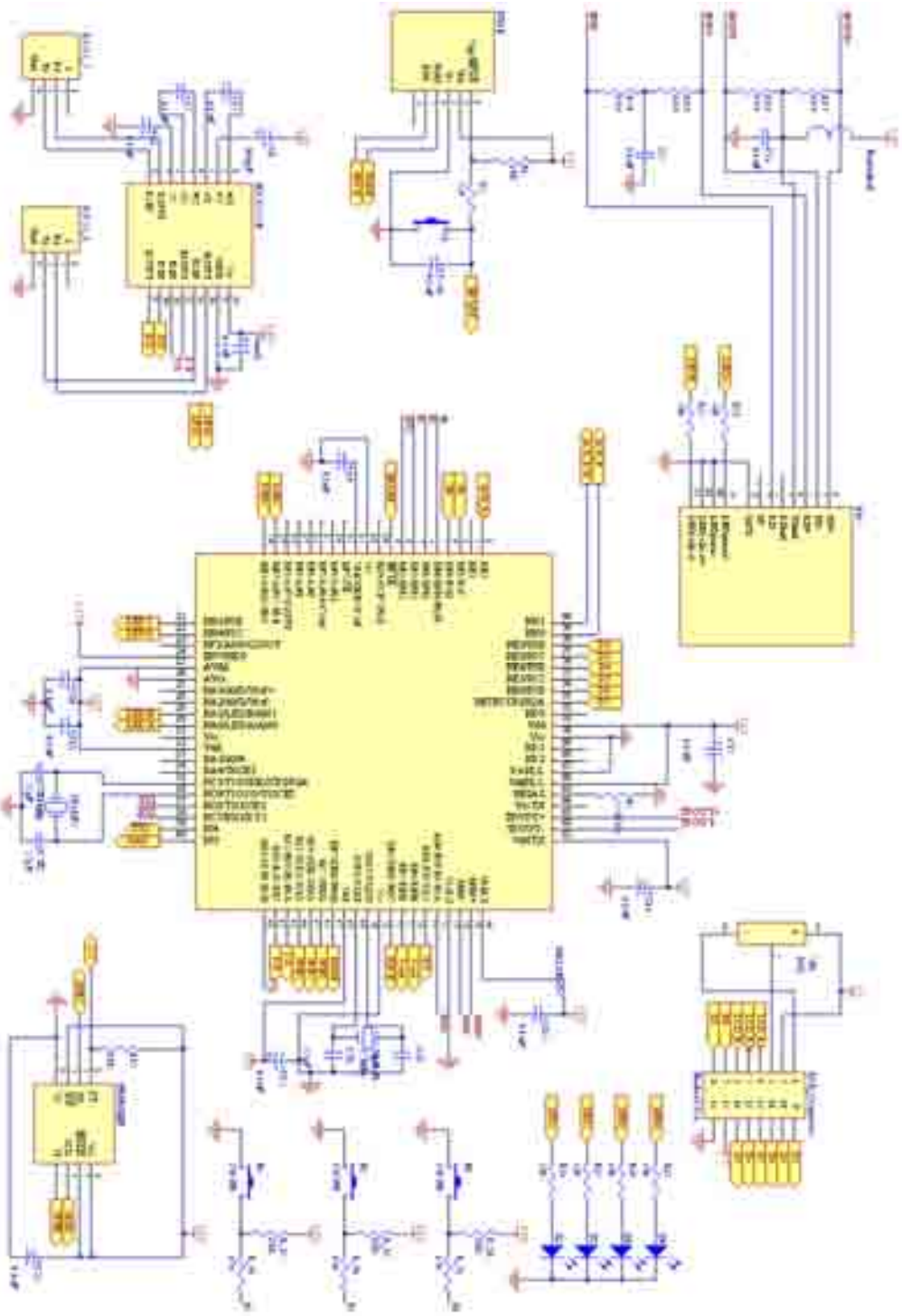
[27] กัมปนาท สุวรรนาวุธ . การพัฒนาระบบการอ่านมิเตอร์โดยอัตโนมัติผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาคผนวก

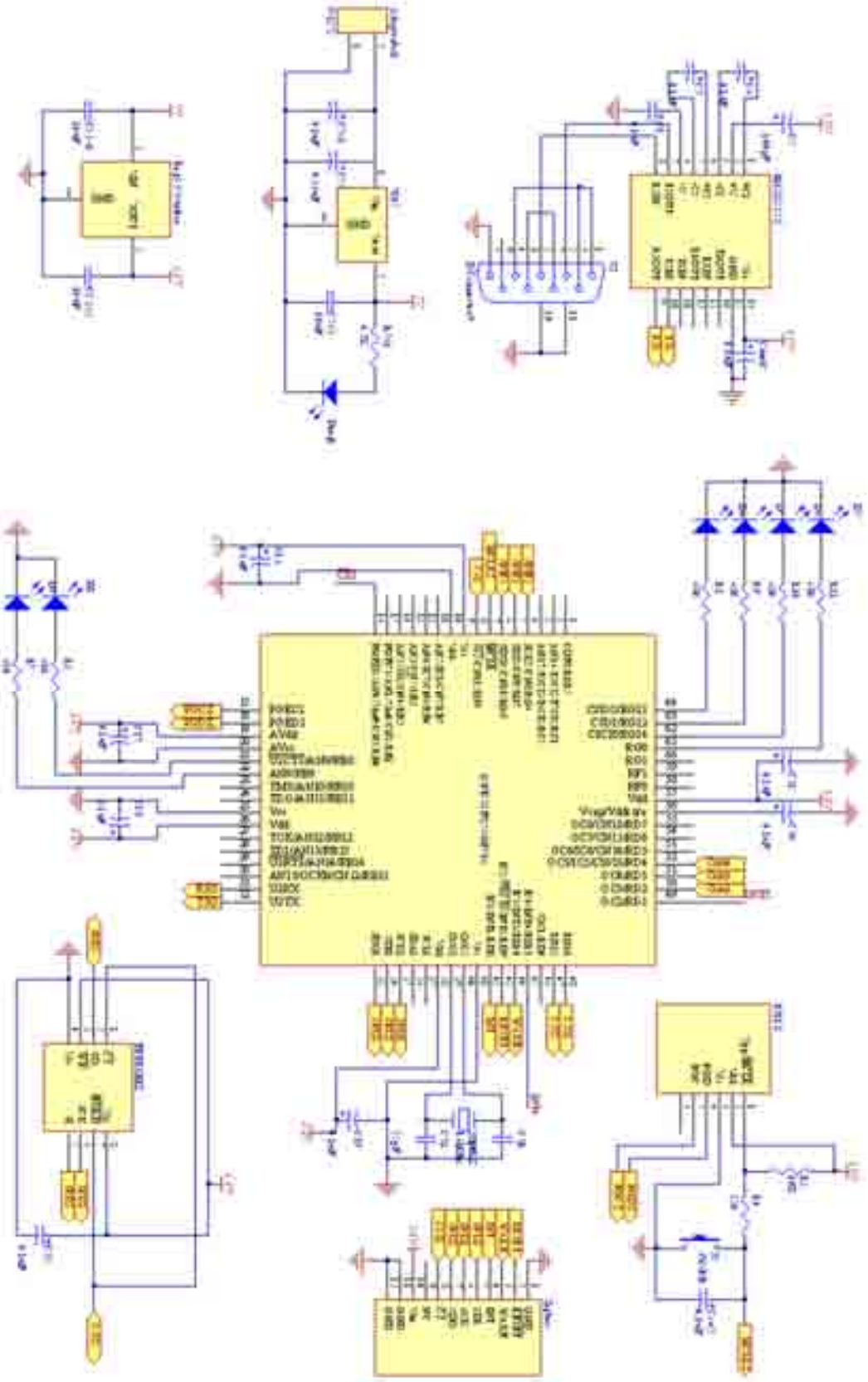
ภาคผนวก ก

แผนภาพ Schematic วงจรของอุปกรณ์ในงานวิจัย

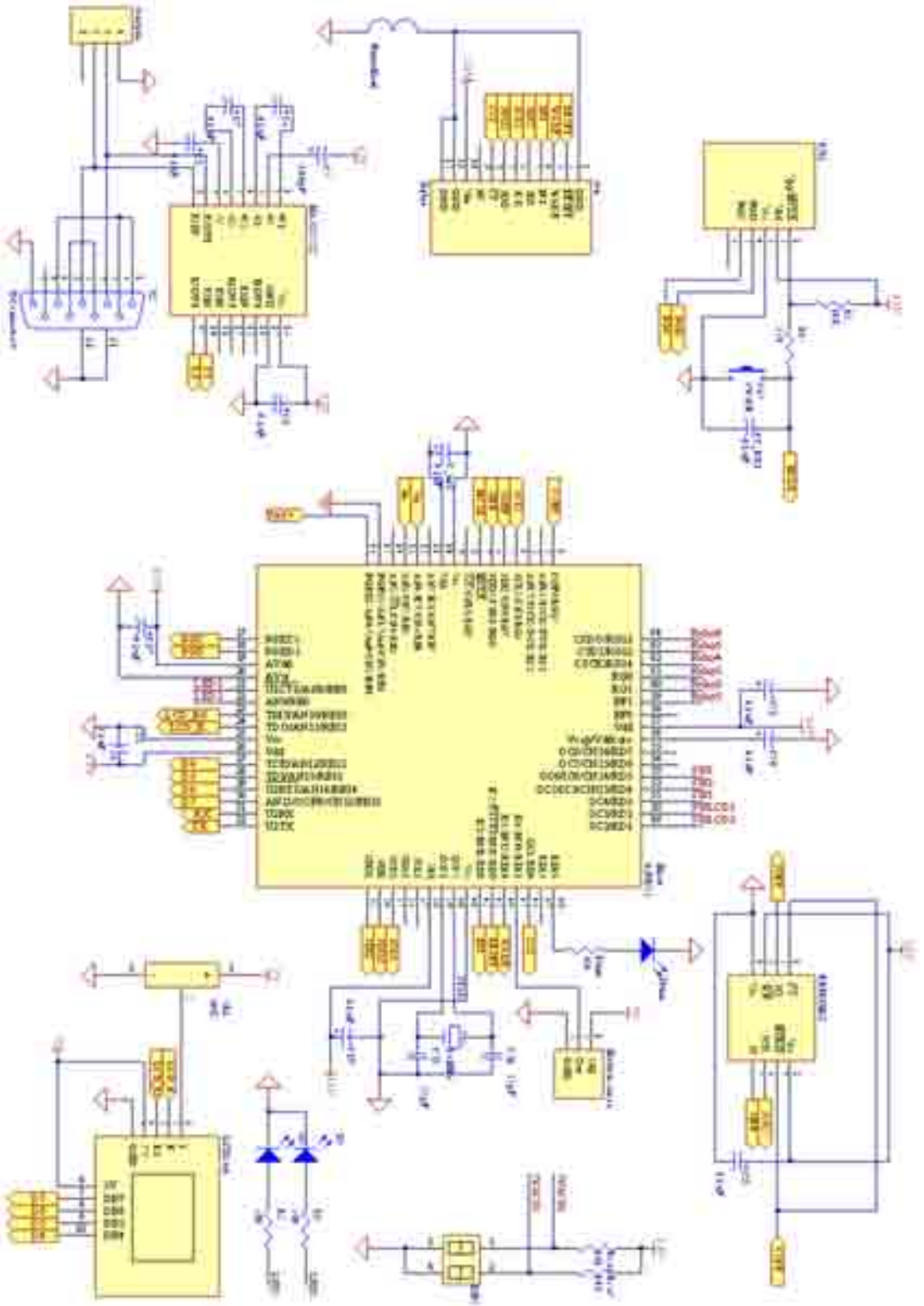
วงจรบอร์ดเกทเวย์ (ส่วนเว็บเซิร์ฟเวอร์)



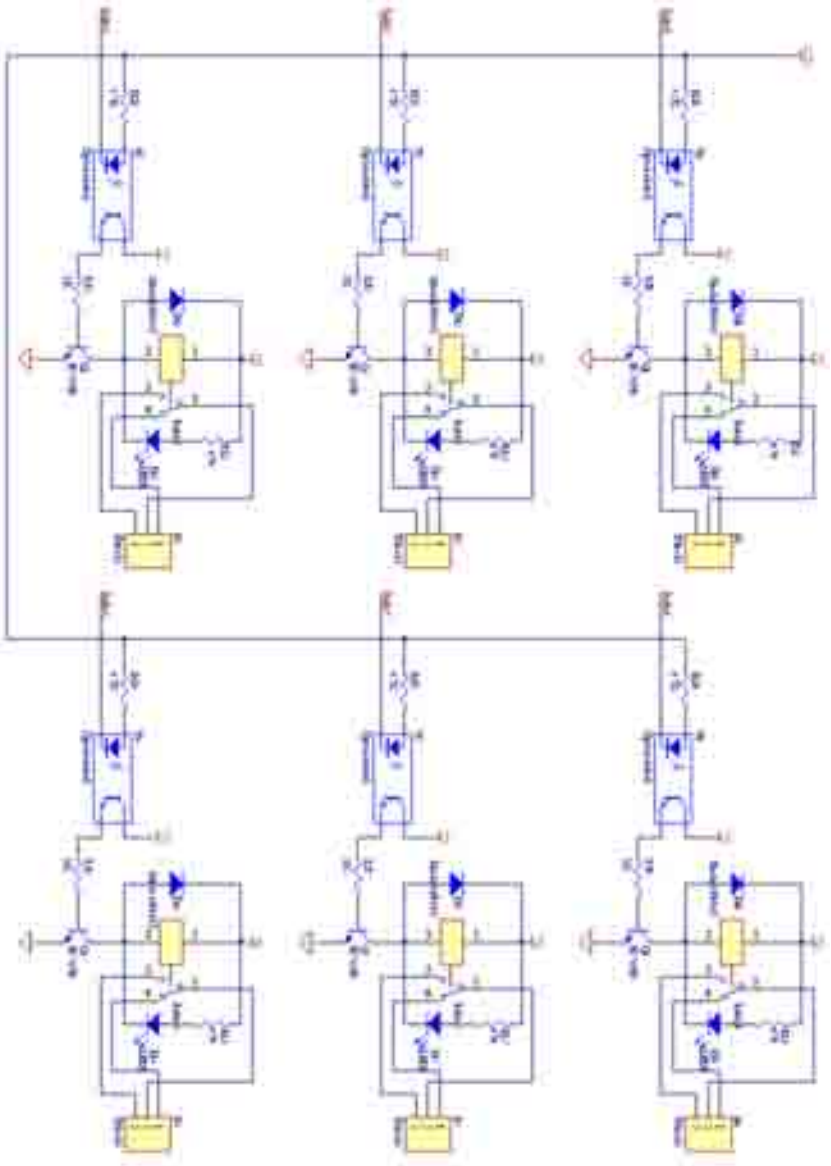
วงจรบอร์ดเกทเวย์ (ส่วน Zigbee coordinator และไฟเลี้ยง)

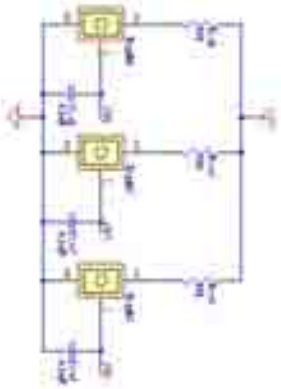


วงจรบอร์ดแผงปลั๊ก (ส่วนประมวลผลกลางและติดต่อสื่อสาร)

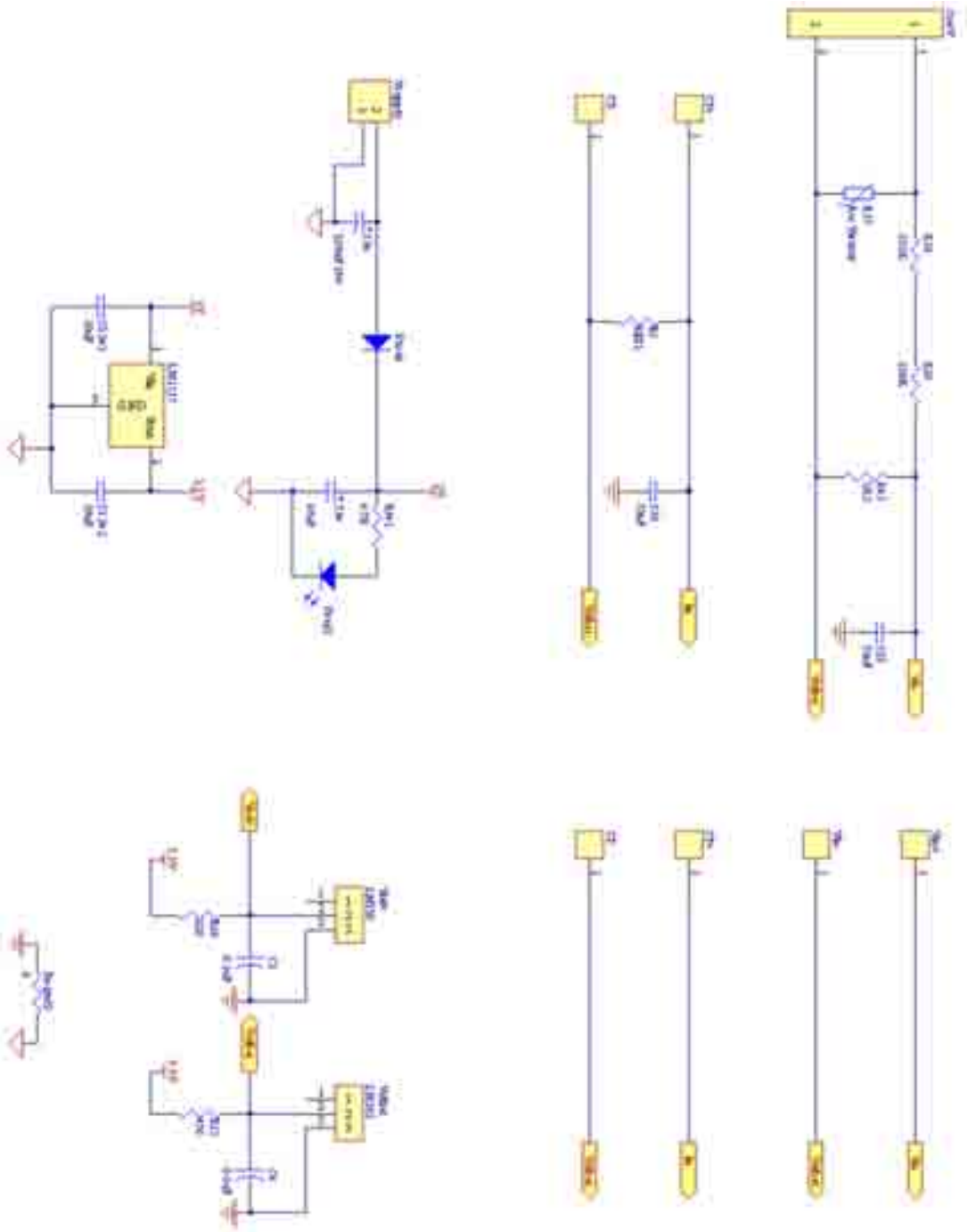


วงจรบอร์ดแผงปลั๊ก (ส่วนรีเลย์และสวิทช์)

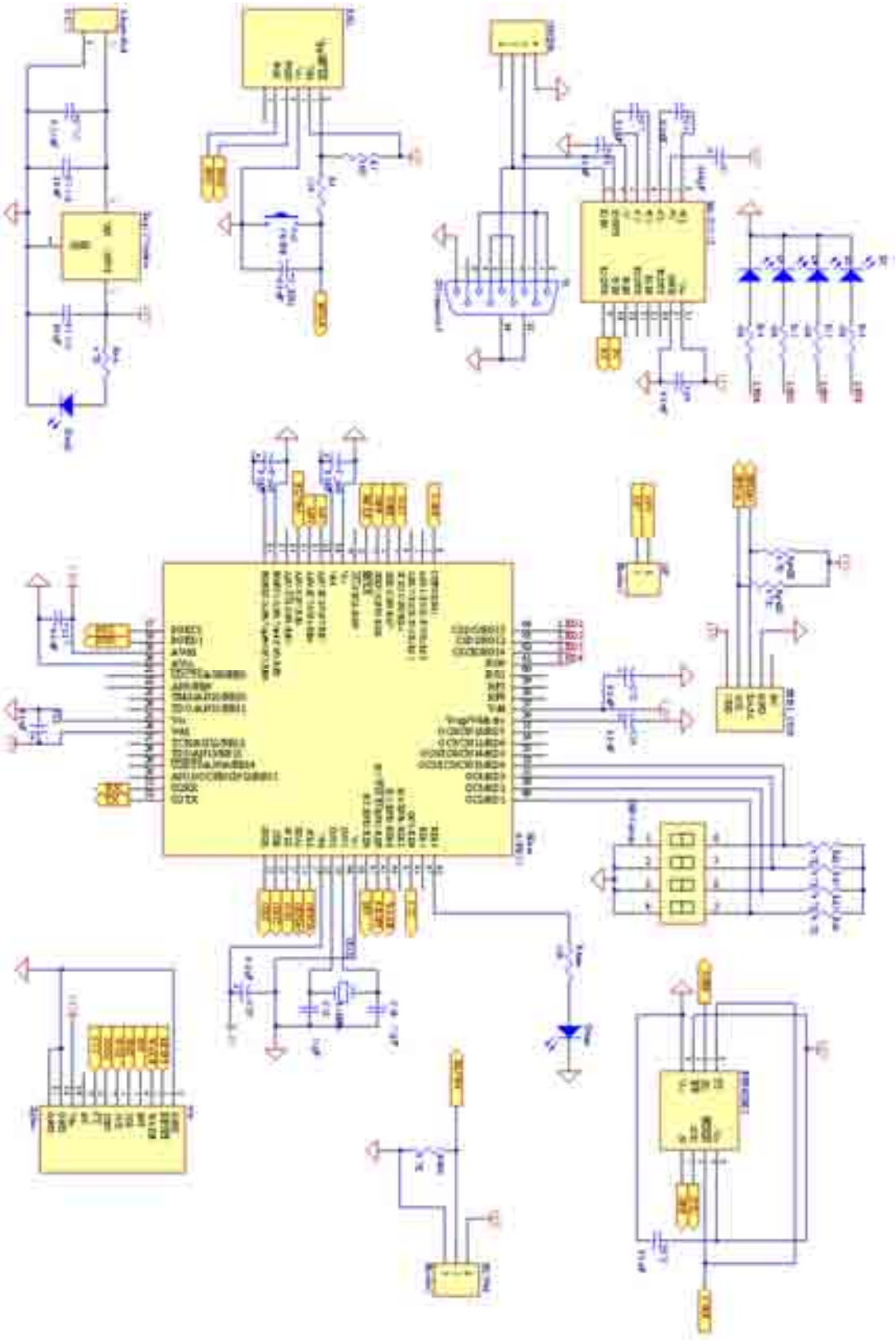




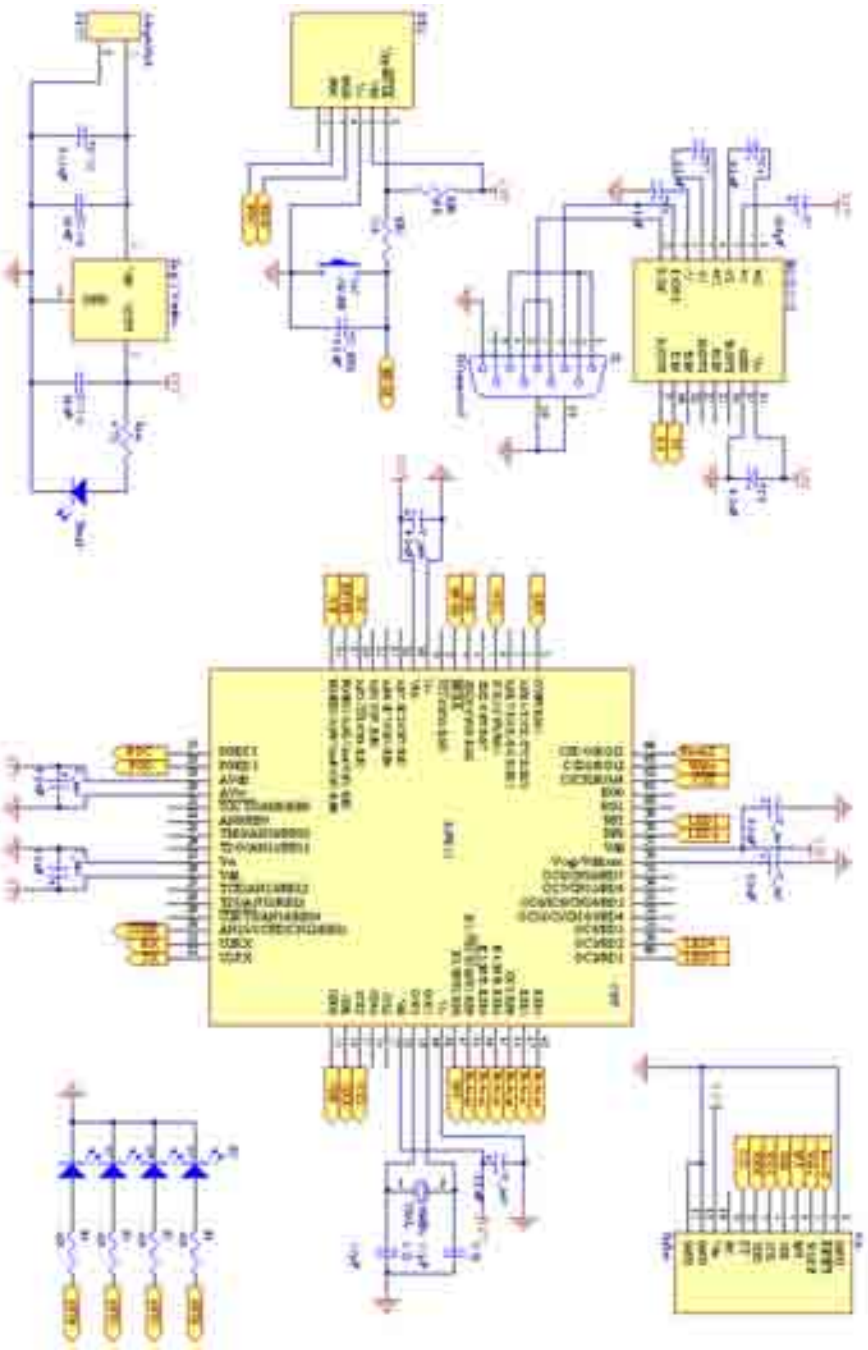
วงจรบอร์ดแผงปลั๊ก (ส่วนปรับสัญญาณไฟฟ้าและไฟเลี้ยง)



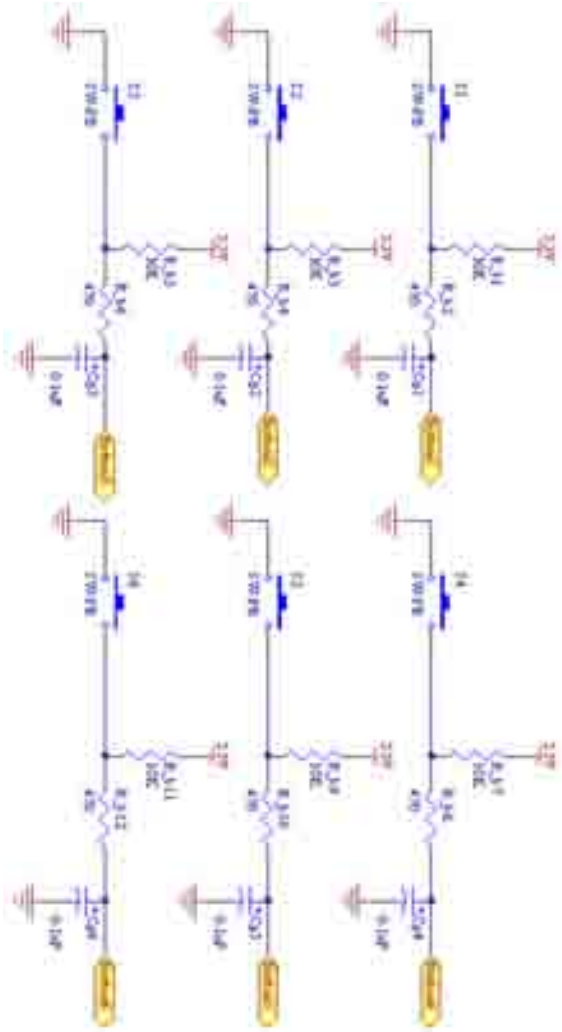
วงจรบอร์ดส่วนตรวจวัดย่อย



วงจรบอร์ดรีโมทควบคุม (ส่วนประมวลผลกลางและติดต่อสื่อสาร)



วงจรบอร์ดรีโมทควบคุม (ส่วนปุ่มกดและจอแอลซีดี)



ภาคผนวก ข

จดหมายตอบรับเข้าร่วมประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33

Dear Mr. Amornpong Kodwichean,

Congratulations !
Your paper code 0327 entitled

Development of Remote Monitoring and Control System for Home Automation using ZigBee Standard

has been accepted for presentation at the 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), which will be held at at Centara Duangtawan Hotel, Chiang Mai, Thailand, on December 1-3, 2010.

With this letter, we cordially invite you to attend EECON-33 to present your paper.

Reviewers' comments are listed at the end of this message.

To include your paper in the conference proceedings, you MUST strictly adhere to the following requirements:

1. At least one of the authors must register to attend the conference by September 24, 2010, which is the deadline for camera-ready submission.

Advance Registration Rate:

Regular registration 3,500 Baht

Student registration 2,000 Baht

On Site Registration Rate:

Regular registration 4,000 Baht

Student registration 2,500 Baht

You can perform online conference registration at http://www.publish-paper.com/eecon33/conferenceRegistration/register

After perform the online conference registration, you will given a "Registration- Code" which will be used to check your registration payment status.

2. A presenter's biography must be uploaded to the conference web by September 24, 2010. The presenter's biography form can be downloaded from the conference website at http://www.kmitl.ac.th/eecon33

3. Your paper may have been accepted with a condition that the paper must be revised according to the reviewer comments. Failing to do so may exclude your paper from the program and proceeding.

4. A final camera-ready copy of your revised paper in PDF format (NO MORE THAN 4 PAGES) must be resubmitted electronically (uploaded) for publication NO LATER THAN September 24, 2010. http://www.publish-paper.com/eecon33/

Please accept our thanks for submitting your paper to the conference.

We look forward to seeing you at EECON-33 on December 1-3, 2010.

With best regards,

EECON-33 TPC

Dr.Chai Chompoo-inwai, KMITL (Electrical Eng. Department)

Email: cchompooinwai@yahoo.com, kcchai@kmitl.ac.th, Phone: 081-9143844

Dr.Sommart Sang-Ngern, MUT (Telecommunication Eng. Department)

Email: sommart@mut.ac.th, Phone: 02-988-3655 EXT. 2331

Yossanai Sriutaisiriwong, CMU (Electrical Eng. Department)

Email: yossanai@chiangmai.ac.th, Phone: 0815685687

http://www.kmitl.ac.th/eecon33

http://www.eecon-thailand.org

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอมรพงศ์ โกฏวิเชียร เกิดเมื่อวันที่ ๑๓ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๒๒ ที่จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในปีการศึกษา ๒๕๔๓ ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา ๒๕๕๑