การพัฒนามอดูลดาลีสำหรับระบบส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์

นายรวิชญ์ ธีรวิโรจน์

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 DALI MODULES FOR FLUORESCENT LAMP LIGHTING SYSTEM

MR.RAWIT THIRAVIROJANA

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	การพัฒนามอดูลดาลีสำหรับระบบส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์
โดย	นายรวิชญ์ ธีรวิโรจน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี)

…… …….. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ประโมทย์ อุณหไวทยะ)

รวิชญ์ ธีรวิโรจน์ : การพัฒนามอดูลดาลีสำหรับระบบส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์. (DEVELOPMENT OF DALI MODULES FOR FLUORESCENT LAMP LIGHTING SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. เอกชัย ลีลารัศมี, 83 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบสำหรับควบคุมความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอลดาลี(DALI)ในการสื่อสาร ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ มอดูลประสานงานเครือข่าย มอดูลมาสเตอร์ และมอดูลสเลฟ มอดูลประสานงานเครือข่ายทำหน้าที่เป็นตัวกลางเพื่อรับคำสั่งจากผู้ใช้งานแล้วส่งไปให้มอดูลมาสเตอร์ผ่านทางมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ส่วนมอดูลมาสเตอร์จะคอยรับคำสั่งจากมอดูลประสานงานเครือข่ายเพื่อส่งไปควบคุมมอดูลสเลฟโดยใช้มาตรฐานดาลีในการติดต่อสื่อสาร มอดูลประสานงานเครือข่ายและมอดูลมาสเตอร์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ256GP506 เป็นตัวประมวลผล ขณะที่มอดูลสเลฟจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F67J60 การควบคุมสั่งการสามารถทำได้ผ่านทางโปรแกรมประสานกราฟฟิกผู้ใช้ (Graphic User Interface:GUI) ซึ่งสอดคล้องกับคำสั่งตามมาตรฐาน DALI ทั้งการควบคุมระดับการส่องสว่าง การตั้งค่าพารามิเตอร์การทำงานต่างๆ เป็นต้น นอกจากนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นยังสนับสนุนโหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถปรับระดับแสงสว่างภายในห้องโดยอัตโนมัติตามค่าปริมาณการส่องสว่าง และยังเปิด – ปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติตามสถานะคนภายในห้องอีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5170441021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: DALI/ZIGBEE

RAWIT THIRAVIROJANA : DEVELOPMENT OF DALI MODULES FOR FLUORESCENT LAMP LIGHTING SYSTEM ADVISOR : ASSOC.PROF. EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D., 83 pp.

This thesis presents the development of a lighting control system for fluorescent lamps based on DALI protocol.The developed system consists of 3 main parts, i.e. Zigbee coordinator module, master module and slave module.The Zigbee coordinator module functions as an agent for receiving the user commands and sending these commands to the master module through Zigbee/IEEE 802.15.4 protocol standard.Upon receiving the commands from Zigbee coordinator module, the master module sends them to control the slave module by using DALI protocol in communication.The controlling functions of Zigbee coordinator module and master module are implemented by dsPIC33FJ256GP506 microcontrollers, while the slave module uses the PIC18F67J60 microcontroller. A Graphic User Interface program is also developed to ease issuing DALI commands such as light control, parameter setting and etc. Moreover, the developed system supports a saving energy mode which can automatically adjust light intensity level in the room as well as automatically turning on and off the light depending on the human presence in the room.

Department: Electrical Engneering Student's Signature.....
Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature.....
Academic Year: 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ซึ่งได้ให้คำแนะนำและให้การสนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ ทั้งด้านวิชาการด้านสังคมและอื่นๆแก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัวเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือในทุกๆด้าน และคอยเป็นกำลังใจเมื่อเกิดความท้อแท้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์วงจรรวมทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำและความรู้สึกดีๆที่มีให้มาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1. แนวเหตุในการทำวิทยานิพนธ์.....1

1.2. วัตถุประสงค์ 5

1.3. ขอบเขตงานวิจัย.....5

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย 6

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....6

1.6. ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย 6

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 7

2.1. ระบบควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI.....7

2.1.1. ข้อกำหนดด้านการสื่อสาร.....7

2.1.2. รูปแบบการกำหนดแอดเดรส.....10

2.1.3. หลักการควบคุมระดับการส่องสว่าง.....11

2.1.4. ชุดคำสั่งของโปรโตคอล DALI 13

หน้า

2.1.5. โปรโตคอลไร้สายที่ใช้ในระบบ 16

2.2. โครงสร้างการทำงานของชุดโปรโตคอล Zigbee.....20

บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์ 23

3.1. รายละเอียดโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์ 24

3.2. รายละเอียดโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator) ...25

3.3. ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ.....25

3.3.1. ชิปประมวลผล 25

3.3.2. มอดูล Zigbee 28

3.3.3. อีอีพรอม 29

3.3.4. วงจรเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่าง 30

3.3.5. วงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว 31

3.3.6. ส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม 31

3.4. โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟ 32

3.5. ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของมอดูลสเลฟ 33

3.5.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ 33

3.5.2. ส่วนเชื่อมต่อกับอีอีพรอม 34

3.5.3. ส่วนเชื่อมต่อกับชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อก.....34

3.6. บอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI (DALI Interface Board) 35

3.7. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น.....36

บทที่ 4 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์ 38

4.1. รายละเอียดโครงสร้างซอฟต์แวร์ของมอดูลมาสเตอร์ 38

หน้า

4.1.1. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลมาสเตอร์.....39

4.1.2. โปรแกรมส่วนกรองคำสั่ง.....40

4.1.3. โปรแกรมควบคุมการส่งคำสั่ง.....40

4.1.4. โปรแกรมควบคุมการรับข้อมูล.....42

4.1.5. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์.....43

4.1.5.1. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง.....44

4.1.5.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับบุคคล.....45

4.2. รายละเอียดโครงสร้างซอฟต์แวร์ของมอดูลสเลฟ.....46

4.2.1. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลสเลฟ.....47

4.2.2. โปรแกรมกรองแอดเดรสและคำสั่ง.....47

4.2.3. โปรแกรมควบคุมการรับ-ส่งคำสั่ง.....49

4.2.4. โปรแกรมจัดการคำสั่ง DALI.....49

4.2.4.1. โปรแกรมจัดการคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง.....50

4.2.4.2. โปรแกรมจัดการคำสั่ง DALI Normal Command.....51

4.2.4.3. โปรแกรมจัดการคำสั่งพิเศษ.....53

4.3. โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์.....52

4.3.1. ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ.....52

4.3.2. ส่วนต่อประสานสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ.....53

4.3.2.1. ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการกลุ่มของมอดูลสเลฟ.....54

4.3.2.2. ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการซีนความสว่าง.....54

4.3.2.3. ส่วนต่อประสานสำหรับกำหนดค่าพารามีเตอร์ FADE 55

4.3.3. โปรแกรมส่วนจัดการแอดเดรสของมอดูลสเลฟ.....55

4.3.4. ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์.....57

หน้า

4.3.5. โปรแกรมในส่วนอื่นๆ.....57

บทที่ 5 ผลการทดลองและการทดสอบการทำงาน..... 60

5.1. การทดสอบระยะปฏิบัติการของการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Zigbee 60

5.2. ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่ายกับมอดูลมาสเตอร์..61

5.3. การทดสอบการเข้ารหัสคำสั่ง DALI.....64

5.4. การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น.....65

5.4.1. ผลการปรับเทียบกราฟ Logarithmic Dimming Curve.....66

5.4.2. การทดสอบการงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิก.....67

5.4.2.1. การทดสอบการค้นหามอดูลสเลฟในระบบ..... 67

5.4.2.2. การทดสอบควบคุมหลอดไฟรูปแบบต่างๆ.....68

5.4.3. การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์.....70

5.4.4. ผลการทดสอบการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆ 72

บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ..... 73

6.1. ข้อสรุป.....73

6.2. ข้อเสนอแนะ.....74

รายการอ้างอิง..... 75

ภาคผนวก(Appendix) รูปวงจรซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ 77

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 83

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ชนิดของแอดเดรสและวิธีการกำหนดแอดเดรสรูปแบบต่างๆ 10

ตารางที่ 2-2 แสดงค่า FADE RATE และ FADE TIME ที่ได้จากการคำนวณ..... 12

ตารางที่ 3-1 คำสั่งของโปรโตคอล DALI 14

ตารางที่ 4-1 คำสั่งที่เพิ่มขึ้นมานอกเหนือจากคำสั่ง DALI 43

ตารางที่ 4-2 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วในการปรับของคำสั่งต่างๆ..... 51

ตารางที่ 5-1 ค่า LQI เฉลี่ยของการสื่อสารระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่าย
และมอดูลมาสเตอร์เมื่อวัดที่ระยะทำการต่างๆ..... 61

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1-1 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบแอนาล็อก 2

ภาพที่ 1-2 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบ Digital Signal Interface (DSI) 2

ภาพที่ 1-3 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบ Digital Addressable Lighting Interface(DALI)..... 4

ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทั่วไปของระบบควบคุมแสงสว่างแบบ DALI[4]..... 7

ภาพที่ 2-2 ข้อกำหนดทางแรงดันและเวลาของสัญญาณ DALI 8

ภาพที่ 2-3 ลักษณะของบิตข้อมูลคำสั่งที่ถูกเข้ารหัส (a) เฟรมข้อมูลแบบไปข้างหน้า……
(Forward Frame) (b) เฟรมข้อมูลตอบกลับ (Backward Frame) (c)..... 9

ภาพที่ 2-4 ข้อกำหนดทางเวลาของการสื่อสารโดยใช้โปรโตคอล DALI..... 10

ภาพที่ 2-5 กราฟระหว่างเปอร์เซนต์การส่องสว่างของหลอดไฟกับระดับแสงสว่างแบบดิจิทัล . 11

ภาพที่ 2-6 ย่านการทำงานของโปรโตคอล Zigbee..... 17

ภาพที่ 2-7 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Star 19

ภาพที่ 2-8 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Cluster Tree 19

ภาพที่ 2-9 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Mesh 20

ภาพที่ 2-10 โครงสร้างของชุดโปรโตคอล Zigbee 21

ภาพที่ 2-11 ระดับย่อย Application Support Sub-Layer ดูแลจัดการข้อมูลภายในชั้น
Application layer 22

ภาพที่ 3-1 ระบบควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI ที่พัฒนาขึ้น..... 23

ภาพที่ 3-2 โครงสร้างภายในของมอดูลมาสเตอร์ 24

หน้า

ภาพที่ 3-3 โครงสร้างภายในของมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator) 25

ภาพที่ 3-4 รายละเอียดภายในของชิปประมวลผล dSPIC33FJ256GP506[8] 26

ภาพที่ 3-5 รายละเอียดการเชื่อมต่อชิปประมวลผลกับอุปกรณ์ภายนอก
มอดูลประสานงานเครือข่าย (a) มอดูลมาสเตอร์ (b) 28

ภาพที่ 3-6 รายละเอียดภายในของมอดูลรับส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ MRF24J40MA[7]..... 29

ภาพที่ 3-7 การเชื่อมต่อมอดูล MRF24J40MA กับชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 . 29

ภาพที่ 3-8 การเชื่อมต่อชิป dSPIC33FJ256GP506 กับหน่วยความจำอีอีพร็อม 30

ภาพที่ 3-9 วงจรเซ็นเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่าง..... 30

ภาพที่ 3-10 วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว 31

ภาพที่ 3-11 วงจรเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232..... 32

ภาพที่ 3-12 โครงสร้างภายของมอดูลสเลฟสำหรับควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสง 32

ภาพที่ 3-13 ผังการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก 33

ภาพที่ 3-14 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอีอีพรอม 34

ภาพที่ 3-15 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็น
แอนาล็อก 34

ภาพที่ 3-16 แผนผังการปรับระดับแรงดันระหว่าง DALI bus กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 35

ภาพที่ 3-17 วงจรภาคส่งของบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI 35

ภาพที่ 3-18 วงจรภาครับของบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI 36

ภาพที่ 3-19 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลประสานงานเครือข่ายที่สร้างขึ้น 36

ภาพที่ 3-20 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์ที่สร้างขึ้น 37

ภาพที่ 3-21 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟที่สร้างขึ้น..... 37

หน้า

ภาพที่ 4-1 แผนผังโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลมาสเตอร์ 38

ภาพที่ 4-2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนมอดูลมาสเตอร์..... 39

ภาพที่ 4-3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมส่วนกรองคำสั่ง..... 40

ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างของสัญญาณ DALI ที่ผ่านการเข้ารหัสแบบ Bi-Phase..... 40

ภาพที่ 4-5 แผนผังการเข้ารหัสคำสั่ง DALI 41

ภาพที่ 4-6 แผนผังการถอดรหัสข้อมูล DALI……...…43

ภาพที่ 4-7 วิธีการเปรียบเทียบค่าในบัฟฟเฟอร์เพื่อหาข้อมูลที่แท้จริง 42

ภาพที่ 4-8 แผนผังการควบคุมเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่างสำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟโดยอัตโนมัติ……...44

ภาพที่ 4-9 รูปแบบสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว..... 44

ภาพที่ 4-10 แผนผัง ASM สำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว 45

ภาพที่ 4-11 แผนผังโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลสเลฟ..... 46

ภาพที่ 4-12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนมอดูลสเลฟ 47

ภาพที่ 4-13 แผนผังโปรแกรมกรองแอดเดรสและคำสั่ง..... 48

ภาพที่ 4-14 แผนผังการจัดการคำสั่ง DALI ประเภทต่างๆ..... 49

ภาพที่ 4-15 แผนผังควบคุมการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ 50

ภาพที่ 4-16 แผนผังการแบ่งหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ของ DALI 51

ภาพที่ 4-17 ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ 52

ภาพที่ 4-18 ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการกลุ่มของมอดูลสเลฟ 53

ภาพที่ 4-19 ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการซีนความสว่างของมอดูลสเลฟ 54

หน้า

ภาพที่ 4-20 ส่วนต่อประสานสำหรับตั้งค่าความเร็วและอัตราเร็วในการปรับระดับการส่องสว่างของมอดูลสเลฟ 54

ภาพที่ 4-21 แผนภาพตัวอย่างการค้นหามอดูลสเลฟที่มีค่าเลขสุ่มน้อยที่สุด 56

ภาพที่ 4-22 ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ 57

ภาพที่ 4-23 ส่วนต่อประสานสำหรับการส่งคำสั่งแบบ Manual (a) ส่วนต่อประสานสำหรับเชื่อมต่อการทำงานของมอดูลประสานงานเครือข่าย (b) 58

ภาพที่ 5-1 แผนภาพการทดสอบการเข้าร่วมเครือข่าย Zigbee ของมอดูลมาสเตอร์ 60

ภาพที่ 5-2 แผนภาพการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Zigbee 61

ภาพที่ 5-3 สถานะการส่งคำสั่งของมอดูลประสานงานเครือข่าย (a) ข้อมูลที่มอดูลมาสเตอร์รับได้ (b) ข้อมูลที่มอดูลประสานงานเครือข่ายรับได้เมื่อมีการร้องขอข้อมูล (c) สถานะการส่งข้อมูลของมอดูลมาสเตอร์ (d) 63

ภาพที่ 5-4 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0011 0000 0000 64

ภาพที่ 5-5 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0111 0101 0000 64

ภาพที่ 5-6 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0001 0010 1010 65

ภาพที่ 5-7 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 1010 0101 0000 0000 65

ภาพที่ 5-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ (%) กับระดับความสว่างแบบดิจิทัลขนาด 8 บิตตามมาตรฐาน 66

ภาพที่ 5-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ (%) กับระดับความสว่างแบบดิจิทัลขนาด 8 บิตที่ได้จากการปรับเทียบ 66

ภาพที่ 5-10 กราฟฟิกการเชื่อมต่อการทำงานผ่านพอร์ตอนุกรม 67

ภาพที่ 5-11 กราฟฟิกการค้นหามอดูลสเลฟในระบบ 68

ภาพที่ 5-12 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบรายตัว 68

หน้า

ภาพที่ 5-13 กราฟฟิกการจัดการเพิ่ม-ถอนอุปกรณ์ลงกลุ่ม..... 69

ภาพที่ 5-14 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบกลุ่ม 69

ภาพที่ 5-15 กราฟฟิกการจัดการบันทึก-ลบ ซีนความสว่างของมอดูลสเลฟ 70

ภาพที่ 5-16 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบซีน..... 70

ภาพที่ 5-17 กราฟการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟแบบอัตโนมัติเมื่อแสงสว่างมีค่าน้อยเกินไป..... 71

ภาพที่ 5-18 กราฟการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟแบบอัตโนมัติเมื่อแสงสว่างมีค่ามากเกินไป..... 71

ภาพที่ 5-19 กราฟการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆ..... 72

บทที่ 1

บทนำ

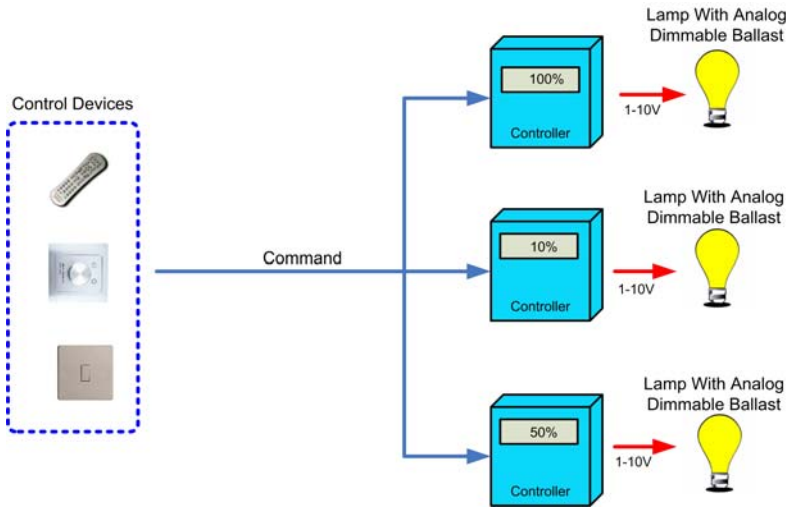
1.1. แนวเหตุในการทำวิทยานิพนธ์

เทคโนโลยีของระบบควบคุมแสงสว่างมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ในอดีตการควบคุมโดยมากจะเป็นในรูปแบบการใช้สวิตช์ในการเปิด-ปิดหลอดไฟเพียงอย่างเดียว ซึ่งการควบคุมดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่มีหลากหลายทั้งในด้านการประหยัดพลังงาน ความสะดวกสบายในการใช้งานและรูปแบบการควบคุมที่หลากหลาย จึงเกิดการพัฒนาระบบควบคุมอุปกรณ์แสงสว่างแบบต่างๆ ขึ้นหลากหลายวิธี ซึ่งมีทั้งรูปแบบการใช้สัญญาณแอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลในการควบคุม โดยการควบคุมแต่ละรูปแบบมีทั้งข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ทั้งสภาพแวดล้อมในการใช้งาน รูปแบบในการติดตั้ง และฟังชันก์ในการควบคุม

ระบบควบคุมแสงสว่างชนิดต่างๆมีดังต่อไปนี้

1. ระบบควบคุมแบบแอนาล็อก 1–10 โวลต์

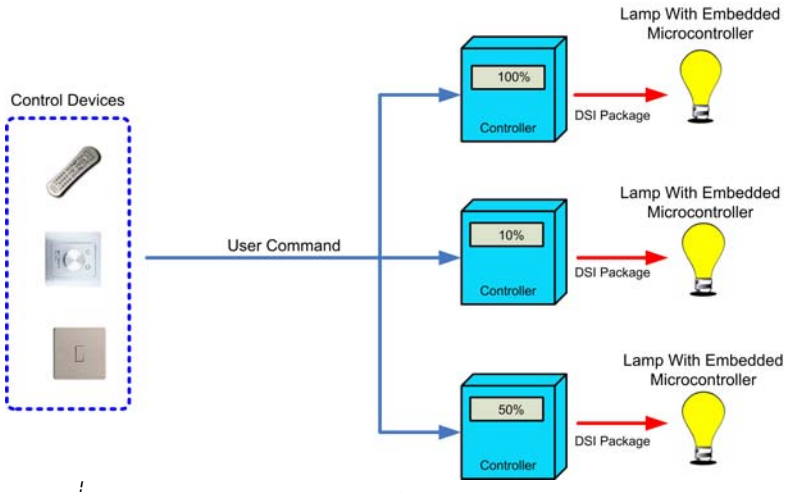
ระบบควบคุมแบบแอนาล็อก 1-10 โวลต์ [1] มีโครงสร้างทั่วไปดังภาพที่ 1-1 ตัวควบคุมจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งานซึ่งอาจอยู่ในรูปของ สวิตช์ปรับไฟ รีโมตคอนโทรล โดยตัวควบคุมรับคำสั่งจากผู้ใช้งานแล้วแปลงคำสั่งเป็นแรงดันไฟตรงสำหรับปรับระดับความสว่างของหลอดไฟ โดยระดับแรงดันที่ 1 โวลต์หมายถึงระดับความสว่างต่ำที่สุดคือ 0 เปอร์เซ็นต์ ระดับแรงดันที่ 10 โวลต์หมายถึงระดับความสว่างที่สูงที่สุดคือ 100% ข้อดีของระบบควบคุมแบบแอนาล็อก คือ ระบบมีความง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ระบบดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ ในการควบคุมหลอดไฟ 1 หลอดจะต้องใช้วงจรควบคุม 1 ตัว ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเมื่อระบบมีขนาดใหญ่ทั้งจำนวนอุปกรณ์ในการติดตั้งทั้ง จำนวนตัวควบคุม และสายไฟ อีกทั้งยังยากแก่การบำรุงรักษา นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังใช้แรงดันไฟตรงในการควบคุม ทำให้การบันทึกข้อมูลต่างๆลงในอุปกรณ์ซึ่งเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะในการควบคุม ทำได้ยากหรือไม่ได้เลย



ภาพที่ 1-1 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบแอนาล็อก

2. ระบบควบคุมแบบ Digital Signal Interface (DSI)

ระบบควบคุมแบบ DSI [2] เป็นระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Tridonic รูปแบบการทำงานของระบบ DSI จะเป็นแบบ Master-Slave ดังภาพที่ 1-2 ประกอบด้วยตัวมาสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดไฟ โดยมาสเตอร์จะคอยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบการสั่งการผ่านสวิตช์เปิด-ปิด สวิตช์ปรับไฟ รีโมตคอนโทรล เป็นต้น จากนั้นก็จะแปลงคำสั่งจากผู้ใช้งานเป็นแพ็กเก็ต DSI ส่งไปควบคุมความสว่างของหลอดไฟ ซึ่งแพ็กเก็ตดังกล่าวประกอบไปด้วย บิตเริ่มต้น 1 บิต ระดับความสว่างที่ต้องการปรับ 8 บิตซึ่งปรับได้ 256 ระดับ และบิตหยุด 2 บิต โดยมีความเร็วในการสื่อสาร 1200 บิตและถูกเข้ารหัสด้วยวิธีแมนเชสเตอร์



ภาพที่ 1-2 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบ Digital Signal Interface (DSI)

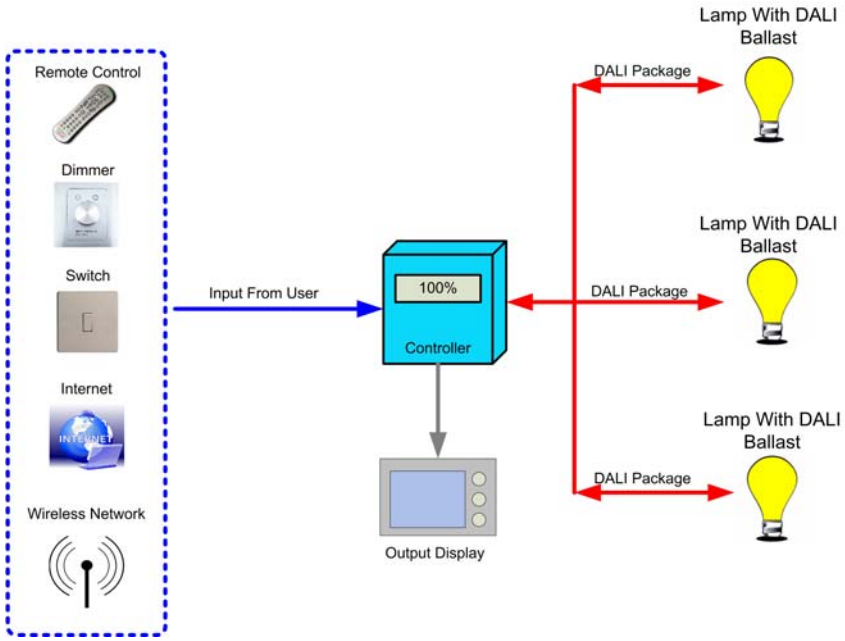
ข้อดีของระบบควบคุมแบบ DSI คือ เป็นระบบที่ง่ายต่อการพัฒนา ไม่ซับซ้อน และการติดตั้งอุปกรณ์ทำได้สะดวก ส่วนข้อจำกัดของระบบคือ การควบคุมจะเป็นแบบหนึ่งต่อหนึ่งเหมือนระบบควบคุมแบบแอนาล็อกทำให้ระบบมีความสิ้นเปลืองและซับซ้อนถ้าหลอดไฟมีจำนวนมาก และยังเป็นมาตรฐานที่มีเจ้าของ (Proprietary Standard) ทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำเอาระบบมาพัฒนา นอกจากนี้การควบคุมหลอดไฟยังทำได้เพียงแค่การปรับระดับความสว่างของหลอดไฟเพียงอย่างเดียวซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้งานในปัจจุบัน

3. ระบบควบคุมแบบ DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

โปรโตคอล DALI [3] เป็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาร่วมกันโดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ทางด้านแสงสว่าง เช่น Helvar, Philips, Osram, Tridonic, Trilux และ Vossloh-Schwabe เพื่อใช้เป็นมาตฐานเปิดสำหรับติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์แสงสว่าง โดยมีพื้นฐานมาจากโปรโตคอล DSI แต่ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการใช้งานให้ดีขึ้น ภาพที่ 1-3 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของระบบ DALI ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆอยู่ 2 ประเภทได้แก่ มอดูลมาสเตอร์และมอดูลสเลฟ มอดูลมาสเตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยจะเป็นอุปกรณ์ที่คอยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่างๆเช่น รีโมตคอนโทรล สวิตซ์หรี่ไฟ อินเตอร์เน็ต ระบบไร้สายต่างๆ คอมพิวเตอร์ หรือผ่านทางเซนเซอร์ตรวจจับรูปแบบต่างๆ แล้วเข้ารหัสคำสั่งที่ได้รับมาเป็นสัญญาณ DALI เพื่อควบคุมมอดูลสเลฟในระบบผ่านทาง DALI bus ขนาด 2 เส้น ซึ่งมอดูลสเลฟแต่ละตัวจะมีแอดเดรสเป็นของตนเอง ดังนั้นการควบคุมสั่งการจึงสามารถทำได้โดยอิสระบนบัสเดียวกัน นอกจากนี้ยังเพิ่มจำนวนคำสั่งในการใช้งานให้หลายหลายมากขึ้นมากกว่าระบบแบบแอนาล็อกและ DSI ซึ่งทำได้เพียงแค่ปรับระดับแสงสว่างเพียงอย่างเดียว และยังมีข้อดีอีกหลายประการซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของระบบซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

- การติดตั้งทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนเนื่องจากบัสมีขนาดเพียง 2 เส้น
- การควบคุมมอดูลสเลฟทำได้หลากหลายทั้งการควบคุมแบบรายตัว การควบคุมแบบกลุ่มและการควบคุมแบบกระจาย
- การกวนกันของสัญญาณมีค่าน้อยเนื่องจากรูปแบบการสื่อสารที่ง่าย
- สนับสนุนการตรวจสอบสถานะต่างๆของมอดูลสเลฟ เช่น ความผิดปกติของหลอดไฟ ซึ่งอาจมาจากสาเหตุ หลอดขาด หรือแหล่งจ่ายไฟหลักดับ
- สนับสนุนการค้นหามอดูลสเลฟในระบบโดยอัตโนมัติ
- สนับสนุนการควบคุมแบบซีน ซึ่งสามารถกำหนดให้มอดูลสเลฟปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟไปยังซีนต่างๆได้ 16 ซีน
- วิธีการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟมีลักษณะแบบลอการิทึม ซึ่งเหมาะสมกับความไวของสายตามนุษย์

- สามารถบันทึกค่าพารามีเตอร์และเรียกดูค่าพารามีเตอร์เพื่อใช้กำหนดรูปแบบในการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟได้ เช่น อัตราเร็วและเวลาในการปรับระดับการส่องสว่าง เป็นต้น
- รองรับหลอดไฟหลากหลายชนิด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไดโอดเปล่งแสง หลอดฮาโลเจน เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและการบำรุงรักษามีค่าต่ำ



ภาพที่ 1-3 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบ Digital Addressable Lighting Interface(DALI)

จากข้อดีของโปรโตคอล DALI เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแสงสว่างอื่นๆ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบสำหรับควบคุมความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยนำโปรโตคอล DALI มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากโปรโตคอลดังกล่าวเกิดจากการพัฒนาร่วมกันของบริษัทผู้ผลิตหลอดไฟเพื่อพัฒนาระบบควบคุมแสงสว่างให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ผู้พัฒนาจึงสามารถนำโปรโตคอล DALI มาพัฒนาเป็นชิ้นงานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังพัฒนาซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมสั่งการทำงานของระบบ โดยประยุกต์นำเอาเครือข่าย IEEE 802.5.4/Zigbee มาใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับมอดูลมาสเตอร์ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการติดตั้งและลดจำนวนในการเดินสายไฟ

1.2. วัตถุประสงค์

1. พัฒนามอดูลมาสเตอร์สำหรับควบคุมมอดูลสเลฟโดยใช้โปรโตคอล DALI ในการสื่อสาร

2. พัฒนามอดูลสเลฟสำหรับรับคำสั่งจากมอดูลมาสเตอร์ เพื่อควบคุมบัลลาสต์โดยสนับสนุนชุดคำสั่งตามโปรโตคอล DALI

3. พัฒนาเครือข่ายการสื่อสารตามมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 สำหรับสื่อสารระหว่างมอดูล กับ คอมพิวเตอร์ โดยผ่านคลื่นวิทยุย่าน 2.4 GHz

4. พัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบทั้งหมด

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

การทำวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับควบคุมระบบแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. มอดูลประสานงานเครือข่าย

1.1. เป็นตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และมอดูลมาสเตอร์ผ่านทางมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ในย่าน ความถี่ 2.4 GHz

2. มอดูลมาสเตอร์

2.1. ใช้สำหรับควบคุมการสื่อสารกับมอดูลสเลฟผ่านทางโปรโตคอล DALI

2.2. ติดต่อสื่อสารกับมอดูลประสานงานเครือข่ายผ่านทางมาตรฐาน Zigbee/IEEE 802.15.4 ในย่านความถี่ 2.4 GHz

2.3. สนับสนุนโหมดประหยัดพลังงานซึ่งสามารถปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟโดยอัตโนมัติตามค่าการส่องสว่างจากภายนอก และสั่งเปิด-ปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติตามสถานะคนภายในห้อง

3. มอดูลสเลฟ

3.1. สามารถปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟได้ตั้งแต่ 10-100 เปอร์เซ็นต์

3.2. สนับสนุนชุดคำสั่งตามมาตรฐาน DALI

4. ซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์

4.1. ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดโดยการควบคุมอ้างอิงตามมาตรฐาน DALI

4.2. สนับสนุนการค้นหามอดูลสเลฟโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Addressing Method)

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการของการควบคุมความสว่างของหลอดไฟ
2. ศึกษาระบบการควบคุมความสว่างของหลอดไฟแบบต่างๆ
3. ศึกษารายละเอียดของโปรโตคอล DALI และทดลองเขียนโปรแกรม
4. ศึกษารายละเอียดของโปรโตคอล Zigbee
5. ออกแบบฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์ และบอร์ดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และพัฒนาโปรแกรมของมอดูลต่างๆ
6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์
7. ออกแบบฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟและเขียนโปรแกรม
8. ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆอย่างละเอียด
9. รวบรวมผลการทดลอง สรุปผล และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบสำหรับควบคุมระบบแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอลDALI
2. ได้ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ
3. เป็นแนวทางสำหรับนำการประยุกต์ใช้ในระบบจัดการแสงสว่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

1.6. ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย

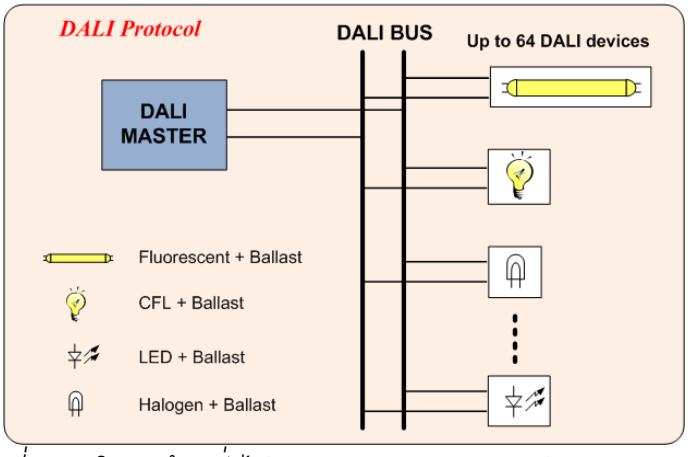
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งกล่าวถึงแนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต วิธีดำเนินการวิจัย รวมถึงประโยชน์ที่ได้รับ บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ พื้นฐานของโปรโตคอล DALI และการสื่อสารผ่านเครือข่าย Zigbee บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีการออกแบบและโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของระบบ บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดการทำงานในส่วนซอฟต์แวร์ของมอดูลต่างๆที่ได้ออกแบบขึ้น บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น ส่วนบทที่ 6 เป็นบทสุดท้ายจะกล่าวถึงข้อสรุปและข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำงานวิจัยชิ้นนี้

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. ระบบควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI

โครงสร้างทั่วไปของการสื่อสารโดยใช้โปรโตคอล DALI แสดงดังภาพที่ 2-1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด ได้แก่ มอดูลมาสเตอร์ และมอดูลสเลฟ มอดูลมาสเตอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานและควบคุมระบบทั้งหมด มอดูลมาสเตอร์จะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานแล้วเข้ารหัสคำสั่งเป็นสัญญาณ DALI เพื่อส่งไปควบคุมมอดูลสเลฟผ่านทางบัสขนาด 2 เส้น ส่วนมอดูลสเลฟจะคอยรับคำสั่งแล้วตรวจสอบแอดเดรสที่ส่งมาว่าตรงกับแอดเดรสของตัวเองหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะตรวจสอบชนิดของคำสั่งและปฏิบัติตามคำสั่งนั้น ถ้าไม่ใช่ก็จะไม่สนใจคำสั่งนั้น

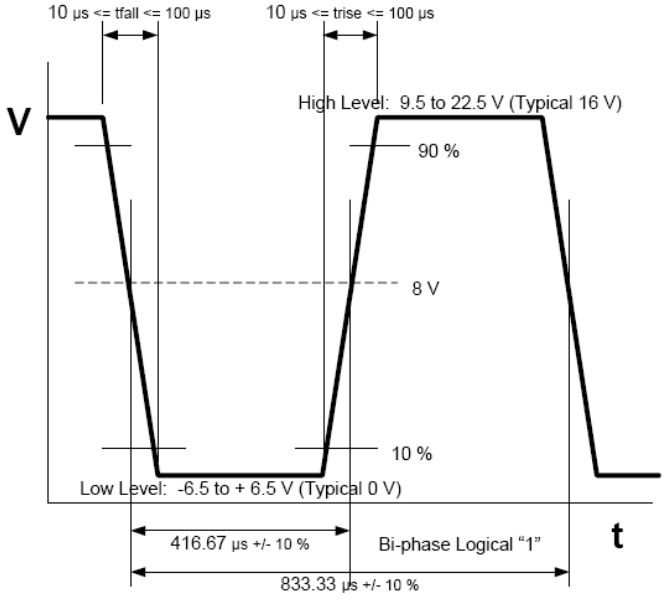


ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทั่วไปของระบบควบคุมแสงสว่างแบบ DALI[4]

มอดูลสเลฟสามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ควบคุมหลอดไฟได้หลายชนิด เช่น บัลลาสต์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ อุปกรณ์ขับหลอดไดโอดเปล่งแสง เป็นต้น ผู้ใช้งานสามารถควบคุมมอดูลสเลฟได้หลากหลายรูปแบบทั้งการควบคุมแบบอิสระ การควบคุมแบบกลุ่มโดยมอดูลสเลฟแต่ละตัวสามารถจัดเข้ากลุ่มได้สูงสุด 16 กลุ่ม และควบคุมมอดูลสเลฟทุกตัวในเวลาเดียวกัน

2.1.1. ข้อกำหนดด้านการสื่อสาร

การสื่อสารของโปรโตคอล DALI [5] จะใช้สายสัญญาณจำนวน 2 เส้นโดยจำกัดระยะทางไม่เกิน 300 เมตร ข้อมูลต่อบิตจะมีการเข้ารหัสแบบสองเฟส(Bi-Phase) แสดงดังภาพที่ 2-2 โดยข้อมูลลอจิกสูง(High Level) มีค่าระหว่าง 9.5 – 22.5 โวลต์ ส่วนลอจิกต่ำมีค่าอยู่ในช่วง -6.5 – 6.5 โวลต์ มีความเร็วในการสื่อสาร 1200 บิตต่อวินาที



ภาพที่ 2-2 ข้อกำหนดทางแรงดันและเวลาของสัญญาณ DALI

คำสั่งข้อมูลของโปรโตคอล DALI จะถูกส่งเป็นรูปแบบเฟรมโดยการสื่อสารระหว่างมอดูลมาสเตอร์กับมอดูลสเลฟแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่

1. เฟรมแบบไปข้างหน้า (Forward Frame) เป็นเฟรมที่ถูกส่งจากมอดูลมาสเตอร์ไปยังมอดูลสเลฟเพื่อสั่งการทำงานของมอดูลสเลฟนั้นๆ เฟรมดังกล่าวประกอบด้วย

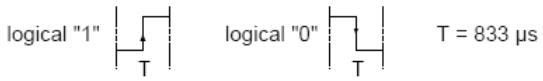
- บิตเริ่มต้น (Start Bit) เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของคำสั่ง มีขนาด 1 บิต
- บิตแอดเดรส (Address Bits) บรรจุแอดเดรสของมอดูลสเลฟที่ต้องการควบคุมมีขนาด 8 บิต
- บิตคำสั่ง (Command Bits) บรรจุคำสั่งของโปรโตคอล DALI มีขนาด 8 บิต
- บิตหยุด (Stop Bits) เพื่อใช่บ่งบอกถึงจุดสิ้นสุดของคำสั่ง มีขนาด 2 บิต

โดยที่บิตเริ่มต้นและบิตหยุดเป็นบิตที่ไม่ถูกเข้ารหัส ข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสจะเป็นข้อมูลส่วนแอดเดรสและคำสั่งเท่านั้น

2. เฟรมย้อนกลับ (Backward Frame) เป็นเฟรมที่ส่งจากมอดูลสเลฟไปยังมอดูลมาสเตอร์เพื่อส่งค่าข้อมูลหรือตอบสนองการทำคำสั่ง เฟรมดังกล่าวประกอบด้วย

- บิตเริ่มต้น (Start Bit) เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของข้อมูล มีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูล (Data bits) มีขนาด 8 บิต บรรจุข้อมูลหรือผลการทำคำสั่งของมอดูลสเลฟที่ต้องการส่งกลับไปยังมอดูลมาสเตอร์
- บิตหยุด (Stop Bits) เพื่อใช่บ่งบอกถึงจุดสิ้นสุดของข้อมูล มีขนาด 2 บิต

โดยที่บิตเริ่มต้นและบิตหยุด เป็นบิตที่ไม่ถูกเข้ารหัส ส่วนที่ถูกเข้ารหัสจะเป็นบิตข้อมูลเท่านั้น



a

b

c

ภาพที่ 2-3 ลักษณะของบิตข้อมูลคำสั่งที่ถูกเข้ารหัส (a) เฟรมข้อมูลแบบไปข้างหน้า (Forward Frame) (b) เฟรมข้อมูลตอบกลับ (Backward Frame) (c)

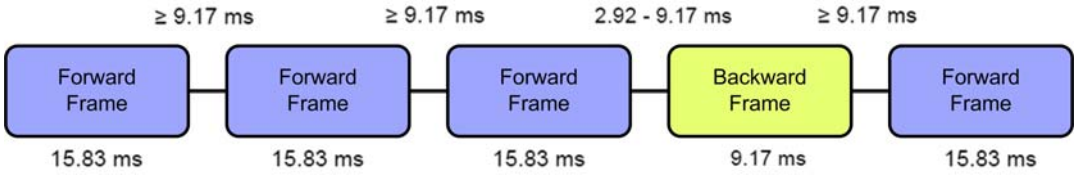
โปรโตคอล DALI กำหนดให้ความเร็วในการสื่อสารอยู่ที่ 1200 บิตต่อวินาที ดังนั้นข้อมูลแต่ละบิตจะมีคาบเวลาเท่ากับ $\frac{1}{1200}$ = 833.33 µs ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง Forward Frame จะใช้เวลาทั้งสิ้น 19 x 833.33us = 15.83 ms ส่วน Backward Frame จะใช้เวลาทั้งสิ้น 11x 833.33µs = 9.17ms

เนื่องจากความเร็วในการสื่อสารของโปรโตคอล DALI มีความเร็วที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้นโปรโตคอลจึงมีการกำหนดค่าเวลา setting time [5] ของมอดูลมาสเตอร์ สำหรับการรับ-ส่งคำสั่งขึ้นเพื่อความมีเสถียรภาพของการรับ-ส่งคำสั่ง แสดงดังภาพที่ 2-4 อธิบายได้ดังนี้

1. ค่าเวลา setting time ระหว่างการส่ง forward frame กับ forward frame ในรอบถัดไปต้องมีค่า setting time อย่างน้อย 9.17ms

2. ค่าเวลา setting time ระหว่าง forward frame กับ backward frame มีค่าระหว่าง 2.92-9.17ms หมายความว่า หลังจากมอดูลมาสเตอร์ส่ง forward frame ไปยังมอดูลสเลฟแล้ว มอดูลมาสเตอร์รอเป็นเวลา 9.17 ms ถ้าไม่มีข้อมูลตอบรับจากมอดูลสเลฟภายในช่วงเวลานี้ จะถือว่าไม่มีการตอบรับจากมอดูลสเลฟนั้น

3. ค่าเวลา setting time ระหว่าง backward frame กับ forward frame มีค่าอย่างน้อย 9.17 ms หมายความว่าหลังจากมอดูลมาสเตอร์ได้รับ backward frame จากมอดูลสเลฟแล้ว มอดูลมาสเตอร์ต้องรออีกอย่างน้อย 9.17 ms จึงจะสามารถส่งคำสั่งในครั้งต่อไปได้



ภาพที่ 2-4 ข้อกำหนดทางเวลาของการสื่อสารโดยใช้โปรโตคอล DALI

2.1.2. รูปแบบการกำหนดแอดเดรส

ในการควบคุมมอดูลสเลฟ ดังที่กล่าวไปแล้วว่าผู้ใช้งานสามารถควบคุมสั่งการมอดูลสเลฟได้ 3 รูปแบบ [5] ได้แก่ ควบคุมแบบรายตัวอิสระ ควบคุมแบบกลุ่ม และควบคุมแบบกระจาย ซึ่งจะต้องมีการกำหนดแอดเดรสให้ถูกต้องตามมาตรฐานจึงจะสามารถสั่งการควบคุมได้อย่างถูกต้องดังตารางที่ 2-1 ซึ่งแสดงวิธีการกำหนดแอดเดรสรูปแบบต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

- การกำหนดแอดเดรสแบบรายตัว (Short Address) การกำหนดแอดเดรสแบบรายตัว (Short Address) ทำได้โดยกำหนดบิตที่ 7 ของแอดเดรสเป็น 0 ส่วนบิต AAAAAA สามารถนำมากำหนด แอดเดรสแบบรายตัว (Short Address) สูงสุด 64 ตัว
- การกำหนดแอดเดรสแบบกลุ่ม(Group Address) ทำได้โดยกำหนดบิตที่ 7 ถึง 5 ของแอดเดรสเป็น 100 ส่วนบิต AAAA กำหนดเป็นแอดเดรสแบบกลุ่ม(Group Address) ได้สูงสุด 16 กลุ่มต่อมอดูลสเลฟ 1 ตัว
- การกำหนดแอดเดรสแบบกระจาย (Broadcast Address) ทำได้โดยกำหนดบิตที่ 7 ถึง1 ของแอดเดรสเป็น 1 ทั้งหมด
- คำสั่งพิเศษ (Special Command) ทำได้โดยกำหนดบิตที่ 7 ถึง 5 ของแอดเดรสเป็น 101 ส่วนบิต CCCC คือหมายเลขของคำสั่งพิเศษซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

ตารางที่ 2-1 ชนิดของแอดเดรสและวิธีการกำหนดแอดเดรสรูปแบบต่างๆ

Type of Addresses	Byte Description
Short Address	0AAAAAAS(AAAAAA = 0 to 63) (S = 0/1)
Group Address	100AAAAS(AAAA = 0 to 15) (S = 0/1)
Broadcast Address	1111111S (S = 0/1)
Special Command	101CCCC1 (C = Command Number)

ส่วนบิต S เป็นบิตที่ใช้บ่งบอกประเภทของคำสั่งที่ตามมา โดยถ้า S เป็น 1 คำสั่งที่ถูกส่งตามมาจะถูกตีความหมายเป็นคำสั่งมาตรฐานของโปรโตคอล DALI ถ้า S เป็น 0 คำสั่งจะถูกตีความหมายเป็นระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลที่ต้องการปรับซึ่งมีได้ 254 ระดับ โดยค่า FE คือระดับความสว่างสูงสุด (100%) 1 คือระดับความสว่างต่ำสุด (0.1%)

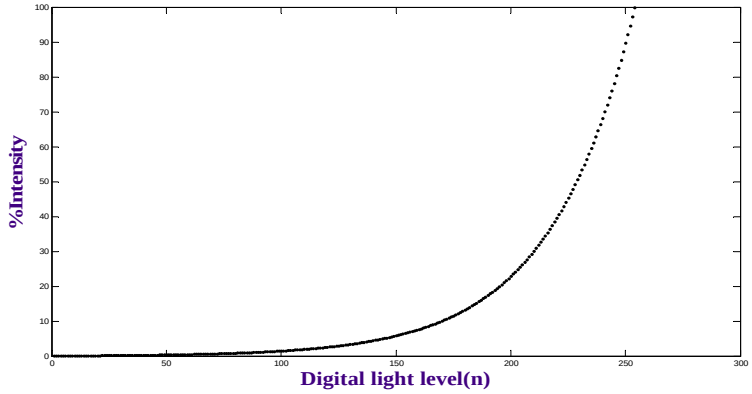
2.1.3. หลักการควบคุมระดับการส่องสว่าง

ในการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ [5] จะใช้สัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตในการควบคุมซึ่งสามารถปรับได้ 254 ระดับ โดยโปรโตคอลได้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสว่างแบบดิจิทัลกับเปอร์เซนต์การส่องสว่างของหลอดไฟ ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$I = 10^{\frac{n-1}{253/3}-1} \ \% \qquad (2.1)$$

โดยที่ I คือเปอร์เซนต์การส่องสว่างของหลอดไฟ n คือ ค่าระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1– 254 ส่วนกรณีที่ n = 0 หมายถึง ปิดไฟ และ n = 255 หมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับการส่องสว่าง

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องสว่างของหลอดไฟและระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลแสดงดังภาพที่ 2-5 โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบลอกาลิทึม ซึ่งเหมาะสมต่อความไว (Sensitivity) ของสายตามนุษย์ซึ่งจะไวต่อระดับการเปลี่ยนแปลงแสงสว่างในระดับที่ต่ำมากกว่าการเปลี่ยนแปลงระดับแสงสว่างที่ค่าสูงๆ



ภาพที่ 2-5 กราฟระหว่างเปอร์เซนต์การส่องสว่างของหลอดไฟกับระดับแสงสว่างแบบดิจิทัล

ในการปรับระดับการส่องสว่างจากระดับการส่องสว่างเริ่มต้นไปยังระดับการส่องสว่างที่ต้องการ เช่นจาก 0 เปอร์เซ็นต์ไปยังระดับการส่องสว่างที่ 100 เปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการปรับจะถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ FADE TIME (T) ซึ่งถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำของมอดูลสเลฟ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการปรับคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$T = \frac{1}{2}\sqrt{2^x} \ \text{วินาที} \qquad (2.2)$$

โดย x จำนวนเต็มขนาด 4 บิต มีค่าตั้งแต่ 1- 15 ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปรับ (FADE TIME) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 วินาที ถึง 1.5 นาที

ส่วนคำสั่งควบคุมระดับการส่องสว่างบางคำสั่ง เช่น คำสั่ง UP ซึ่งหมายถึงปรับระดับการส่องสว่างเพิ่มขึ้นเป็นเวลา 200 ms อัตราเร็วในการปรับจะถูกกำหนดโดยค่าพารามิเตอร์ FADE RATE (F) ซึ่งอัตราเร็วของการปรับสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3

$$F = \frac{256}{\sqrt{2^x}} \quad \text{ระดับ/วินาที} \tag{2.3}$$

โดย x คือจำนวนเต็มขนาด 4 บิต มีค่าตั้งแต่ 1- 15 โดยอัตราเร็วในการปรับ (FADE RATE) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 357.716 ระดับต่อวินาที ถึง 2.795 ระดับต่อวินาที

ตารางที่ 2-2 แสดงค่า FADE RATE และ FADE TIME ที่ได้จากการคำนวณ

X	FADE Time (sec)	FADE Rate(steps/sec)
0	<0.707	Not applicable
1	0.707	357.796
2	1.000	253.000
3	1.414	178.898
4	2.000	126.500
5	2.828	89.449
6	4.000	63.250
7	5.657	44.725
8	8.000	31.625
9	11.314	22.362
10	16.000	15.813
11	22.627	11.181
12	32.000	7.906
13	42.255	5.591
14	64.000	3.953
15	90.510	2.795

2.1.4. ชุดคำสั่งของโปรโตคอล DALI

ชุดคำสั่งของโปรโตคอล DALI [5] มีขนาด 8 บิต สามารถขยายเป็น 16 บิตสำหรับคำสั่งพิเศษ (Special Command) ดังแสดงในตารางที่ 2-3 ปัจจุบันโปรโตคอล DALI สนับสนุนคำสั่งมากกว่า 200 คำสั่ง ซึ่งแบ่งออกได้ 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. ชุดคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง (Direct Arc Power Control) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟซึ่งมีขนาด 8 บิต สามารถปรับระดับการส่องสว่างสว่างได้ 254 ระดับโดยใช้สมการ 2.1

2. ชุดคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างทางอ้อม (Indirect Arc Power Control) เป็นชุดคำสั่งสำหรับปรับรูปแบบการส่องสว่างของหลอดไฟ ตัวอย่างของคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างทางอ้อม ได้แก่

- คำสั่ง UP หมายถึง ปรับระดับการส่องสว่างขึ้นเป็นเวลา 200 ms โดยมีอัตราเร็วการปรับตามค่าพารามิเตอร์ FADE RATE
- คำสั่ง DOWN หมายถึง ลดระดับการส่องสว่างลงเป็นเวลา 200 ms โดยมีอัตราเร็วการปรับขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ FADE RATE
- คำสั่ง RECALL MAX LEVEL หมายถึงปรับระดับการส่องสว่างไปที่ค่าระดับการส่องสว่างสูงสุดซึ่งถูกกำหนดไว้ในค่าพารามิเตอร์ MAX LEVEL

3. ชุดคำสั่งตั้งค่า (Configuration Command) เป็นชุดคำสั่งสำหรับแก้ไข และบันทึกค่าพารามิเตอร์ของ DALI ตัวอย่างของชุดคำสั่งตั้งค่า ได้แก่

- คำสั่ง ADD TO GROUP เป็นคำสั่งสำหรับเพิ่มมอดูลสเลฟลงในกลุ่มที่กำหนด
- คำสั่ง STORE THE DTR AS FADE TIME เป็นคำสั่งสำหรับบันทึกค่าของ DTR(Data Transfer Register) ลงในพารามิเตอร์ FADE TIME
- คำสั่ง STORE THE DTR AS FADE RATE เป็นคำสั่งสำหรับนำค่าข้อมูลในรีจิสเตอร์ DTR(Data Transfer Register) บันทึกลงในพารามิเตอร์ FADE RATE
- คำสั่ง STORE THE DTR AS MAX LEVEL เป็นคำสั่งสำหรับบันทึกค่าของ DTR(Data Transfer Register) ลงในพารามิเตอร์ MAX LEVEL

4. ชุดคำสั่งเรียกดูค่าพารามิเตอร์ (Query Command) เป็นชุดคำสั่งสำหรับเรียกดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆของโปรโตคอล DALI

5. ชุดคำสั่งพิเศษ (Special Comand) เป็นชุดคำสั่งสำหรับกระบวนการเริ่มต้นระบบ เช่น การ จัดเตรียม Short Address ให้กับมอดูลสเลฟ การบันทึกข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ DTR ของมอดูลสเลฟ

ตารางที่ 2-3 คำสั่งของโปรโตคอล DALI

NO.	Command Code	Repeat <100ms	Answer Slave	Command Name
-	YAAA AAA0 xxxx xxxx	NO	NO	DIRECT ARC POWER CONTROL xxxx xxxx = Digital Light Level(0-254)
0	YAAA AAAA1 0000 0000	NO	NO	OFF
1	YAAA AAAA1 0000 0001	NO	NO	UP
2	YAAA AAAA1 0000 0010	NO	NO	DOWN
3	YAAA AAAA1 0000 0011	NO	NO	STEP UP
4	YAAA AAAA1 0000 0100	NO	NO	STEP DOWN
5	YAAA AAAA1 0000 0101	NO	NO	RECALL MAX LEVEL
6	YAAA AAAA1 0000 0110	NO	NO	RECALL MIN LEVEL
7	YAAA AAAA1 0000 0111	NO	NO	STEP DOWN AND OFF
8	YAAA AAAA1 0000 1000	NO	NO	ON AND STEP UP
9-15	YAAA AAAA1 0000 xxxx	-	-	RESERVED
16-31	YAAA AAAA1 0001 xxxx	NO	NO	GO TO SCENE
32	YAAA AAAA1 0010 0000	YES	NO	RESET
33	YAAA AAAA1 0010 0001	YES	NO	STORE THE ACTUAL LEVEL IN DTR
34-41	YAAA AAAA1 0010 xxxx	-	-	RESERVED
42	YAAA AAAA1 0010 1010	YES	NO	STORE THE DTR AS MAX LEVEL
43	YAAA AAAA1 0010 1011	YES	NO	STORE THE DTR AS MIN LEVEL
44	YAAA AAAA1 0010 1100	YES	NO	STORE THE DTR AS SYSTEM FAILURE LEVEL
45	YAAA AAAA1 0010 1101	YES	NO	STORETHE DTR AS POWERONLEVEL
46	YAAA AAAA1 0010 1110	YES	NO	STORE THE DTR AS FADE TIME
47	YAAA AAAA1 0010 1111	YES	NO	STORE THE DTR AS FADE RATE
48-63	YAAA AAAA1 0011 xxxx	-	-	RESERVED
64-79	YAAA AAAA1 0100 xxxx	YES	NO	STORE THE DTR AS SCENE
80-95	YAAA AAAA1 0101 xxxx	YES	NO	REMOVE FROM SCENE
96-111	YAAA AAAA1 0110 xxxx	YES	NO	ADD TO GROUP
112-127	YAAA AAAA1 0111 xxxx	YES	NO	REMOVE FROM GROUP
128	YAAA AAAA1 1000 0000	YES	NO	STORE THE DTR AS SHORT ADDRESS
129-143	YAAA AAAA1 1000 xxxx	-	-	RESERVED
144	YAAA AAAA1 1001 0000	NO	YES	QUERY STATUS

ตารางที่ 2 -3 คำสั่งของโปรโตคอล DALI(ต่อ)

NO.	Command Code	Repeat <100ms	Answer Slave	Command Name
145	YAAA AAAA1 1001 0001	NO	YES	QUERY BALLAST
146	YAAA AAAA1 1001 0010	NO	YES	QUERY LAMP FAILURE
147	YAAA AAAA1 1001 0011	NO	YES	QUERY LAMP POWER ON
148	YAAA AAAA1 1001 0100	NO	YES	QUERY LIMIT ERROR
149	YAAA AAAA1 1001 0101	NO	YES	QUERY RESET STATE
150	YAAA AAAA1 1001 0110	NO	YES	QUERY MISSING SHORT ADDRESS
151	YAAA AAAA1 1001 0111	NO	YES	QUERY VERSION NUMBER
152	YAAA AAAA1 1001 0110	NO	YES	QUERY MISSING SHORT ADDRESS
153	YAAA AAAA1 1001 1001	NO	YES	QUERY DEVICE TYPE
154	YAAA AAAA1 1001 1010	NO	YES	QUERY PHYSICAL MIN LEVEL
155	YAAA AAAA1 1001 1011	NO	YES	QUERY POWER FAILURE
156-159	YAAA AAAA1 1001 11XX	-	-	RESERVED
160	YAAA AAAA1 1010 0000	NO	YES	QUERY ACTUAL LEVEL
161	YAAA AAAA1 1010 0001	NO	YES	QUERY MAX LEVEL
162	YAAA AAAA1 1010 0010	NO	YES	QUERY MIN LEVEL
163	YAAA AAAA1 1010 0011	NO	YES	QUERY POWER ON LEVEL
164	YAAA AAAA1 1010 0100	NO	YES	QUERY SYSTEM FAILURE LEVEL
165	YAAA AAAA1 1010 0101	NO	YES	QUERY FADE TIME/FADE RATE
166-175	YAAA AAAA1 1010 xxxx	-	-	RESERVED
176-191	YAAA AAAA1 1011 xxxx	NO	YES	QUERY SCENE LEVEL (SCENE 0 -15)
192	YAAA AAAA1 1100 0000	NO	YES	QUERY GROUP 0 - 7
193	YAAA AAAA1 1100 0001	NO	YES	QUERY GROUP 8 - 15
194	YAAA AAAA1 1100 0010	NO	YES	QUERY RANDOM ADDRESS (H)
195	YAAA AAAA1 1100 0011	NO	YES	QUERY RANDOM ADDRESS (M)
196	YAAA AAAA1 1100 0100	NO	YES	QUERY RANDOM ADDRESS (L)
197-223	YAAA AAAA1 110x xxxx	-	-	RESERVED
224-255	YAAA AAAA1 111x xxxx	-	-	APPLICATION EXTENDED COMMANDS
256	1010 0001 0000 0000	NO	NO	TERMINATE
257	1010 0011 xxxx xxxx	NO	NO	DATA TRANSFER REGISTER
258	1010 0101 xxxx xxxx	YES	NO	INITIALISE
259	1010 0111 0000 0000	YES	NO	RANDOMISE

ตารางที่ 2 -3 คำสั่งของโปรโตคอล DALI (ต่อ)

NO.	Command Code	Repeat <100ms	Answer Slave	Command Name
260	1010 1001 0000 0000	NO	YES	COMPARE
261	1010 1011 0000 0000	NO	NO	WITHDRAWN
262	1010 1101 0000 0000	-	-	RESERVED
263	1010 1111 0000 0000	-	-	RESERVED
264	1011 0001 HHHH HHHH	NO	NO	SEARCHADDRH
265	10110011 MMMMMMMM	NO	NO	SEARCHADDRM
266	1011 0101 LLLL LLLL	NO	NO	SEARCHADDRL
267	1011 0111 0AAA AAA1	NO	NO	PROGRAM SHORT ADDRESS
268	1011 1001 0AAA AAA1	NO	YES	VERIFY SHORT ADDRESS
269	1011 1011 0000 0000	NO	YES	QUERY SHORT ADDRESS
270	1011 1101 0000 0000	NO	NO	PHYSICAL SELECTION
271	1011 1111 xxxx xxxx	-	-	RESERVED
272	1100 0001 xxxx xxxx	NO	NO	ENABLE DEVICE TYPE X
273-287	110x xxx1 xxxx xxxx	-	-	RESERVED

Address byte:

0AAAAAAS = Short Address

100AAAAS = Group Address

1111111S = Broadcast Address

S = Selector bit S = “0” Direct arc power level following

S= “1” Command following

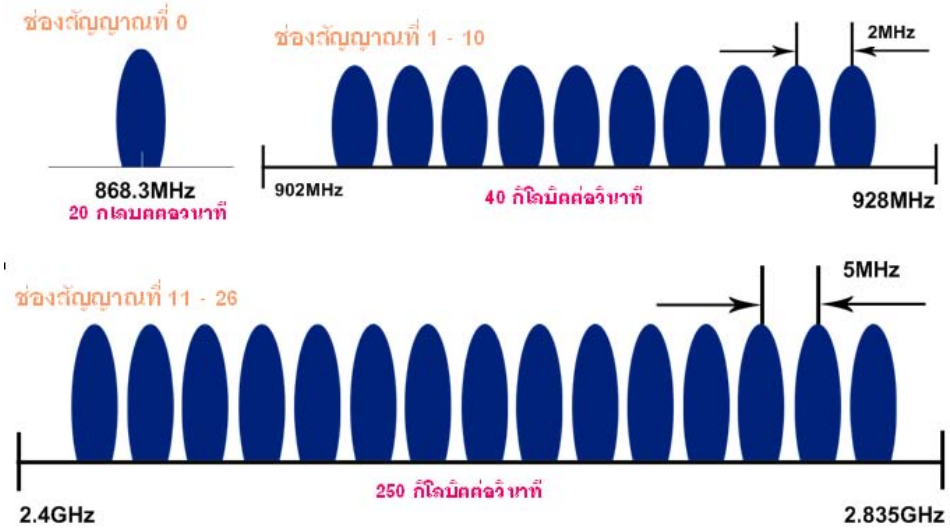
2.1.5. โปรโตคอลไร้สายที่ใช้ในระบบ

ระบบควบคุมแสงสว่างที่ออกแบบขึ้น ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระบบผ่านทางซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยตัวกลางการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับมอดูลมาสเตอร์จะเป็นระบบแบบไร้สาย โดยในงานวิจัยได้เลือกใช้โปรโตคอล Zigbee เป็นโปรโตคอลในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับมอดูลมาสเตอร์ โดยโปรโตคอล Zigbee ที่อยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 [6] เป็นโปรโตคอลในการสื่อสารทางคลื่นวิทยุย่าน ISM (Industrial Scientific and Medical Bands) โดยทางโปรโตคอล Zigbee ได้นำเอามาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาใช้งาน 2 ชั้น ได้แก่ชั้น PHY (physical layer) และชั้น MAC (medium access control layer) ส่วน

ในชั้นถัดมาถูกพัฒนาโดย บริษัท Zigbee Alliance ซึ่งเป็นการพัฒนาเกี่ยวกับ การจัดเตรียมฟังชันก์การสื่อสาร โครงสร้างเครือข่าย เส้นทางการส่งข้อมูล การรักษาความปลอดภัย เป็นต้น

การพัฒนาโปรโตคอล Zigbee มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างระบบการควบคุมแบบไร้สาย ที่มีต้นทุนต่ำ ประหยัดพลังงาน ใช้ย่านความถี่วิทยุสาธารณะ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและการขยายระบบไม่ยุ่งยาก ซึ่งโปรโตคอล Zigbee เหมาะแก่การนำมาใช้งานกับระบบที่ไม่ต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เร็วมากนัก และปริมาณในการรับส่งข้อมูลมีไม่มาก เช่น ระบบควบคุมบ้านและอาคารอัตโนมัติ ระบบควบคุมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อุปกรณ์ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ตรวจวัดทางการแพทย์ และของเล่นเกมส์ต่าง ๆ โดยชุดโปรโตคอล Zigbee ได้กำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานไว้ 3 ย่านความถี่ [6] ดังภาพ 2-9 ได้แก่

1. ความถี่ 868.3 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 0) อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 20 กิโลบิตต่อวินาที
2. ย่านความถี่ 902-928 MHz มี 10 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 1-10) แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 2 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 40 กิโลบิตต่อวินาที
3. ย่านความถี่ 2.4-2.835 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 11-26) แต่ละช่องสัญญาณห่างกัน 5 MHz อัตราการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที



ภาพที่ 2-6 ย่านการทำงานของโปรโตคอล Zigbee

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้นิยามอุปกรณ์เครือข่ายไว้ 2 รูปแบบ [7] ได้แก่

1. RFD (Reduced Functionality Device) เป็นอุปกรณ์ที่ลดความสามารถในการทำงานลง ดังนั้นอุปกรณ์แบบ RDF จึงใช้หน่วยความจำน้อย การประมวลผลไม่ซับซ้อน และประหยัดพลังงาน แต่ข้อจำกัดของอุปกรณ์แบบ RFD คือ จะสามารถ

ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์แบบ FFD เท่านั้น ไม่สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์แบบ RFD ด้วยกันได้

2. FFD (Full Functionlity Device) เป็นอุปกรณ์มีฟังชันก์การทำงานโดยสมบูรณ์ ใช้หน่วยความจำ ใช้ความสามารถในการประมวลผลของ CPU และพลังงานที่มากกว่าอุปกรณ์แบบ RFD อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ชนิดใดก็ได้ ทั้ง RFD หรือ FFD ด้วยกันเอง

ภายในชุดโปรโตคอล Zigbee [8] ก็ได้มีการกำหนดอุปกรณ์ขึ้นมาเช่นกันโดยใช้อุปกรณ์พื้นฐานจากอุปกรณ์ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้แก่

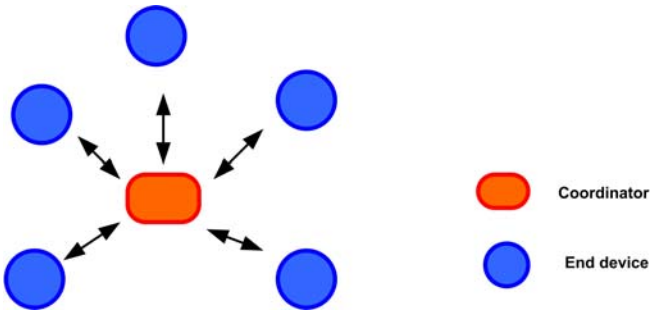
1. Coordinator เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ขึ้นมาใหม่ และรับผิดชอบเกี่ยวกับการรับเข้าร่วมและการถอนตัวออกจากเครือข่าย รวมถึงการทำหน้าที่ติดต่อรับส่งข้อมูลข้ามระหว่างเครื่อข่ายส่วนบุคคล ที่ใช้โปรโตคอล Zigbee เหมือนกัน และภายในเครือข่ายส่วนบุคคลหนึ่ง ๆ จะมี Coordinator 1 ตัวเท่านั้น

2. Router เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่รับอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายได้เช่นเดียวกับ Coordinator และทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง เนื่องจากอยู่ไกลกันเกินระยะที่สามารถติดต่อได้ router จะทำหน้าที่ทวนสัญญาณและส่งต่อจากต้นทางไปยังปลายทางได้ แต่ไม่สามารถตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ขึ้นใหม่ได้เอง

3. End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่าย สามารถทวนสัญญาณหรือส่งต่อข้อมูลได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างเครือข่ายที่เลือกใช้งาน แต่อุปกรณ์ชนิด End Device นี้ไม่สามารถรับอุปกรณ์เข้าร่วมเครือข่ายได้เหมือนอย่างเช่น Coordinator และ Router

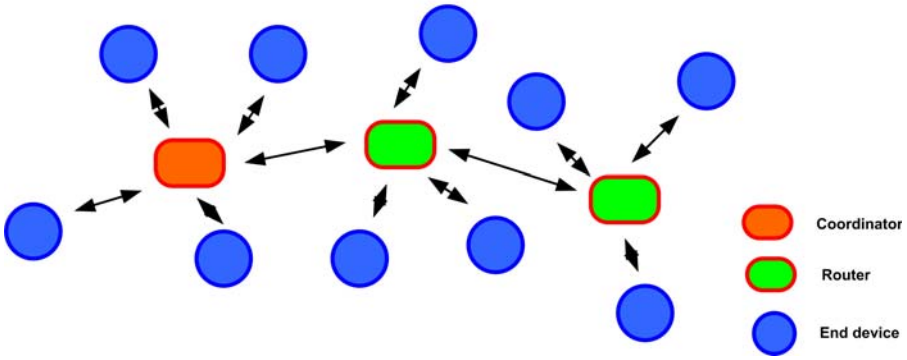
ลักษณะการเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือที่เรียกว่า โครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) ของชุดโปรโตคอล Zigbee ได้กำหนดไว้ว่าภายในเครือข่ายเดียวกันจะต้องมี Coordinator เพียง 1 ตัวเท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ตั้งเครือข่ายส่วนบุคคล หรือ Personal Area Network (PAN) ใหม่ขึ้น และรับผิดชอบเกี่ยวกับการรับอุปกรณ์เข้าร่วมและการถอนตัวออกจากเครือข่าย โดยมีโครงสร้างของเครือข่ายซึ่งกำหนดไว้ 3 รูปแบบด้วยกัน คือ Star Network, Cluster Tree Network และ Mesh Network

1. Star Network มี Coordinator เป็นศูนย์กลางในการติดต่อ มี Zigbee End Device อื่น ๆ ล้อมรอบ การจัดการเครือข่ายเป็นหน้าที่ของ Coordinator Node ทั้งการสร้างเครือข่าย การตอบรับ End Device เข้าสู่เครือข่าย ในการรับส่งข้อมูลจะทำผ่านทาง Coordinator อุปกรณ์ End device ไม่สามารถส่งข้อมูลให้กันโดยตรงได้



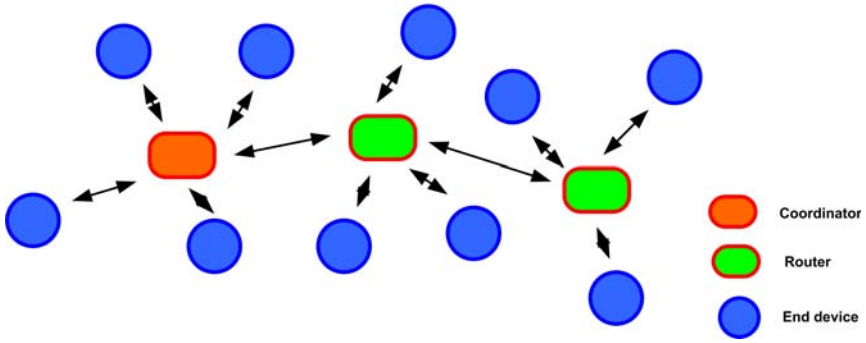
ภาพที่ 2-7 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Star

2. Cluster Tree Network ลักษณะเครือข่ายจะเสมือนว่ามี Star Network หลาย ๆ เครือข่ายมาเชื่อมโยงกันดังภาพที่ 2-8 โดยมี Router ถูกเพิ่มเข้ามาในระบบเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณในกรณีที่การรับส่งข้อมูลไกลเกินระยะทำการ Router จะทำหน้าที่ทวนสัญญาณไปยังอุปกรณ์ปลายทาง



ภาพที่ 2-8 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Cluster Tree

3. Mesh Network เป็นเครือข่ายที่มีความคล่องตัวในการรับส่งข้อมูลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเครือข่ายแบบ Star และเครือข่ายแบบ Cluster โดยอุปกรณ์ End device สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องผ่าน Coordinator หรือ Router อย่างไรก็ตามเครือข่ายยังต้องมี Coordinator เพื่อใช้สร้างเครือข่ายส่วนบุคคล (Personal Area Network :PAN) ขึ้นมาใหม่ และทำหน้าที่ติดต่อกับเครือข่ายส่วนบุคคลอื่นที่อยู่รอบ ๆ

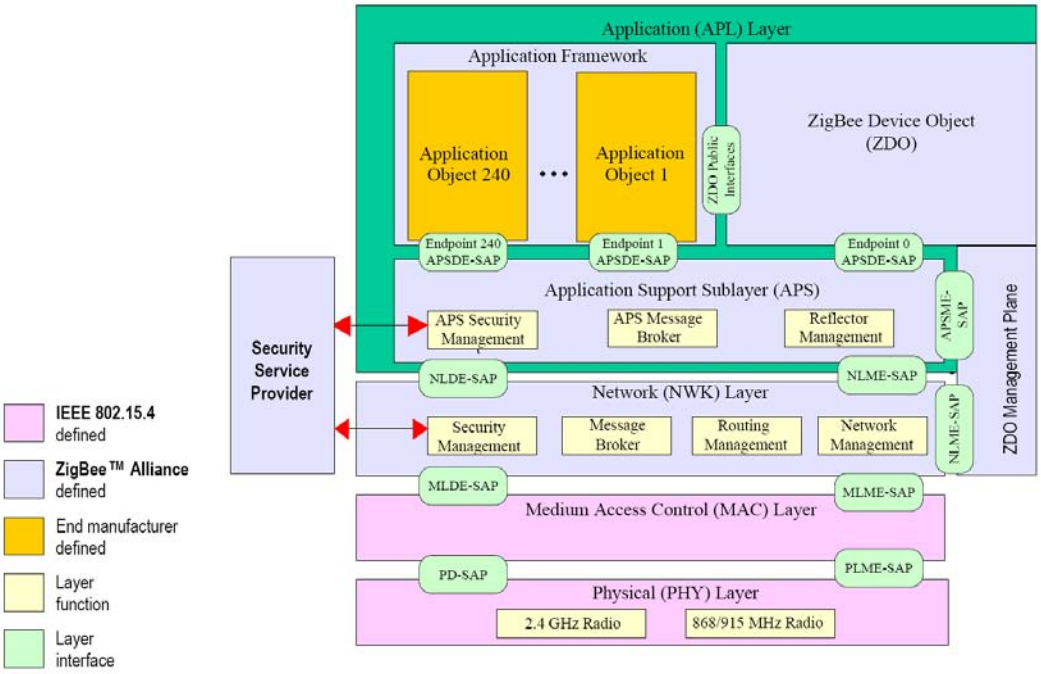


ภาพที่ 2-9 โครงข่ายการสื่อสารแบบ Mesh

โดยในงานวิจัยได้เลือกใช้ โครงข่ายแบบ Cluster network โดยมีมอดูลประสานงานเครือข่ายทำหน้าที่เป็น Coordinator สำหรับติดต่อสื่อสารกับมอดูลมาสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Router Device ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดไฟตามมาตรฐาน DALI

2.2. โครงสร้างการทำงานของชุดโปรโตคอล Zigbee

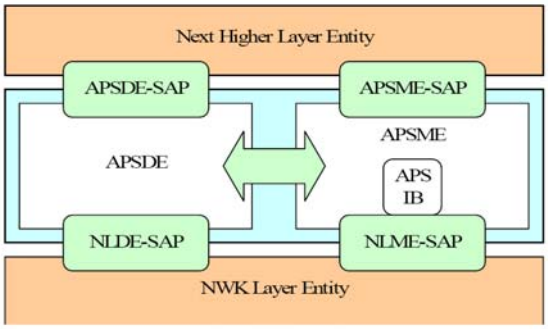
ภายในโครงสร้างชุดโปรโตคอล Zigbee [8] มีองค์ประกอบอยู่เป็นชั้น ๆ ประกอบไปด้วยระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) ระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) 2 ระดับนี้ เป็นส่วนที่ถูกกำหนดโดยบริษัท Zigbee Alliance ส่วนในระดับชั้น Medium Access Control (MAC) Layer และระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ดังภาพที่ 2-10 ซึ่งแต่ละชั้น มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างของชุดโปรโตคอล Zigbee

1. ระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) เป็นระดับชั้นที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานมากสุด ภายในมีส่วนที่สร้างไว้สำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดลักษณะการตอบสนองได้เอง โดยสามารถใส่ชุดคำสั่งได้ถึง 240 ชุดคำสั่ง ซึ่งแต่ละการตอบสนองสามารถเขียนเป็นชุดคำสั่งเพิ่มเข้าไปได้ และภายในชั้นประยุกต์ (Application Layer) มีตัวประสานคอยช่วยจัดการบริการที่ เรียกว่า Application Support Sub-Layer ซึ่งแบ่งหน้าที่ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ
   - ส่วนที่ 1 ส่วนที่ดูแลด้านข้อมูล (Application Support Sub-Layer Data Entity :APSDE) มีหน้าที่สร้าง Overhead เพิ่มเข้าไปและถอด Overhead ออกจากข้อมูลเพื่อช่วยในการติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ภายในระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) ทำหน้าที่จัดการสร้างและถอด overhead ของข้อมูลที่ถูกส่งมาในลักษณะการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) รวมถึงทำหน้าที่ปฏิเสธข้อมูลที่ได้รับหากข้อมูลนั้นเคยรับมาก่อนหน้านั้นแล้ว
   - ส่วนที่ 2 ส่วนที่ดูแลด้านการจัดการส่งข้อมูล (Application Support Sub-Layer Management Entity :APSME) มีหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันพร้อมที่จะรับส่งข้อมูลหากอุปกรณ์ทั้งสองต้องการติดต่อสื่อสารกัน จัดการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์เข้าและออกออกจากการสื่อสารแบบที่อยู่แบบกลุ่ม (Group Address) และทำหน้าที่ติดต่อกับส่วนจัดหาบริการระบบความปลอดภัย (Security

Service Provider) สำหรับตั้งค่าเปลี่ยนค่ารหัสผ่านเพื่อใช้ในการดูแลความปลอดภัยของข้อมูลที่รับส่งกันในเครือข่าย



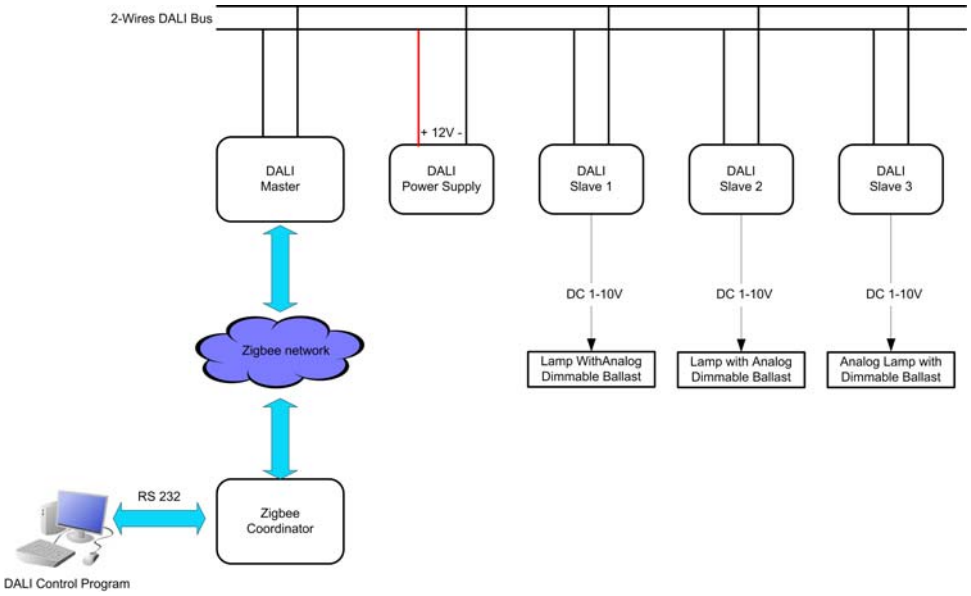
ภาพที่ 2-11 ระดับย่อย Application Support Sub-Layer ดูแลจัดการข้อมูลภายในชั้น Application layer

2. ระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลในระดับชั้นเครือข่าย ทำหน้าที่จัดการกับอุปกรณ์ที่มาเข้าร่วมในเครือข่ายได้จำนวนมาก ทำหน้าที่รับเข้าร่วมและถอนออกจากเครือข่าย ทำหน้าที่จัดสรรที่อยู่ (Short Address) ให้กับอุปกรณ์ที่มาเข้าร่วมเครือข่าย ทำหน้าที่ติดต่อกับส่วนจัดการบริการระบบความปลอดภัย (Security Service Provider) เพื่อให้เฟรมรับส่งมีความปลอดภัย และทำหน้าที่จัดหาเส้นทางการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง
3. ระดับชั้น Medium Access Control (MAC) Layer ทำหน้าที่จัดรูปแบบโครงสร้างเครือข่าย (Network Topology) ได้หลายรูปแบบโดยไม่ซ้ำซ้อน และมีกลไกการทำงาน Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA) เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูล
4. ระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) เป็นระดับชั้นที่อยู่ล่างสุดทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่อยู่ในระดับบิตไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการส่งด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่ง Zigbee ใช้กันอยู่ที่ 3 ย่านความถี่ด้วยกัน ได้แก่ 868 MHz, 915 MHz, และ 2.4 GHz การส่งข้อมูลใช้การส่งข้อมูลในลักษณะ Direct Sequence เป็นเทคนิคที่ใช้คลื่นพาห์แบบระบุความถี่ใช้งาน และมีการสร้างบิตข้อมูลไว้เผื่อ โดยจะส่งไปพร้อมกับบิตข้อมูล หากบิตข้อมูลเกิดความเสียหายระหว่างการส่งก็สามารถตรวจพบแก้ไขหรือร้องขอให้ส่งใหม่ได้ ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 3

รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการพัฒนาระบบสำหรับควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอล DALI เป็นตัวกลางในการสื่อสาร ระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ มอดูลมาสเตอร์ มอดูลสเลฟ และมอดูลประสานงานเครือข่าย โดยมีวงจรกำเนิดแรงดัน DALI (DALI Power Supply) สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันขนาด 15 โวลต์ 250 มิลลิแอมป์เพื่อป้อนให้กับ DALI bus แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ระบบควบคุมแสงสว่างโดยใช้โปรโตคอล DALI ที่พัฒนาขึ้น

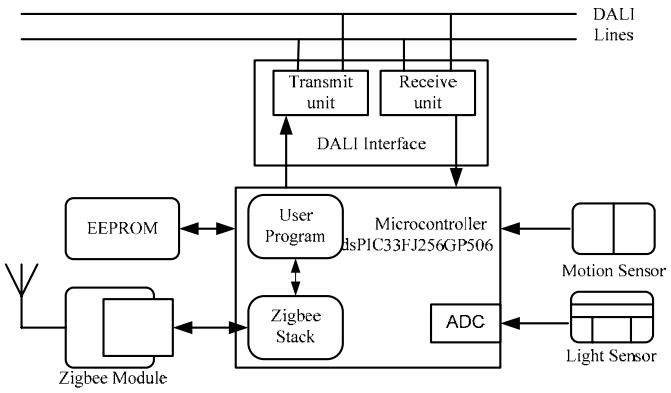
การทำงานในส่วนของมอดูลมาสเตอร์และมอดูลสเลฟคือ มอดูลมาสเตอร์จะคอยตรวจสอบคำสั่งจากผู้ใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานส่งคำสั่งเข้ามา มอดูลมาสเตอร์จะร้องขอคำสั่งที่ได้รับมาจากซอฟต์แวร์ Zigbee Stack ซึ่งฝังอยู่ในมอดูลมาสเตอร์ แล้วนำคำสั่งนั้นมาเข้ารหัสเป็นสัญญาณแบบ Forward frame แล้วส่งไปยังมอดูลสเลฟทุกตัวในระบบผ่านทาง DALI bus ซึ่งในสภาวะปกติจะมีแรงดันอยู่ที่ 15 โวลต์โดยได้รับแรงดันจากวงจรกำเนิดแรงดัน DALI (DALI Power Supply) ในส่วนของมอดูลสเลฟเมื่อมีคำสั่งเข้ามาจะเกิดขอบขาลงบน DALI Bus ซึ่งแสดงถึงจุดเริ่มต้นของคำสั่ง มอดูลสเลฟจะถอดรหัสคำสั่งและตรวจสอบว่าคำสั่งที่ส่งมาเป็นของตนเองหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะนำคำสั่งที่รับมาไปตรวจสอบว่าเป็นคำสั่งอะไรและทำตามคำสั่งนั้น โดยระบบที่

ออกแบบสนับสนุนทุกชุดคำสั่งตามโปรโตคอล DALI ทั้งชุดคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง (Direct Arc Power Control Command) ชุดคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยอ้อม (Indirect Arc Power Control Command) ชุดคำสั่งตั้งค่า(Configuration Commmand) ชุดคำสั่งเรียกดูค่า(Query Command) และสนับสนุนการค้นหามอดูลสเลฟในระบบแบบอัตโนมัติโดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Addressing Method)

การทำงานในส่วนของระบบควบคุม ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระบบผ่านทางโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) บนคอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับมอดูลประสานงานเครือข่าย (Zigbee Coordinator) เมื่อผู้ใช้งานต้องการสั่งการทำงาน ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) จะรับคำสั่งแล้วส่งคำสั่งไปยังมอดูลประสานงานเครือข่าย (Zigbee Coordinator) จากนั้นมอดูลประสานงานเครือข่าย(Zigbee Coordinator) จะเรียกซอฟต์แวร์ Zigbee Stack เพื่อส่งคำสั่งผ่านทางมอดูล Zigbee ไปยังมอดูลมาสเตอร์ต่อไป

3.1. รายละเอียดโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์

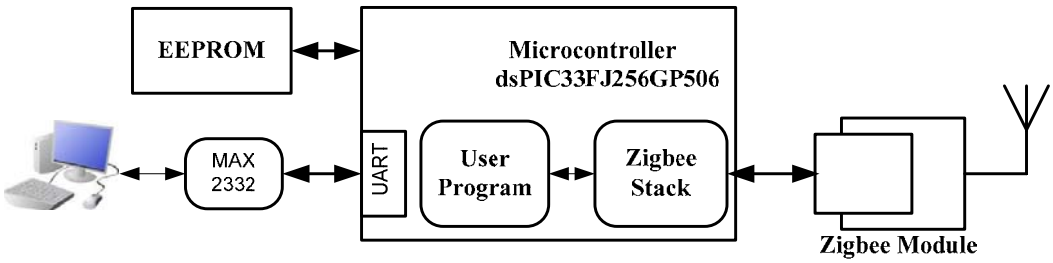
มอดูลมาสเตอร์ที่ออกแบบขึ้นมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3-2 มีชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 [9] ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงาน อุปกรณ์ต่อพ่วงกับชิปประมวลผลประกอบด้วยหน่วยความจำ EEPROM ทำหน้าที่เก็บค่าตารางการสื่อสารของเครือข่าย Zigbee เซนเซอร์วัดแสงและเซนเซอร์ตรวจจับบุคคลแบบ PIR(Passive Infrared) สำหรับวัดค่าปริมาณการส่องสว่างและตรวจจับความเคลื่อนไหวของบุคคลภายในห้อง วงจร DALI interface ใช้สำหรับปรับแรงดันระหว่าง DALI bus ให้เหมาะสมกับแรงดันของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำงานที่แรงดัน 3.3 โวลต์ โดยแบ่งเป็นวงจรภาคส่งและวงจรภาครับ ภายในชิปประมวลผลมีการบันทึกซอฟต์แวร์โปรโตคอล Zigbee stack สำหรับเป็นตัวกลางในการติดต่อกับมอดูล MRF24J40MA เพื่อรับส่งข้อมูลกับมอดูลประสานงานเครือข่าย(Coordinator) ผ่านทางเครือข่าย Zigbee



ภาพที่ 3-2 โครงสร้างภายในของมอดูลมาสเตอร์

3.2. รายละเอียดโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator)

มอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator) มีโครงสร้างแสดงดังภาพ 3-3 โดยใช้ชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506 ในการประมวลผลหลัก ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางคอมพิวเตอร์ผ่านตัวประสานการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication Interfaces: SCIs, UART) และสร้างเครือข่าย Zigbee สำหรับรับ–ส่งข้อมูลคำสั่งกับมอดูลมาสเตอร์ ภายในชิปประมวลผลมีซอฟต์แวร์โปรโตคอล Zigbee stack ทำหน้าที่ติดต่อกับมอดูล MRF24J40MA เพื่อรับส่งคำสั่งข้อมูลกับมอดูลมาสเตอร์



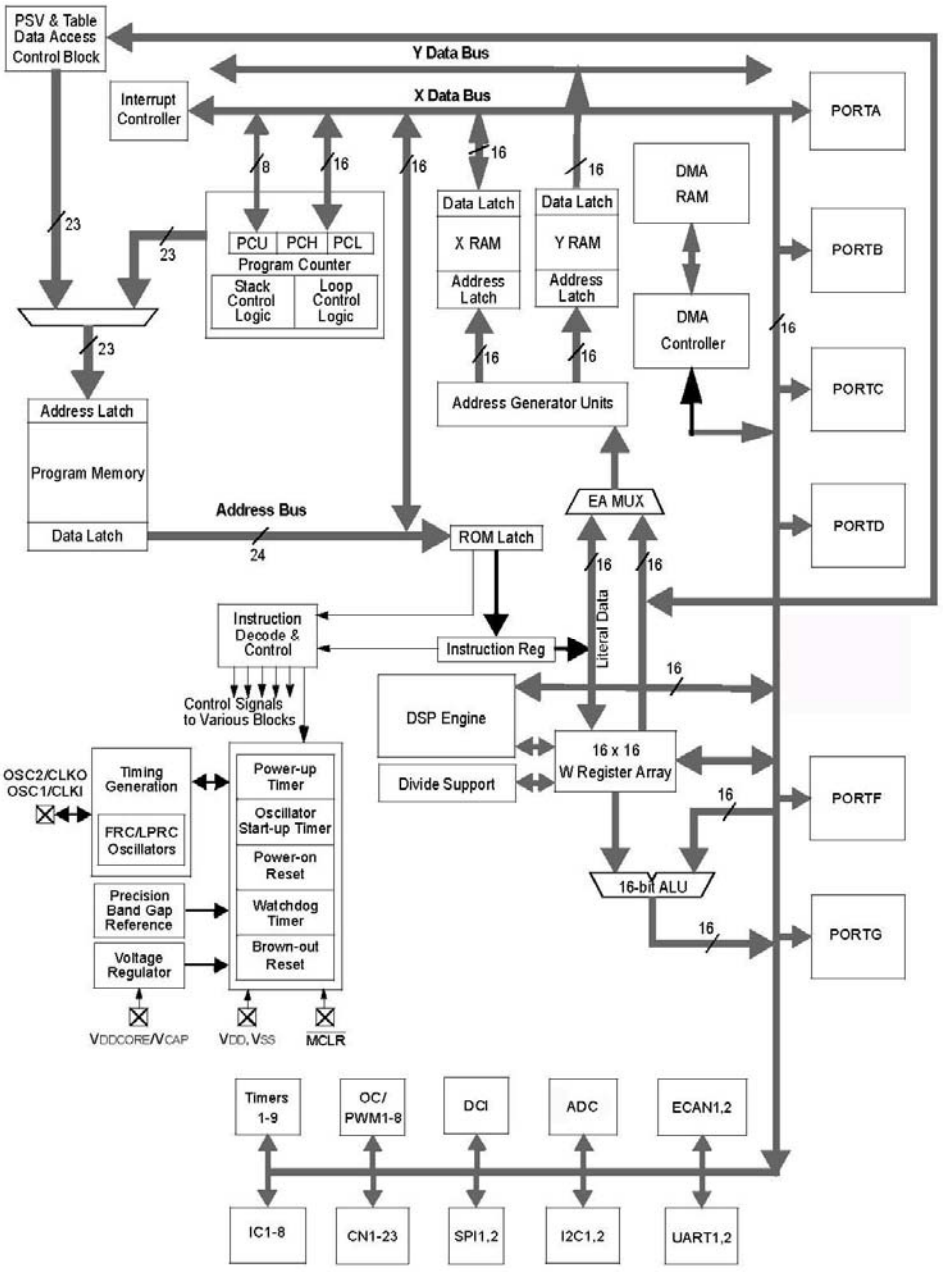
ภาพที่ 3-3 โครงสร้างภายในของมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator)

3.3. ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

ในส่วนนี้จะแสดงรายละเอียดของการใช้งานชิปประมวลผล และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่อยู่ในส่วนของมอดูลมาสเตอร์และมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator) โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

3.3.1. ชิปประมวลผล

ชิปประมวลผลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ dsPIC33FJ256GP506[9] เป็นของบริษัท Microchip Technology โดยเป็นชิปที่ออกแบบมาสำหรับงานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหรืองานที่ต้องการความเร็วในการคำนวณสูง มีความเร็วในการทำงานสูงสุดที่ 40 MIPS (Milion Instruction per Second) โดยมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต ประมวลผลข้อมูลที่ 16 บิต และมีแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งชิปนี้มีโครงสร้างภายในแสดงดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 รายละเอียดภายในของชิปประมวลผล dSPIC33FJ256GP506[9]

การทำงานของชิปประมวลผลในส่วนของมอดูลมาสเตอร์และมอดูลประสานงานเครือข่าย (Coordinator) มีส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและการตั้งค่าการทำงานของตัวชิป ซึ่งจำแนกได้ดังนี้

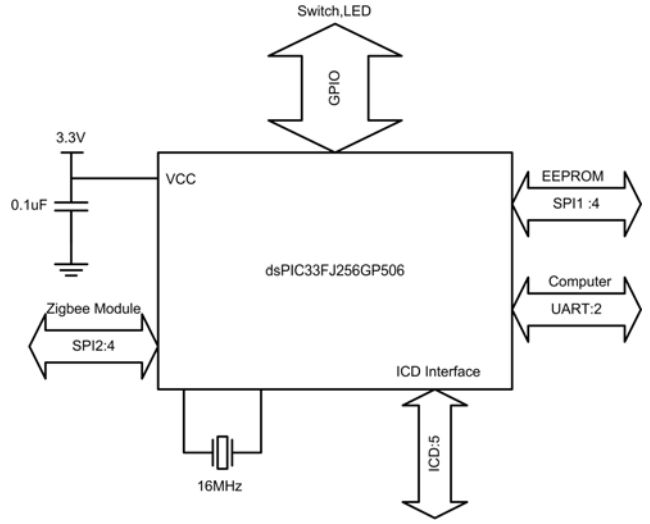
1. ชิปประมวลผลที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ 16 MHz
2. ตัวตั้งเวลา TIMER

- TIMER 1 ขนาด 16 บิตสำหรับควบคุมการรับส่งคำสั่ง DALI

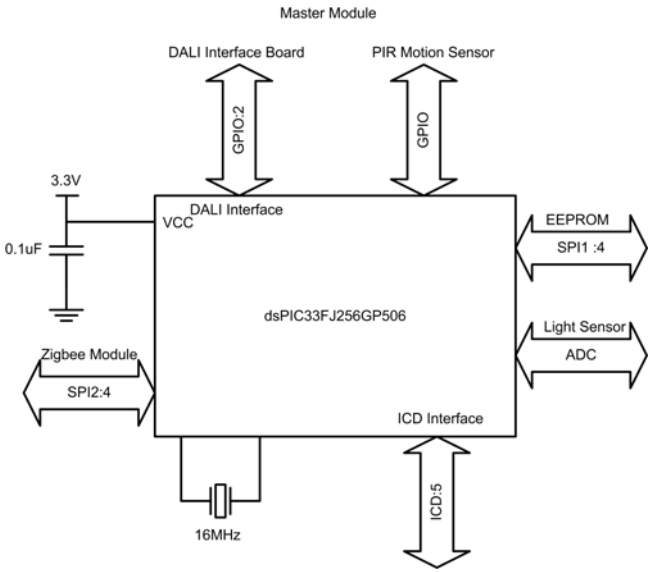
- TIMER 2 ขนาด 16 บิตใช่ร่วมกับ TIMER1 ในการถอดรหัสสัญญาณ DALI
- TIMER 3 ขนาด 16 บิตสำหรับเป็นตัวตั้งเวลาเพื่อควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดแสงและเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว
- TIMER 6,7 นำมาต่อกันเป็น TIMER ขนาด 32 บิต สำหรับตั้งเวลาในการติดต่อสื่อสารผ่านโปรโตคอล Zigbee

3. ตัวขัดจังหวะ(Interrupt) จากภายนอก ใช้สำหรับตรวจจับของขาลงของสัญญาณ DALI เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการรับคำสั่งข้อมูล และใช้นับสัญญาณพัลป์ที่เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวตรวจจับได้เพื่อตรวจสอบสถานะของคนภายในห้อง
4. มอดูล ADC (Analog to Digital Converter) ใช้สำหรับแปลงแรงดันจากเซนเซอร์วัดแสงเป็นข้อมูลแบบดิจิทัล
5. UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) สำหรับติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทางช่องทางข้อมูลอนุกรม (Serial Port) อัตราการส่งข้อมูลที่ 19,200 บิตต่อวินาที (bps)
6. SPI1 (Serial Peripheral Interface1) สำหรับติดต่อกับมอดูล Zigbee ด้วยสัญญาณนาฬิกา 2 เมกะเฮิรตซ์
7. SPI2 (Serial Peripheral Interface2) สำหรับติดต่อกับอีอีพร็อม (EEPROM) ด้วยสัญญาณนาฬิกา 2 เมกะเฮิรตซ์
8. GPIO (General Purpose Input/Output) ใช้ในการติดต่อกับเซนเซอร์ตรวจจับบุคคลแบบ PIR (Passive Infrafed) และแสดงสถานะเข้าร่วมเครือข่ายของโปรโตคอล Zigbee ผ่านทางหลอด LED และใช้รับส่งคำสั่งกับมอดูลสเลฟ

แผนภาพของการเชื่อมต่อระหว่างชิปประมวลผลกับอุปกรณ์ภายนอกของมอดูมาสเตอร์และมอดูลประสานงานเครือข่ายมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3-5



(a)



(b)

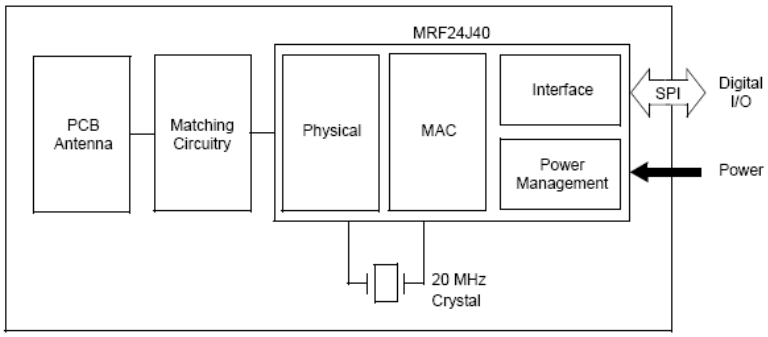
ภาพที่ 3-5 รายละเอียดการเชื่อมต่อชิปประมวลผลกับอุปกรณ์ภายนอก

มอดูลประสานงานเครือข่าย (a) มอดูลมาสเตอร์ (b)

3.3.2. **มอดูล** Zigbee

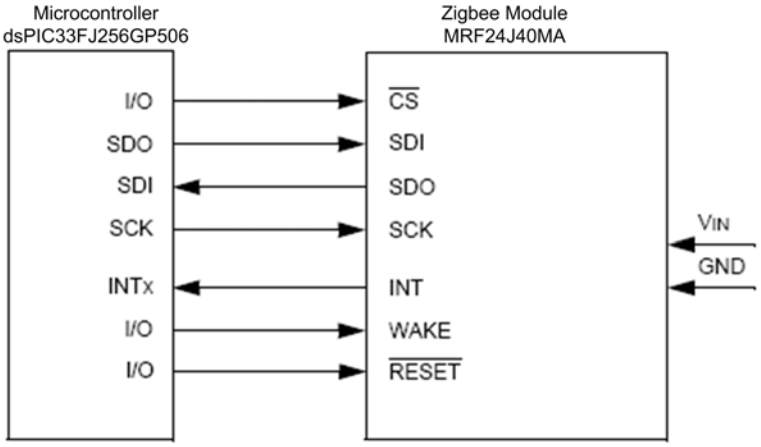
มอดูล Zigbee เลือกใช้มอดูล MRF24J40MA [10] ของบริษัท Microchip Technology สำหรับรับส่งข้อมูลในย่านความถี่ 2.4GHz สามารถปรับช่องสัญญาณได้ 16 ช่องสัญญาณ (ตั้งแต่ช่องสัญญาณที่ 11 – 26) ภาพที่ 3-6 แสดงโครงสร้างภายในของมอดูล MRF24J40MA ประกอบด้วยชิป MRF24J40 เป็นหน่วยประมวลผล ทำงานที่ความถี่ 20 MHz โดยมีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาบรรจุอยู่ภายใน ภายในมีโปรโตคอลในชั้น MAC(Medium Access Control) ซึ่ง

อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 นอกจากนี้มอดูลยังบรรจุสายอากาศไว้ภายในมอดูลทำให้สะดวกต่อการใช้งาน



ภาพที่ 3-6 รายละเอียดภายในของมอดูลรับส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ MRF24J40MA[7]

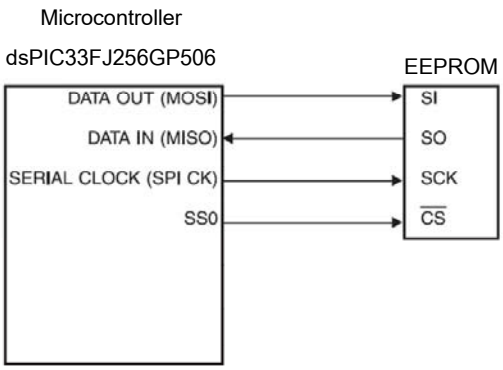
การเชื่อมต่อระหว่างชิปประมวลผลกับมอดูล MRF24J40MA สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางมาตรฐาน SPI (Serial Peripheral Interface) โดยมีแผนผังการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 การเชื่อมต่อมอดูล MRF24J40MA กับชิปประมวลผล dsPIC33FJ256GP506

3.3.3. อีอีพรอม

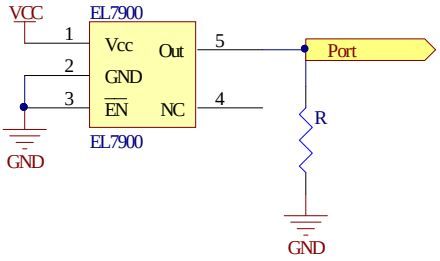
อีอีพร็อม (EEPROM) ใช้ชิปเบอร์ ATMEL334 ของบริษัท Atmel เป็นอีอีพร็อมขนาด 256 กิโลบิต ติดต่อกับชิปประมวลผลผ่านทางช่องทาง SPI (Serial Peripheral Interface) ดังภาพ 3-8 อัตราเร็วในการติดต่อที่ 2 เมกะบิตต่อวินาที มีหน้าที่เก็บตารางต่าง ๆ ที่ใช้ใน Zigbee Stack เช่น ตารางเส้นทางเครือข่าย แอดเดรสของอุปกรณ์ลูกข่าย เป็นต้น



ภาพที่ 3-8 การเชื่อมต่อชิป dSPIC33FJ256GP506 กับหน่วยความจำอีอีพร็อม

3.3.4. วงจรเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่าง

เซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่างใช้ชิปเบอร์ EL7900 [11] ของบริษัท Intersil โดยชิปดังกล่าวสามารถวัดปริมาณการส่องสว่างได้ตั้งแต่ 1-8000 LUX รับแรงดันไฟเลี้ยงได้ตั้งแต่ 2.7-5.5 โวลต์



ภาพที่ 3- 9 วงจรเซ็นเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่าง

ภาพที่ 3-9 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของชิป EL7900 โดยชิปดังกล่าวจะวัดปริมาณการส่องสว่างแล้วแปลงปริมาณการส่องสว่างเป็นกระแสออกทางขาเอาต์พุตของชิป โดยค่ากระแสขาออกจะมีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณการส่องสว่างแสดงดังสมการ 3.1

$$I_{Out} = (\frac{60uA}{100LUX}) \times L_{Input} \quad (3.1)$$

โดยที่ L_{input} คือค่าปริมาณการส่องสว่างขณะนั้น เนื่องจากเอาต์พุตของชิปถูกต่อเข้ากับมอดูล ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นจึงต้องต่อตัวต้านทานคร่อมเอาต์พุตของไอซีเพื่อแปลงกระแสเป็นแรงดัน แสดงดังสมการที่ 3.2

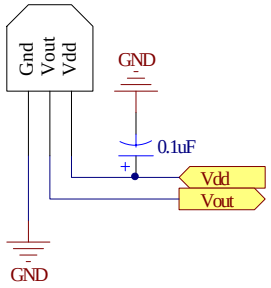
$$V_{Out} = I_{Out} \times R_L = (\frac{60uA}{100LUX}) \times L_{Input} \times R_L \quad (3.2)$$

เนื่องจากแรงดันเอาต์พุตของชิปมีค่าได้ไม่เกิน Vsupply-0.3 โวลต์ ดังนั้นเพื่อความเป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณการส่องสว่างกับแรงดันขาออก ค่าความต้านทานสามารถคำนวณได้ดังสมการ 3.3

$$R_L = \frac{(V_{Supply} - 0.3)}{60uA} x \frac{100LUX}{L} \quad (3.3)$$

โดยที่ L คือย่านการทำงานของแสงที่ใช้วัด โดยในงานวิจัยกำหนดให้ย่านการวัดมีค่าตั้งแต่ 0-800 LUX ดังนั้นตัวต้านทานจึงมีค่าเท่ากับ 6.25K

3.3.5. วงจรเชื่อมต่อเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

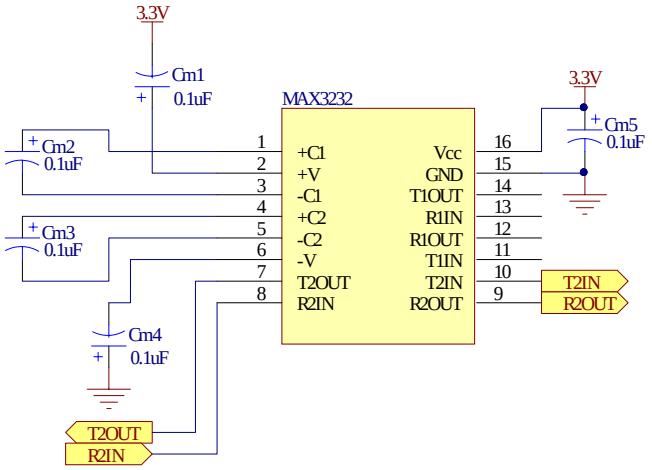


ภาพที่ 3- 10 วงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวเลือกใช้ชิปเบอร์ AMN34112 ของบริษัท Panasonic โดยชิปดังกล่าวใช้หลักการตรวจจับความเคลื่อนไหวโดยใช้แสงอินฟาเรด ทำงานที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ ให้เอาต์พุตเป็น 5 โวลต์เมื่อตรวจพบการเคลื่อนไหวและ0 โวลต์เมื่อไม่มีการเคลื่อนไหว

3.3.6. ส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

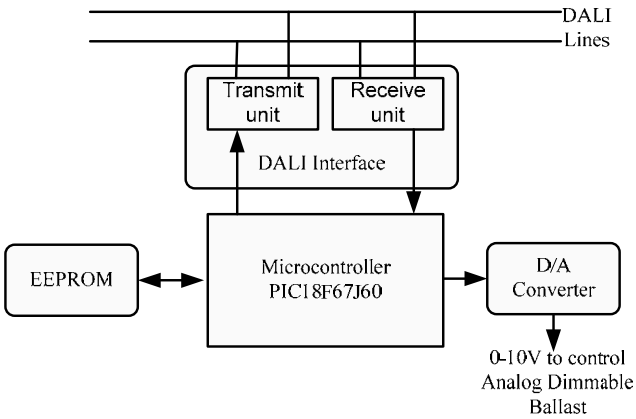
มอดูลประสานงานเครือข่าย(Coordinator) สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมหมายเลข 2 ของชิปประมวลผลและใช้ชิป MAX3232 ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของชิปประมวลผล UART2 ให้สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้และมีการต่อใช้งานดังภาพ 3-11



ภาพที่ 3-11 วงจรเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232

3.4. โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟ

มอดูลสเลฟสำหรับควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสงชนิดแอนาล็อกมีโครงสร้างแสดงดังภาพ 3-12 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F67J60 ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ได้แก่ การถอดรหัสคำสั่งที่ได้รับมาจากมอดูลมาสเตอร์ การตรวจสอบคำสั่งที่ได้รับมาและทำคำสั่งที่สอดคล้องกับคำสั่งที่รับมา เข้ารหัสข้อมูลสำหรับส่งไปยังมอดูลมาสเตอร์ ควบคุมวงจร DAC(Digital to Analog Conversion) สำหรับสร้างแรงดันไฟตรงเพื่อควบคุมระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ ควบคุมการอ่าน- เขียน ข้อมูลลงใน EEPROM



ภาพที่ 3-12 โครงสร้างของมอดูลสเลฟสำหรับควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสง

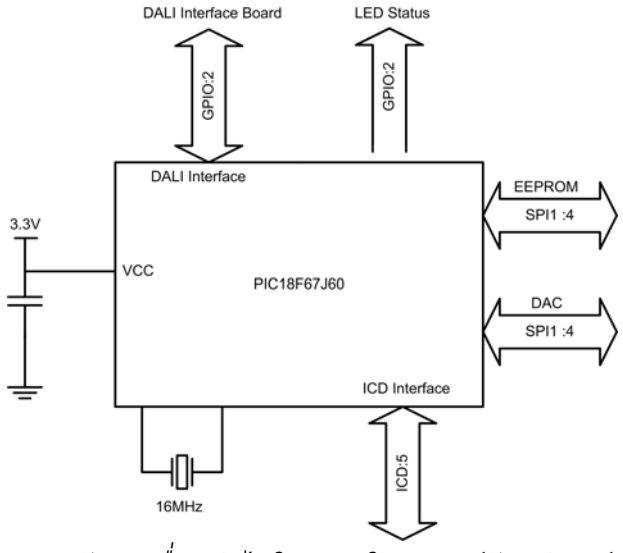
3.5. ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของมอดูลสเลฟ

3.5.1. ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในมอดูลสเลฟคือ PIC18F67J60[12] ของบริษัท Microchip Technology ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอดูลสเลฟทั้งหมด โดยในงานวิจัยมีการกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังนี้

1. ประมวลผลที่ความเร็ว 16MHz
2. ตัวตั้งเวลา (Timer) ที่ใช้ในงานวิจัยขนาด 16 บิตมีดังนี้
   - TIMER 1 สำหรับควบคุมกระบวนการรับส่งคำสั่ง DALI
   - TIMER 2 สำหรับกระบวนการถอดรหัสคำสั่งร่วมกับ TIMER 1
   - TIMER 3 สำหรับควบคุมกระบวนการกำหนดแอดเดรส ควบคุมความเร็วในการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ ควบคุมเวลาของกระบวนการรับคำสั่ง
3. ตัวขัดจังหวะ(Interrupt) จากภายนอก ใช้สำหรับตรวจจับของขาลงของสัญญาณ DALI เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการรับข้อมูล
4. Master Synchronous Serial Port (MSSP) สำหรับควบคุมการทำงานของชิปแปลงสัญญาณดิจัลเป็นแอนาล็อกและอีอีพรอม
5. GPIO (General Purpose Input/Output) ใช้สำหรับแสดงสถานะการทำงานของมอดูลสเลฟ

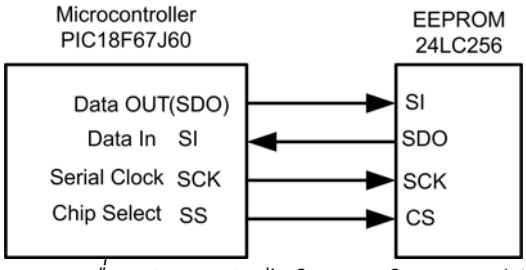
แผนภาพการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 ผังการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

3.5.2. ส่วนเชื่อมต่อกับอีอีพรอม

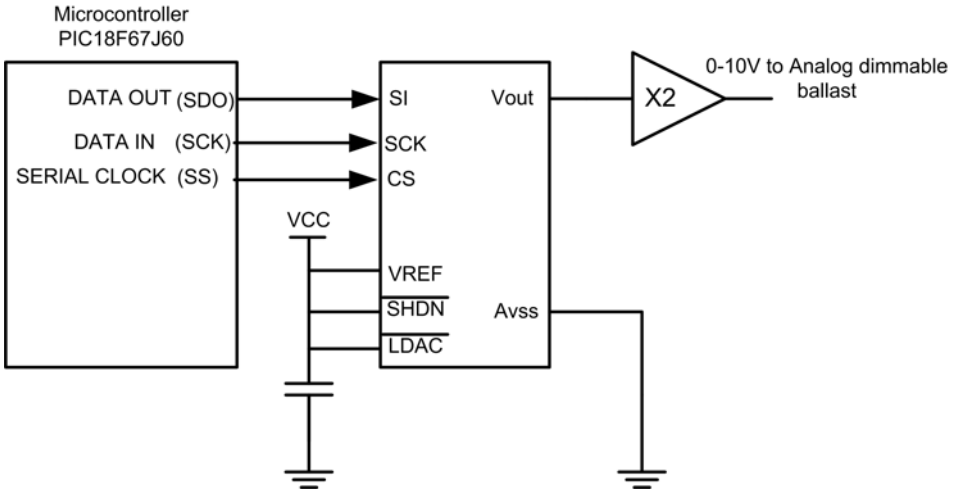
อีอีพร็อม (EEPROM) ใช้ชิปเบอร์ 25LC256 ของบริษัท Microchip Technology ชิปดังกล่าว เป็นอีอีพร็อมขนาด 256 กิโลบิต ติดต่อผ่านทาง SPI (Serial Peripheral Interface) ใช้สำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ของโปรโตคอล DALI โดยการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอีอีพรอม

3.5.3. ส่วนเชื่อมต่อกับชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อก

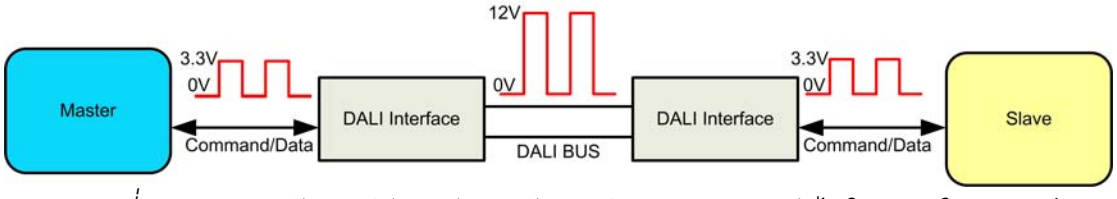
ชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อกใช้ชิปเบอร์ MCP4922[13] ของบริษัท Microchip Technology ชิปดังกล่าวมีความละเอียด 12 บิต เชื่อมต่อผ่านทาง SPI (Serial Peripheral Interface) ใช้สำหรับแปลงระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลไปเป็นแรงดันไฟตรงเพื่อควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสงชนิดแอนาล็อก โดยเอาต์พุตของชิปถูกต่อเข้ากับวงจรออปแอมป์เพื่อยกระดับแรงดันจาก 0-5 โวลต์เป็น 0–10 โวลต์ ภาพที่ 3-15 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อกกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3-15 การเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อก

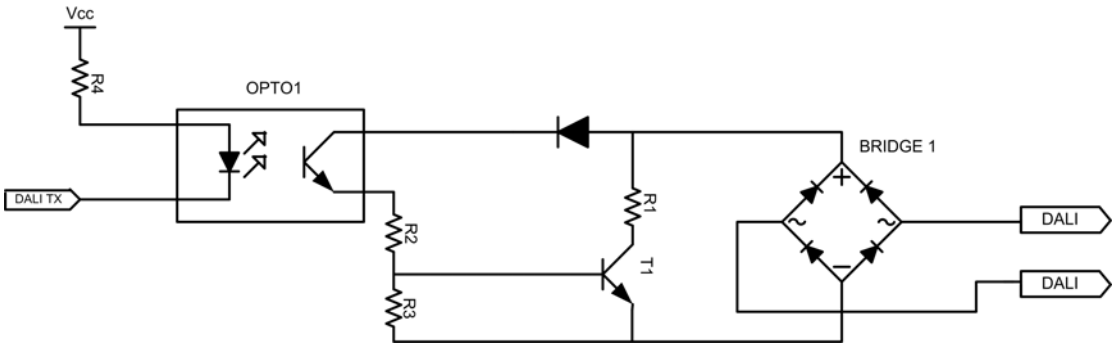
3.6. บอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI (DALI Interface Board)

บอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีค่า 3.3 โวลต์ให้สามารถเชื่อมต่อกับ DALI bus ซึ่งทำงานที่ระดับแรงดัน 15 โวลต์ได้ โดยวงจรดังกล่าวจะถูกติดตั้งทั้งฝั่งของมอดูลมาสเตอร์และมอดูลสเลฟดังภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 แผนผังการปรับระดับแรงดันระหว่าง DALI bus กับไมโครคอนโทรลเลอร์

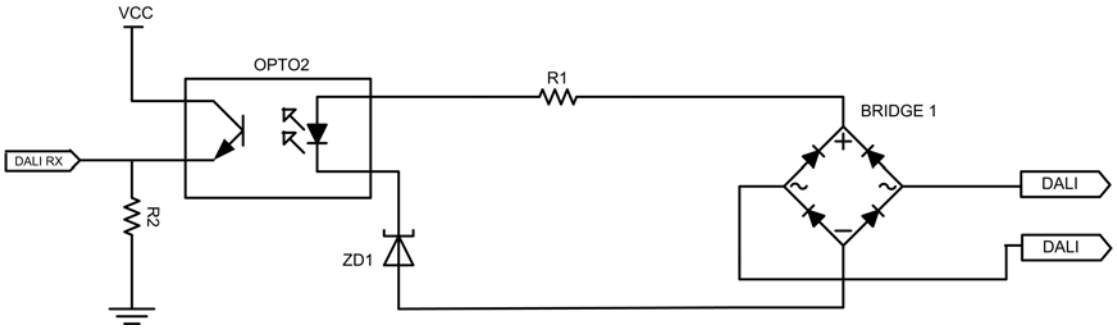
บอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI จะถูกแบ่งเป็นวงจรภาครับและวงจรภาคส่ง ภาพที่ 3-17 แสดงวงจรภาคส่งของบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI โดยในสภาวะปกติระดับแรงดันที่ DALI bus จะมีค่าเป็นลอจิกสูง ตลอดเวลาโดยได้รับแรงดันวงจร DALI Power Supply ซึ่งทำหน้าที่สร้างแรงดันขนาด 15 โวลต์ จำกัดกระแสไม่เกิน 250mA ป้อนให้กับ DALI bus ดังนั้นเมื่อต้องการส่งค่าลอจิกสูง ไอซีออปโตจะไม่ทำงานทำให้แรงดันที่ DALI bus คงค่าไว้ที่ 15 โวลต์ ส่วนในกรณีส่งลอจิกต่ำ ไอซีออปโต จะนำกระแสทำให้มีกระแสไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ T1 ทำให้ทรานซิสเตอร์ T1 นำกระแสและดึงแรงดันบน DALI bus ลงกราวน์



ภาพที่ 3-17 วงจรภาคส่งของบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI

ส่วนวงจรภาครับมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3-18 การทำงานของวงจร เมื่อไม่มีการรับส่งสัญญาณหรือรับข้อมูลลอจิกสูงเข้ามาไอซีออปโตจะเกิดการนำกระแส ทำให้มีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R2 และถูกส่งเข้าขา I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนในกรณีรับลอจิกต่ำ

ไอซีออปโต จะไม่เกิดการนำกระแสทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R2 เป็น 0 โวลต์ ส่วนซีเนอร์ไดโอด ZD1 มีหน้าที่กันไม่ให้ opto นำกระแสถ้าแรงดันตกร่อม DALI Bus มีค่าน้อยกว่า 6.5 โวลต์ ตามข้อกำหนดของโปรโตคอล DALI ที่กำหนดให้แรงดันที่ลอจิกสูงมีค่าระหว่าง 6.5 -22.5 โวลต์

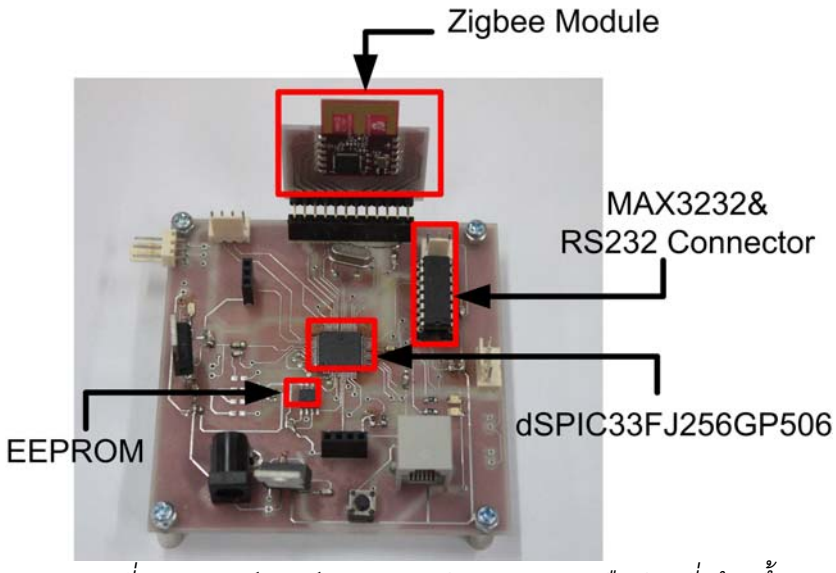


ภาพที่ 3-18 วงจรภาครับของบอร์ดเชื่อมต่อสัญญาณ DALI

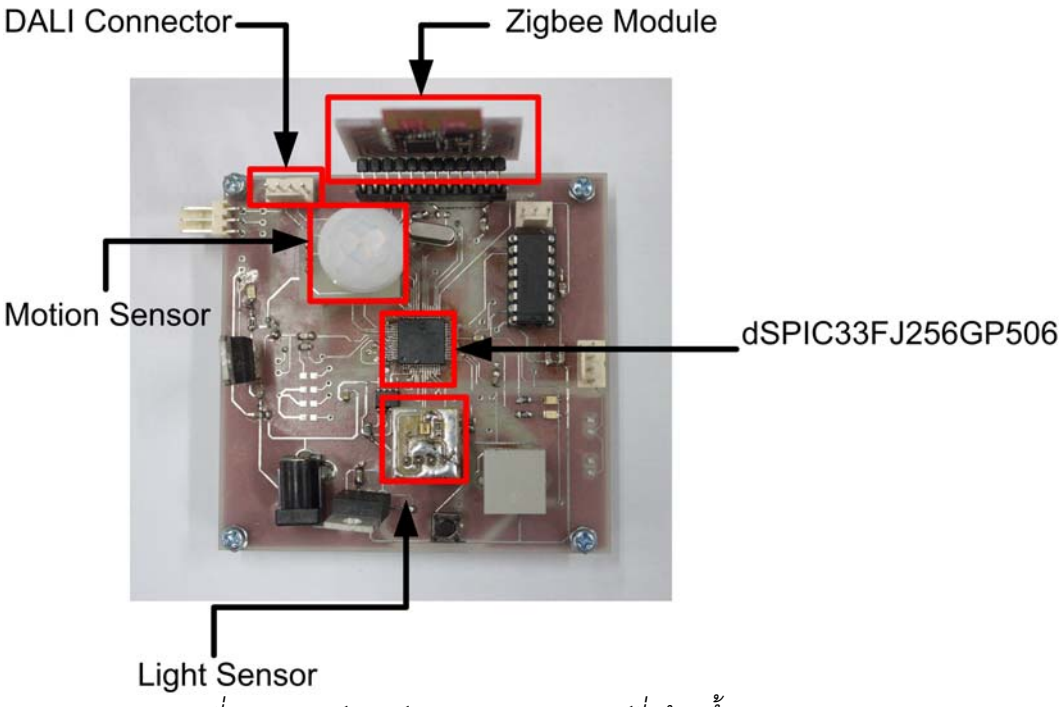
3.7. ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้น

ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นมามีรายละเอียดดังภาพที่ 3-19 ถึง 3-21 ซึ่งประกอบไปด้วย

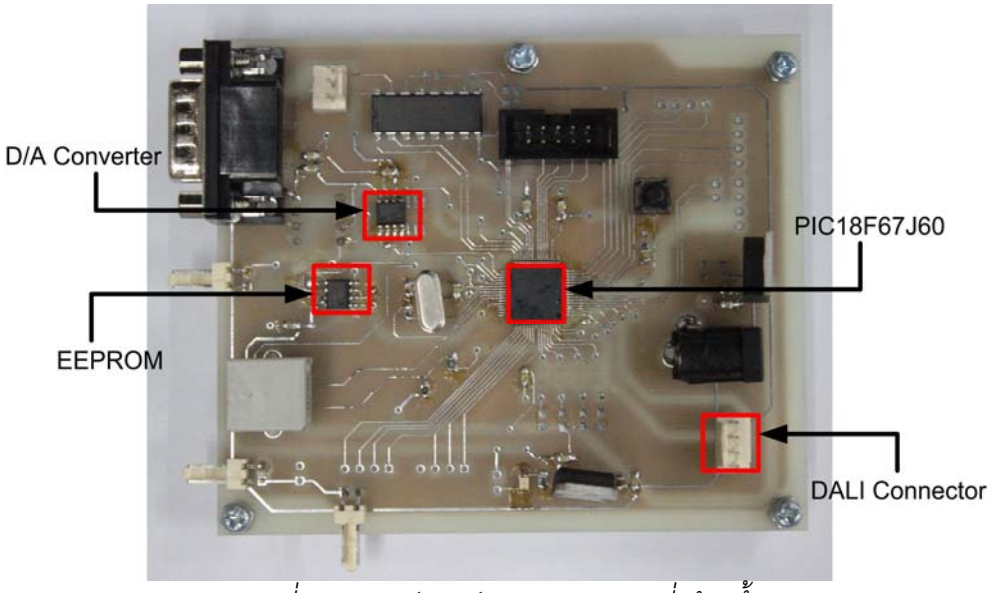
1. มอดูลประสานงานเครือข่าย
2. มอดูลมาสเตอร์
3. มอดูลสเลฟ



ภาพที่ 3-19 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลประสานงานเครือข่ายที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 3-20 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลมาสเตอร์ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 3-21 ฮาร์ดแวร์ของมอดูลสเลฟที่สร้างขึ้น

บทที่ 4

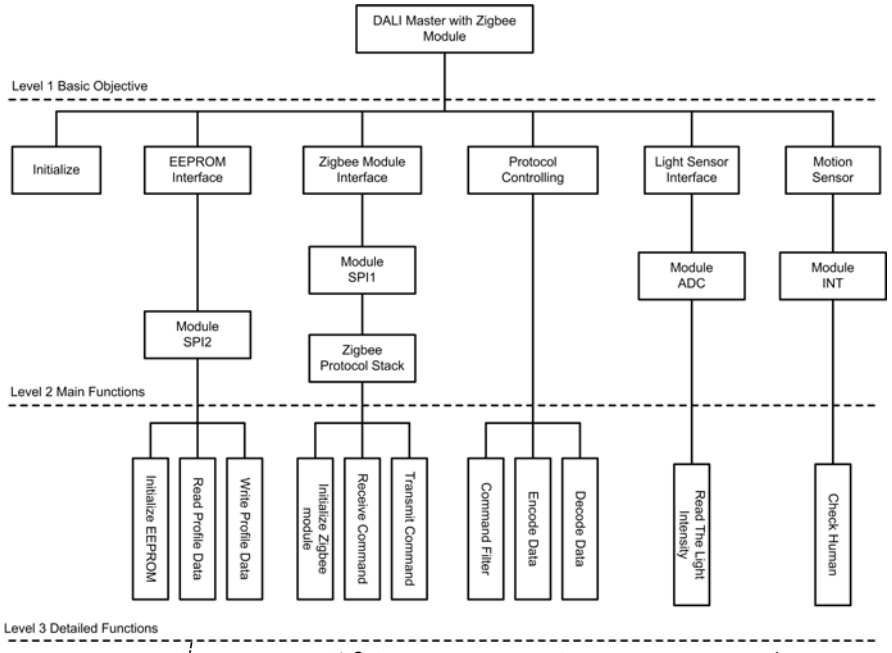
รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ โปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลมาสเตอร์ โปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลสเลฟ และโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

4.1. รายละเอียดโครงสร้างซอฟต์แวร์ของมอดูลมาสเตอร์

การทำงานของซอฟต์แวร์จะวนลูปรอสัญญาณขัดจังหวะจากมอดูล Zigbee เพื่อรับคำสั่งแล้วเข้ารหัสเพื่อส่งไปควบคุมมอดูลสเลฟ และรับข้อมูลจากมอดูลสเลฟส่งกลับไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ส่วนในโหมดประหยัดพลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดค่าปริมาณการส่องสว่างและเซนเซอร์ตรวจความเคลื่อนไหวตามเวลาที่กำหนด เพื่อสั่งปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟตามค่าปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกและสั่งเปิด-ปิดไฟโดยอัตโนมัติตามสถานะคนภายในห้อง

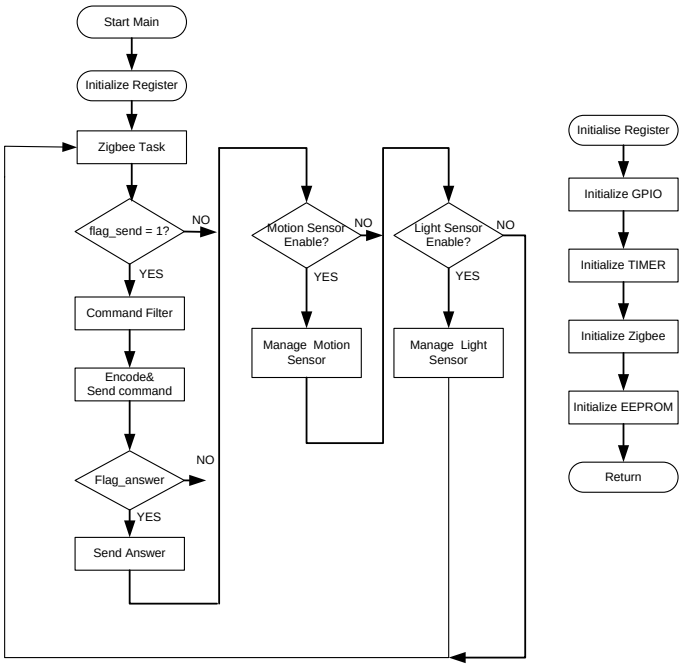
โครงสร้างซอฟต์แวร์แสดงรายละเอียดได้ดังภาพที่ 4-1 ประกอบด้วยส่วนติดต่อกับ EEPROM ส่วนติดต่อกับ Zigbee Module ส่วนติดต่อกับเซนเซอร์ และส่วนควบคุมการสื่อสารของโปรโตคอล DALI



ภาพที่ 4-1 แผนผังโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลมาสเตอร์

4.1.1. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลมาสเตอร์

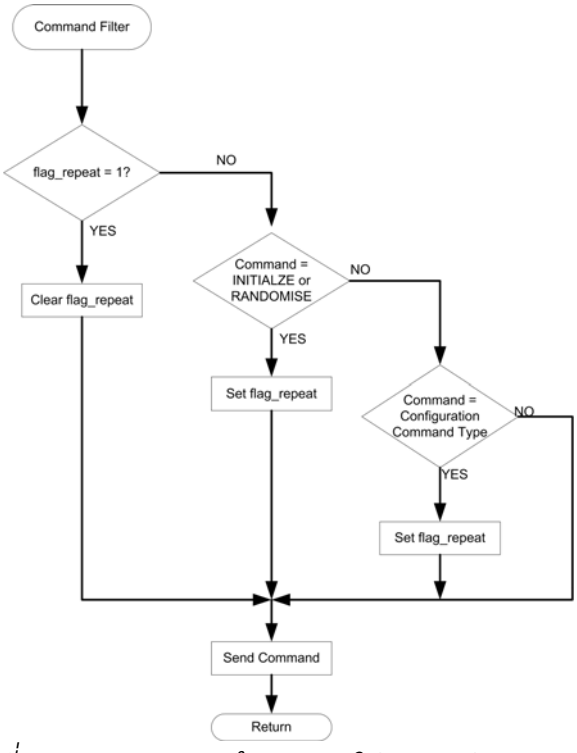
การทำงานส่วนโปรแกรมควบคุมมอดูลมาสเตอร์ เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ได้แก่ รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ต I/O, รีจิสเตอร์ควบคุมมอดูล SPI สำหรับ EPROM และมอดูล Zigbee, รีจิสเตอร์ควบคุมมอดูล ADC สำหรับการติดต่อกับเซนเซอร์วัดแสง, รีจิสเตอร์ควบคุมตัวจับเวลา (Timer) จากนั้นจะเข้าสู่ Zigbee Task ซึ่งเป็นส่วนโปรแกรมสำเร็จรูป Zigbee2006 ของบริษัท Microchip Technology ที่รองรับการติดต่อด้วยโปรโตคอล Zigbee โดยส่วน Zigbee Task จะทำหน้าที่ เช่น การร้องขอเข้าร่วมเครือข่าย, การดูแลควบคุมความปลอดภัยให้กับข้อมูล และสร้างฟังก์ชั่นสำหรับการสื่อสารด้วยโปรโตคอล Zigbee ให้สะดวกต่อการเรียกใช้งาน เป็นต้น จากนั้นจะเข้าสู่โปรแกรมส่วนการสื่อสาร DALI โดยโปรแกรมส่วนการสื่อสารจะวนลูปเช็คโหมดการทำงาน เมื่ออยู่โหมดปกติโปรแกรมจะคอยรอคำสั่งจากมอดูล Zigbee เมื่อมีคำสั่งถูกส่งมา โปรแกรมจะเข้ารหัสคำสั่ง เป็นเฟรมคำสั่งแบบไปข้างหน้า (forward frame) แล้วส่งคำสั่งไปให้มอดูลสเลฟเพื่อสั่งการทำงาน ในกรณีผู้ใช้งานเปิดการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับบุคคลหรือเซนเซอร์วัดแสง เพื่อใช้ในการสั่งปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟตามค่าความสว่างขณะนั้น และสั่งปิด- เปิดหลอดไฟตามค่าการตรวจจับของเซนเซอร์ตรวจจับบุคคล โปรแกรมจะตรวจสอบว่าหลอดไฟใดมีการเปิดการทำงานของเซนเซอร์ชนิดใดบ้าง แล้วทำการปรับระดับการส่องสว่างตามการตรวจจับของเซนเซอร์นั้นๆ โดยรายละเอียดของโปรแกรมแต่ละส่วนจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4-2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนมอดูลมาสเตอร์

4.1.2. โปรแกรมส่วนกรองคำสั่ง

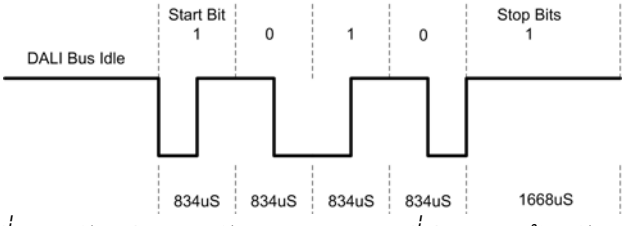
ชุดคำสั่งของ DALI จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ โดยบางคำสั่งถูกกำหนดให้ต้องมีการคำสั่งทั้งหมด 2 ครั้งภายใน 100 ms ได้แก่ชุดคำสั่งตั้งค่า (Configuration Command) และบางคำสั่งของชุดคำสั่งพิเศษ (Special Command) แผนภาพการทำงานของโปรแกรมกรองคำสั่งแสดงดังภาพที่ 4-3 โดยโปรแกรมจะตรวจเช็คคำสั่งที่รับมา ถ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 20H – 8FH ซึ่งเป็นชุดคำสั่งตั้งค่า (Configuration Command)หรือ A500H,A700H ซึ่งเป็นคำสั่ง INITIALISE, RANDOMISE โปรแกรมจะเซ็ต flag_repeat ก่อนจะส่งคำสั่งเพื่อให้โปรแกรมส่งคำสั่งอีกครั้งในรอบถัดไป



ภาพที่ 4-3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมส่วนกรองคำสั่ง

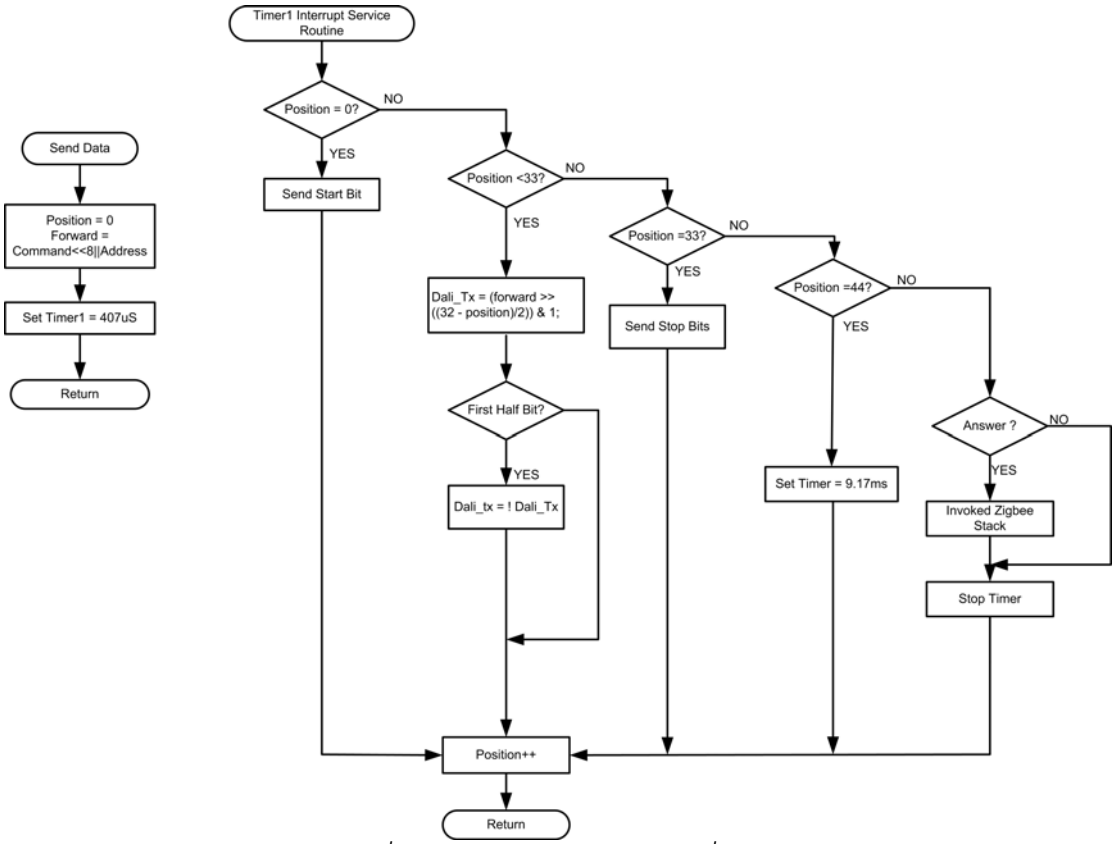
4.1.3. โปรแกรมควบคุมการส่งคำสั่ง

โปรแกรมส่วนส่งคำสั่งทำหน้าที่เข้ารหัสคำสั่งเป็นสัญญาณแบบ 2 เฟส (Bi-phase Encoding) ดังตัวอย่างในภาพที่ 4-4 เพื่อส่งไปควบคุมสั่งการมอดูลสเลฟในระบบ



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างของสัญญาณ DALI ที่ผ่านการเข้ารหัสแบบ Bi-Phase

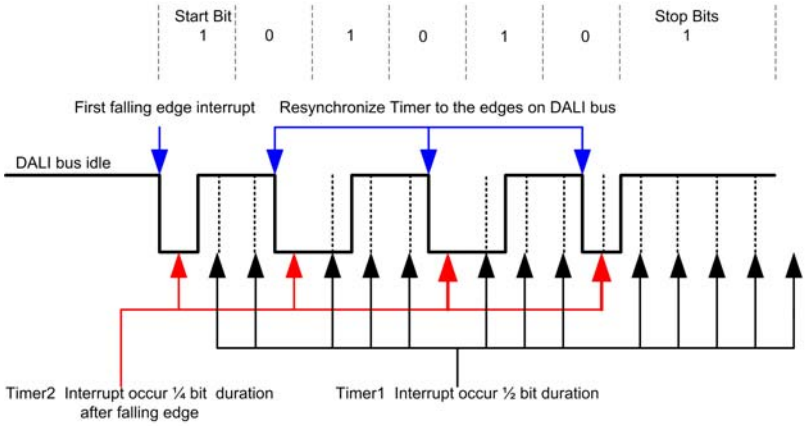
การทำงานของโปรแกรมมีแผนภาพแสดงดังภาพที่ 4-5 เมื่อต้องการส่งคำสั่ง โปรแกรมจะเปิดการทำงานของ Timer ให้ขัดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกๆ 417 μs เพื่อกำหนดคาบเวลาในการส่ง ให้สอดคล้องกับคาบเวลาของคำสั่ง DALI ซึ่งมีค่า 834 μs ดังนั้นการส่งคำสั่งแต่ละบิตจะเกิดการขัดจังหวะทั้งหมด 2 ครั้งเพื่อส่งบิตข้อมูลในส่วนครึ่งแรก และครึ่งหลังในส่วนของฟังชันก์อินเตอร์รัป โปรแกรมจะเริ่มส่งบิตเริ่มต้นก่อน จากนั้นตามด้วยแอดเดรสและคำสั่ง และบิตหยุดโดยในโปรแกรมจะมีการนับจำนวนของการขัดจังหวะเพื่อเช็คว่าขณะนี้คำสั่งที่ถูกส่งอยู่บิตที่เท่าไร หลังจากส่งบิตหยุด โปรแกรมจะเปลี่ยนตัวจับเวลาให้จับเวลา เป็นเวลา 9.17ms เพื่อรอว่ามีข้อมูลตอบรับจากมอดูลสเลฟภายในเวลา 9.17ms หรือไม่ ถ้ามีข้อมูลถูกส่งกลับมา โปรแกรมจะเรียกซอฟต์แวร์ Zigbee Stack เพื่อส่งข้อมูลให้มอดูลประสานงานเครือข่ายส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ ถ้าไม่มีการตอบรับจากมอดูลสเลฟโปรแกรมจะถือว่าไม่มีข้อมูลถูกส่งกลับมา



ภาพที่ 4-5 แผนผังการเข้ารหัสคำสั่ง DALI

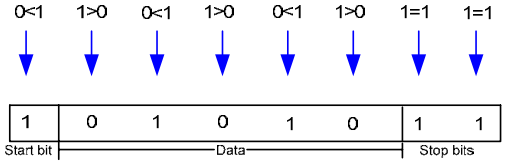
4.1.4. โปรแกรมควบคุมการรับข้อมูล

การทำงานของโปรแกรมควบคุมการรับข้อมูลมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4-6 โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล DALI ที่ได้รับมาจากมอดูลสเลฟ โดยการถอดรหัสจะใช้ตัวขัดจังหวะจากภายนอก และตัวจับเวลาในการถอดรหัส การทำงานของโปรแกรมเมื่อมีขอบขาลงเกิดขึ้น จะเกิดสัญญาณขัดจังหวะ โปรแกรมจะเปิดการทำงานของ timer2 ให้จับเวลาไปที่ ¼ ของคาบเวลาซึ่งตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางของบิตเริ่มต้นเฟสแรก เมื่อเกิดการขัดจังหวะจาก timer 2 โปรแกรมจะเปิดการทำงานของ timer1 ให้ขัดจังหวะที่ ½ ของคาบเวลาไปเรื่อยๆจนกว่า โปรแกรมจะสามารถตรวจจับขอบขาลงเพิ่มเริ่มต้นการซิงโครไนต์ให้การถอดรหัสเริ่มต้นที่ขอบขาลงของสัญญาณ จากนั้นโปรแกรมจะเปิดการทำงานของ timer 2 ให้จับเวลาไปที่ ¼ ของคาบเวลา เมื่อเกิดการขัดจังหวะจาก timer 2 โปรแกรมจะเปิดการทำของ timer1 อีกครั้งให้ขัดจังหวะที่ที่ ½ ของคาบเวลาจนกว่าโปรแกรมจะเจอขอบขาลงเพื่อซิงโครไนต์การถอดรหัสอีกครั้ง โดยโปรแกรมจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะตรวจเจอบิตหยุด ดังนั้นโปรแกรมจะเกิดการขัดจังหวะจาก timer ทุกๆตำแหน่งกึ่งกลางของสัญญาณแต่ละบิตทั้งเฟสแรกและเฟสที่สอง ทุกๆครั้งที่เกิดการขัดจังหวะจาก timer โปรแกรมจะอ่านค่าของระดับสัญญาณขณะนั้นๆมาเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ หลังจากรับข้อมูลเสร็จสิ้นข้อมูลที่แท้จริงหาได้จากค่าการเปรียบเทียบค่าในแต่บิตแต่ละคู่ที่ติดกันในบัฟเฟอร์



ภาพที่ 4-6 แผนผังการถอดรหัสข้อมูล DALI

จากตัวอย่างในภาพที่ 4-6 ค่าที่บัฟเฟอร์เก็บไว้คือ 011001100110 ดังนั้นข้อมูลที่แท้จริงจะได้จากการเปรียบเทียบค่าของบิตแต่ละคู่ที่ติดกันในบัฟเฟอร์ดังภาพที่ 4-7 คือ 01010



ภาพที่ 4-7 วิธีการเปรียบเทียบค่าในบัฟฟเฟอร์เพื่อหาข้อมูลที่แท้จริง

4.1.5. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

ในการเปิด-ปิดการทำงานของเซนเซอร์ ผู้ใช้งานสามารถสั่งการได้ผ่านทางซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ โดยมีคำสั่งที่ถูกเพิ่มขึ้นมานอกเหนือจากคำสั่ง DALI เพื่อจัดการเปิด-ปิดการทำงานของเซนเซอร์ ได้ถูกกำหนดไว้ดังตารางที่ 4-1

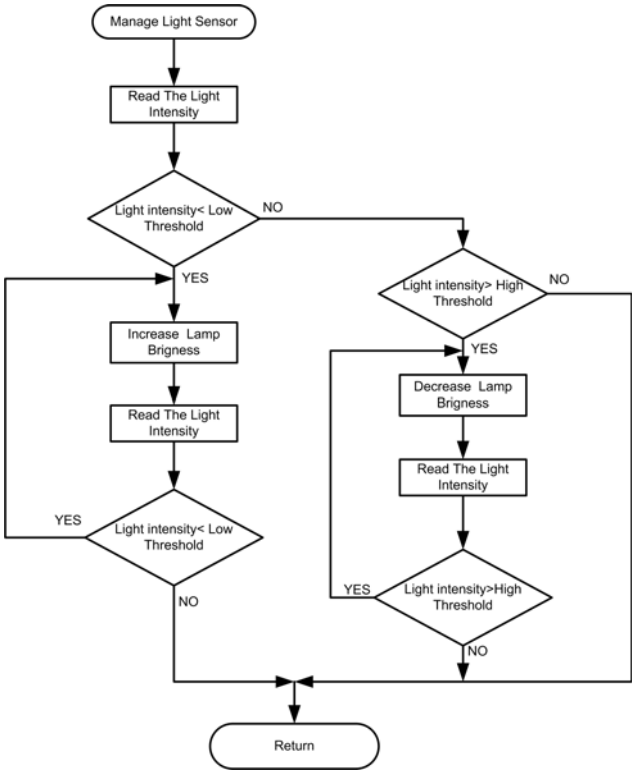
ตารางที่ 4-1 คำสั่งที่เพิ่มขึ้นมานอกเหนือจากคำสั่ง DALI

คำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง
0AAA AAA1 0000 1001	เปิดการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง
0AAA AAA1 0000 1010	ปิดการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง
0AAA AAA1 0000 1011	เปิดการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว
0AAA AAA1 0000 1100	ปิดการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว
โดยที่ A คือแอดเดรสแบบรายตัวของหลอดไฟที่ต้องการเปิด-ปิดการทำงานของเซนเซอร์	

ส่วนรายละเอียดซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์แต่ละตัวได้แก่

4.1.5.1. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง

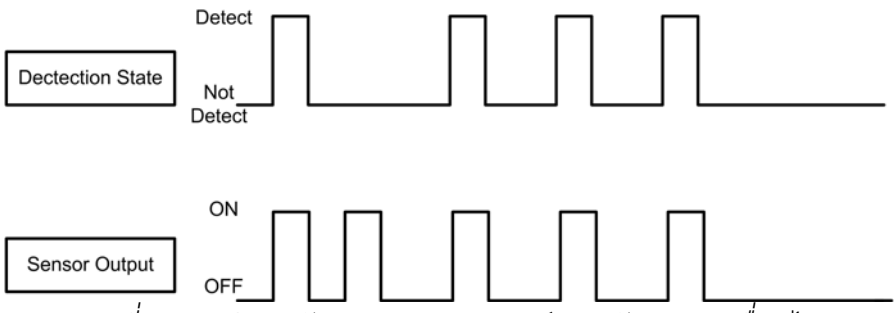
เมื่อผู้ใช้งานเปิดการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง โปรแกรมจะจัดการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟที่เปิดการทำงานของเซนเซอร์ ให้สอดคล้องกับค่าปริมาณการส่องสว่างในขณะนั้น ขั้นตอนวิธีการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟมีรายละเอียดดังภาพที่ 4-8 โดยโปรแกรมจะถูกเรียกทุกๆ 15 นาทีเพื่ออ่านค่าปริมาณการส่องสว่างที่เซนเซอร์วัดได้ ถ้าค่าปริมาณการส่องสว่างมีค่าน้อยกว่า Low Threshold ซึ่งหมายถึงแสงสว่างขณะนั้นมีค่าน้อยเกินไป โปรแกรมจะเพิ่มระดับการส่องสว่างของหลอดไฟจนกว่าค่าปริมาณการส่องสว่างที่เซนเซอร์วัดได้จะมีค่ามากกว่าค่า Low Threshold ในกรณีที่แสงสว่างภายในห้องมีค่ามากเกินไปค่าปริมาณการส่องสว่างจะมีค่ามากกว่า High Threshold โปรแกรมจะลดระดับการส่องสว่างของหลอดไฟจนกว่าค่าปริมาณการส่องสว่างที่เซนเซอร์วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าค่า High Threshold ซึ่งค่าปริมาณการส่องสว่างที่พอเหมาะจะมีค่าอยู่ระหว่าง Low Threshold และ High Threshold ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าดังกล่าวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการใช้งานได้ผ่านทางซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 4-8 แผนผังการควบคุมเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่างสำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟโดยอัตโนมัติ

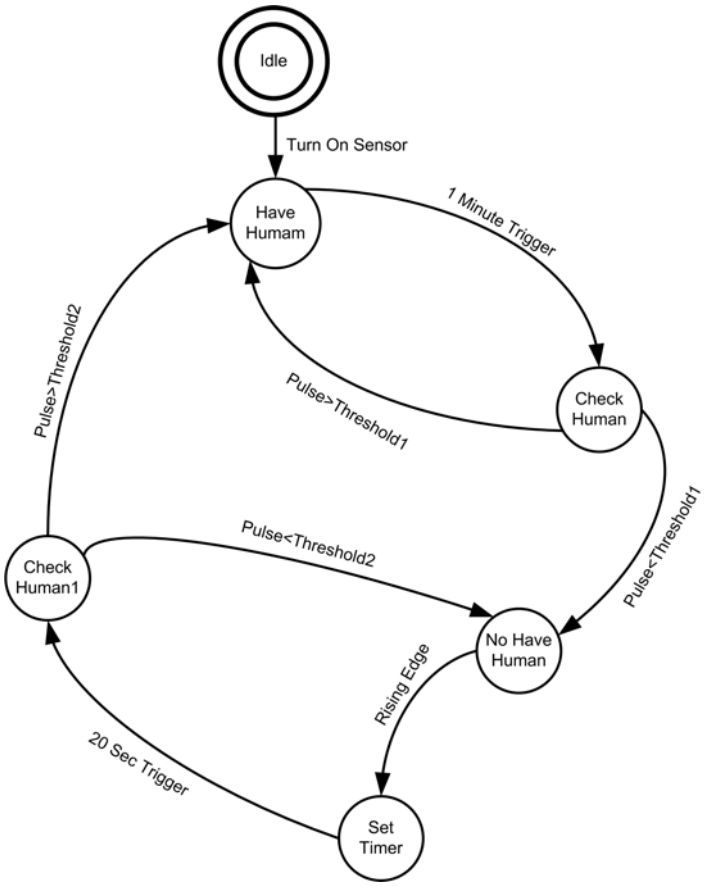
4.1.5.2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับบุคคล

หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวแบบ PIR คือ จะใช้การตรวจจับการแผ่รังสีอินฟาเรดซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต โดยในงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวมาใช้ในการเปิด-ปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติโดยขึ้นอยู่กับว่ามีคนอยู่ในห้องหรือไม่ การทำงานของเซนเซอร์จะให้เอาต์พุตดังภาพที่ 4-9 คือเมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่า 0 โวลต์ เมื่อมีการเคลื่อนไหวสัญญาณเอาต์พุตจะมีค่า 5 โวลต์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายสัญญาณพัลป์เนื่องจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะไม่ต่อเนื่อง



ภาพที่ 4-9 รูปแบบสัญญาณของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ การควบคุมการปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติ และการเปิดหลอดไฟอัตโนมัติ โดยในส่วนการปิดหลอดไฟอัตโนมัติ ในสถานะเริ่มต้นจะกำหนดให้ห้องที่ต้องการเป็นสถานะมีคนอยู่ในห้อง โปรแกรมจะเข้าสู่การตรวจสถานะคนภายในห้องทุกๆ 1 นาที โดยในช่วงเวลา 1 นาทีนี้โปรแกรมจะนับจำนวนพัลป์ที่ออกจากเอาต์พุตของเซนเซอร์ เมื่อครบกำหนด 1 นาทีโปรแกรมจะเปรียบเทียบจำนวนพัลป์ที่วัดได้กับค่าเทรชโฮลค่าหนึ่ง ถ้าจำนวนพัลป์มีจำนวนมากกว่าค่าเทรชโฮลด์ซึ่งหมายความว่ามีคนอยู่ในห้องโปรแกรมตั้งเวลาเพื่อตรวจสอบในรอบต่อไป แต่ถ้าจำนวนพัลป์ที่นับได้มีจำนวนน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ซึ่งหมายถึงไม่มีคนอยู่ในห้อง โปรแกรมจะสั่งปิดหลอดไฟที่เปิดการทำงานของเซนเซอร์ ในส่วนโปรแกรมเปิดหลอดไฟแบบอัตโนมัติ โปรแกรมจะคอยตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณซึ่งแสดงถึงมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น เมื่อเกิดขอบขาขึ้นโปรแกรมจะจับเวลา 20 วินาทีเพื่อนับพัลป์ที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ หลังจากครบ 20 วินาทีถ้าจำนวนพัลป์ที่นับได้มีค่ามากกว่า ค่าเทรชโฮลด์ค่าหนึ่ง ซึ่งหมายถึงมีคนเข้ามาในห้องโปรแกรมจะสั่งเปิดหลอดไฟที่เปิดการทำงานของเซนเซอร์ไว้ แต่ถ้าจำนวนพัลป์มีจำนวนน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ ซึ่งหมายถึงพัลป์ที่นับได้อาจเกิดจากสัญญาณรบกวน โปรแกรมจะไม่สั่งเปิดไฟและวนกลับไปตรวจจับความเคลื่อนไหวในครั้งต่อไป

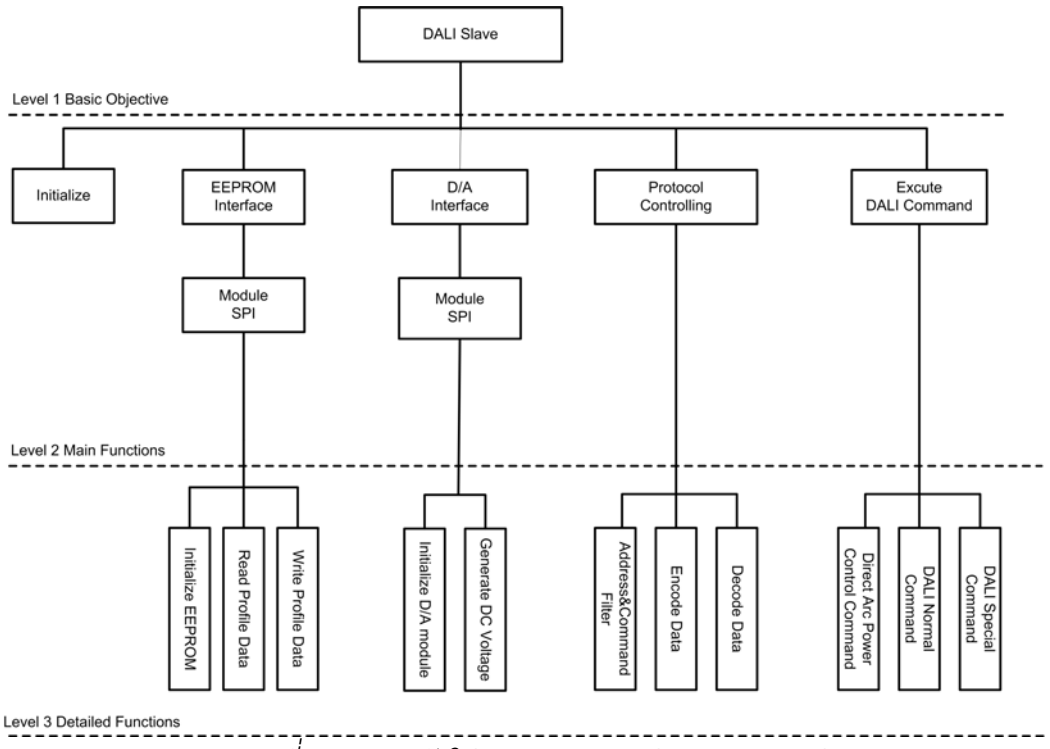


ภาพที่ 4-10 แผนผัง ASM สำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

4.2. รายละเอียดโครงสร้างซอฟต์แวร์ของมอดูลสเลฟ

โปรแกรมควบคุมของมอดูลสเลฟใช้ภาษาซีในการพัฒนา โดยใช้โปรแกรม MPLAB IDE C18 ของบริษัท Microchip Technology ซอฟต์แวร์ทำหน้าที่รับคำสั่งจากมอดูลมาสเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงานตามมาตรฐาน DALI

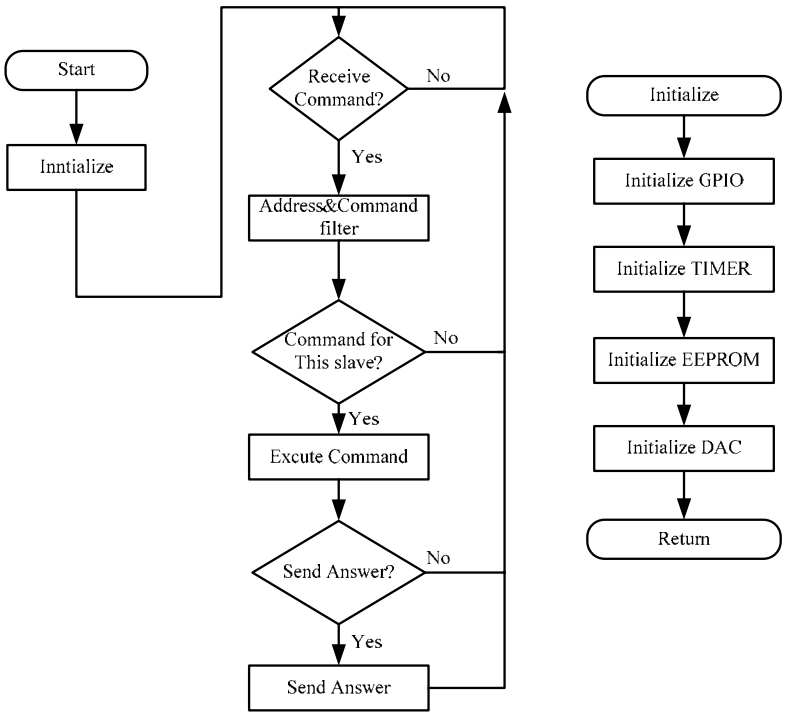
โครงสร้างของซอฟต์แวร์ สามารถแสดงรายละเอียดตามแผนภาพดังภาพที่ 4-11 ฟังชันก์การทำงานหลักประกอบด้วย ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ต่างๆ ส่วนติดต่อกับอีอีพรอม ส่วนติดต่อกับชิปแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อก(Digital to Analog Conversion) ส่วนควบคุมการสื่อสารของโปรโตคอล DALI ทั้งในส่วนการรับ-ส่งคำสั่งและส่วนควบคุมการปฏิบัติ (Excute) คำสั่ง



ภาพที่ 4-11แผนผังโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลสเลฟ

4.2.1. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมส่วนมอดูลสเลฟ

การทำงานของโปรแกรม จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นของ รีจิสเตอร์ควบคุมส่วนต่างๆได้แก่ พอร์ต I/O, อีอีพรอม, ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนาล็อก, ตัวจับเวลา, ตัวขัดจังหวะจากภายนอก จากนั้นโปรแกรมจะวนลูปเพื่อรอคำสั่งจากมอดูลมาสเตอร์ เมื่อมีคำสั่งถูกส่งเข้ามา โปรแกรมก็จะตรวจสอบแอดเดรสที่ส่งมากับแอดเดรสของตัวเอง ถ้าตรงกัน โปรแกรมก็จะนำคำสั่งที่ได้มาไปเทียบกับคำสั่งในตารางคำสั่งว่าเป็นคำสั่งชนิดใด แล้วก็ปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้รับมา จากนั้นโปรแกรมตรวจสอบว่ามีข้อมูลที่ต้องส่งกลับไปยังมอดูลมาสเตอร์หรือไม่ ถ้ามีก็เข้ารหัสข้อมูลแล้วส่งไปยังมอดูลมาสเตอร์ แล้วกลับไปรอคำสั่งในรอบต่อไป โดยแต่ละรอบการทำงานมีแผนภาพแสดงดังภาพที่ 4-12

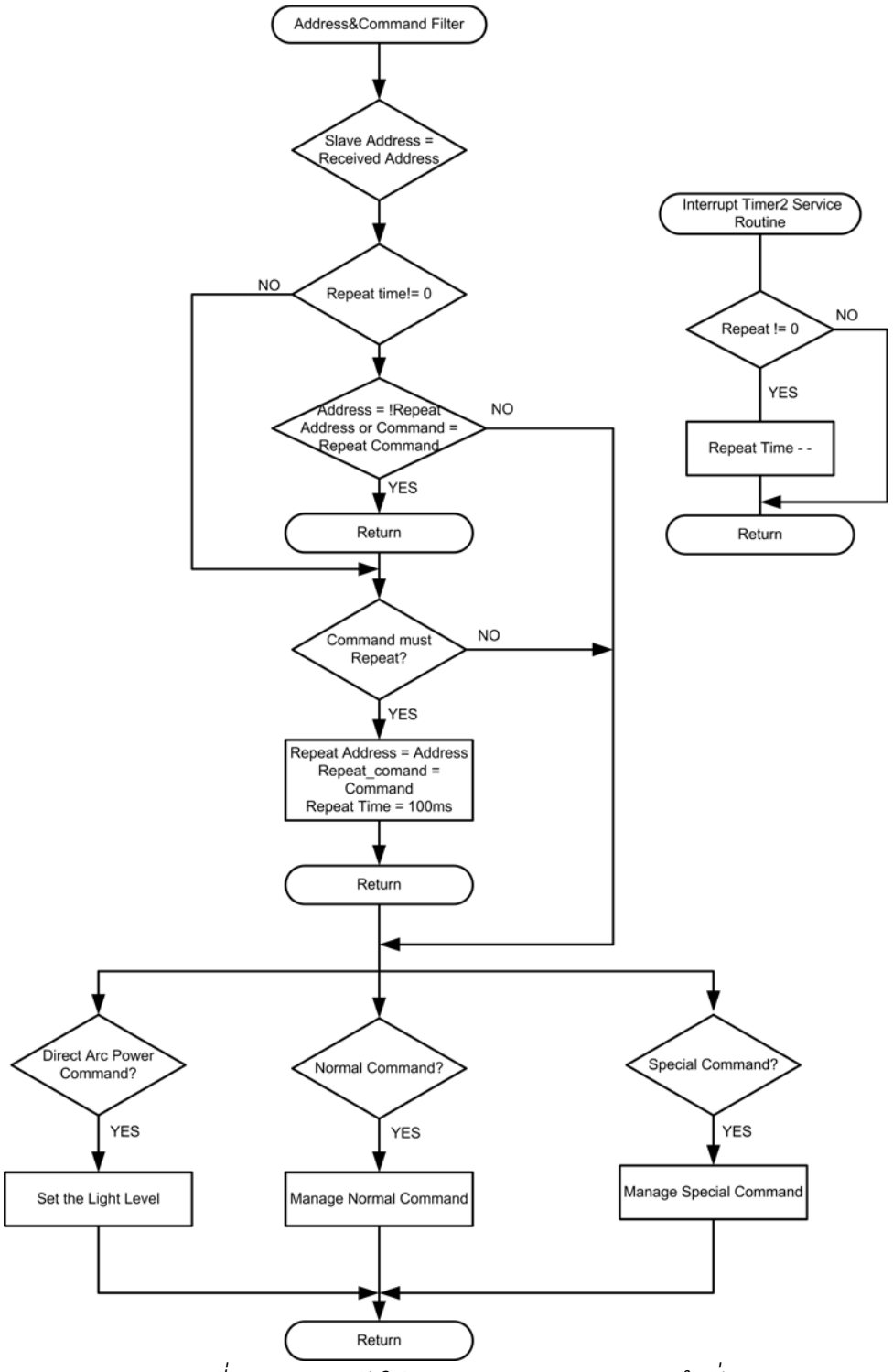


ภาพที่ 4-12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานส่วนมอดูลสเลฟ

4.2.2. โปรแกรมกรองแอดเดรสและคำสั่ง

โปรแกรมส่วนนี้ทำหน้าที่ในการตรวจสอบคำสั่งและแอดเดรสที่ได้รับมา การทำงานของโปรแกรมขั้นแรก จะตรวจสอบว่าแอดเดรสที่รับมาตรงกับแอดเดรสของตัวเองหรือไม่ ซึ่งมีได้ 4 กรณีคือ แอดเดรสแบบรายตัว, แอดเดรสแบบกลุ่ม, แอดเดรสแบบกระจาย, และคำสั่งพิเศษ หลังจากนั้นจะเข้าสู่ส่วนกรองคำสั่งเนื่องคำสั่งบางประเภทจะต้องมีการรับ 2 ครั้งภายใน 100 ms

ถ้าคำสั่งที่เป็นคำสั่งที่ต้องรับสองครั้ง โปรแกรมจะเปิดการทำงานของตัวจับเวลาไว้ที่ 100 ms ถ้าภายในช่วงเวลานี้มอดูลสเลฟยังไม่ได้รับคำสั่งเดิมกลับมาอีก โปรแกรมจะ Reject คำสั่งนั้น หลังจากการกรองคำสั่งเสร็จสิ้นแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่ฟังชันก์การปฏิบัติคำสั่งตามแต่ชนิดคำสั่งที่ได้รับมา กระบวนการทำงานของโปรแกรมกรองแอดเดรสและคำสั่งมีแผนผังแสดงดังภาพที่ 4-13



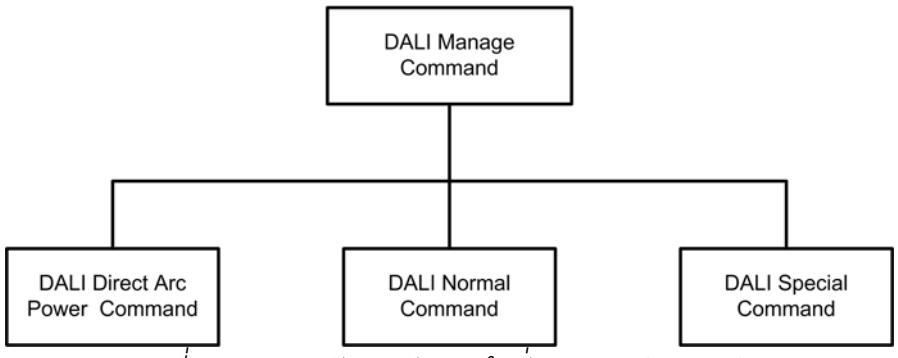
ภาพที่ 4-13 แผนผังโปรแกรมกรองแอดเดรสและคำสั่ง

4.2.3. โปรแกรมควบคุมการรับ-ส่งคำสั่ง

โปรแกรมควบคุมการรับส่งคำสั่งของมอดูลสเลฟจะมีรายละเอียดการทำงานเหมือนกับมอดูลมาสเตอร์ทุกประการ ต่างกันเพียงแค่จำนวนบิตของข้อมูลที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล คือในส่วนโปรแกรมส่งข้อมูลจำนวนบิตจะเปลี่ยนจาก 16 บิตเป็น 8 บิต และในส่วนโปรแกรมรับข้อมูลจำนวนบิตข้อมูลที่รับมาจะเปลี่ยนจาก 8 บิต เป็น 16 บิต

4.2.4. โปรแกรมจัดการคำสั่ง DALI

โปรแกรมจัดการคำสั่ง DALI ทำหน้าที่ควบคุมการปฏิบัติคำสั่งที่ได้รับมาจากผู้ใช้งาน โครงสร้างของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4-14 โดยการจัดการคำสั่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ โปรแกรมจัดการคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง (Direct Arc Power Command) โปรแกรมจัดการคำสั่งปกติ (DALI Normal Command) และโปรแกรมจัดการคำสั่งพิเศษ (Special Command) โดยรายละเอียดของโปรแกรมแต่ละส่วนจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4-14 แผนผังการจัดการคำสั่ง DALI ประเภทต่างๆ

4.2.4.1. โปรแกรมจัดการคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง

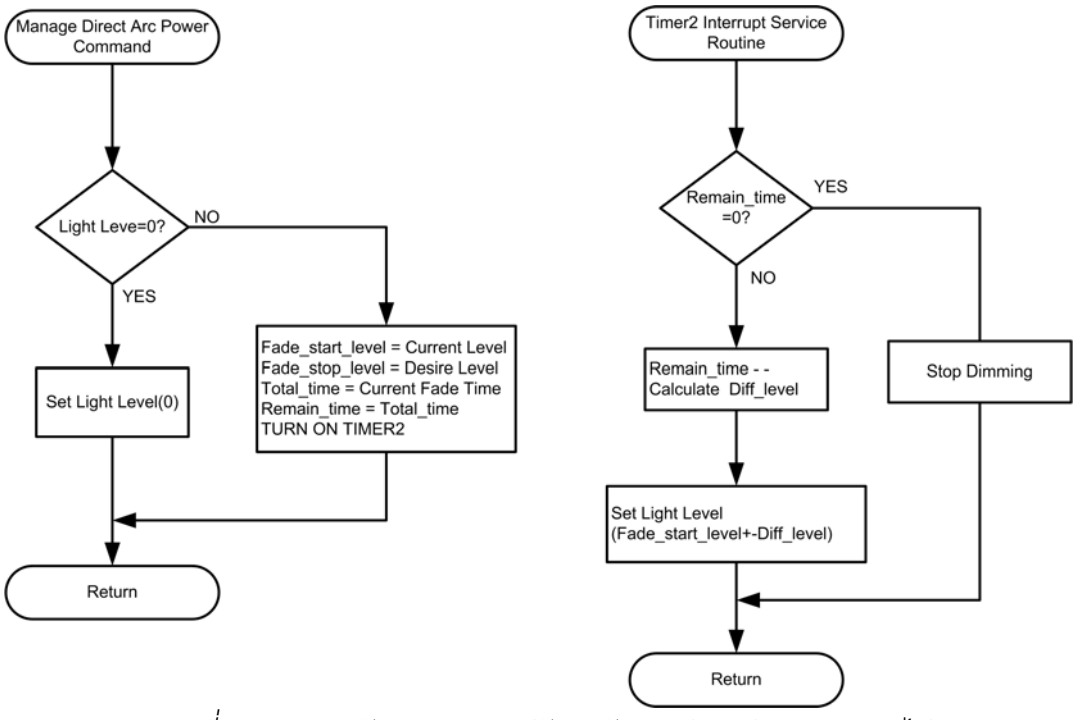
การทำงานของโปรแกรมมีแผนภาพแสดงดังภาพที่ 4-15 เมื่อผู้ใช้งานต้องการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ โปรแกรมดึงค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในกระบวนการปรับมาเก็บในตัวแปร ได้แก่ ค่าระดับการส่องสว่างของหลอดไฟขณะนั้น (Current Level) ค่าระดับการส่องสว่างของหลอดไฟที่ต้องการปรับ(Desire Level) เวลาที่ใช้ในการปรับ (Fade Time) จากนั้นโปรแกรมจะเปิดการทำงานของ Timer3 ให้ขัดจังหวะการทำงานทุกๆ 20ms เพื่อควบคุมเวลาที่ใช้ในการปรับ ในส่วนโปรแกรมตอบสนองการอินเตอร์รัป โปรแกรมจะปรับระดับการส่องสว่างขึ้นหรือลง โดยการปรับระดับการส่องสว่างจะใช้วิธีแบบเชิงเส้นดังสมการ 4.1 สำหรับกรณีปรับขึ้น

$$Diff_level = (desire_level - current_level) \times \frac{(Total_time - \mathrm{Re}main_time)}{Total_time} \qquad (4.1)$$

ส่วนกรณีปรับลงระดับการส่องสว่างจะลดลงทุกครั้งที่เกิดการอินเทอรัปดังสมการ 4.2

$$Diff\ _level = (current\ _level - desire\ _level) \times \frac{(Total\ _time - \mathrm{Re}\,main\ _time)}{Total\ _time} \quad (4.2)$$

เมื่อเกิดการขัดจังหวะขึ้นแต่ละครั้ง โปรแกรมลดค่าเวลาคงเหลือ (Remain_time) และปรับระดับการส่องสว่างขึ้น หรือลงตามค่าที่ได้จากสมการที่ 4.1 หรือ 4.2 จนกระทั่งจำนวนครั้งการขัดจังหวะครบตามกำหนดเมื่อเวลาคงเหลือ(Remain_time) เป็น 0 ระดับการส่องสว่างจะอยู่ในระดับที่ต้องการพอดี



ภาพที่ 4-15 แผนผังควบคุมการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ

4.2.4.2. โปรแกรมจัดการคำสั่ง DALI Normal Command

โปรแกรมจัดการส่วนคำสั่ง DALI Normal Command ทำหน้าที่จัดการตอบสนองต่อคำสั่งที่ได้รับมาจากผู้ใช้ ซึ่งเป็นคำสั่งทั่วๆไป สามารถแบ่งโปรแกรมจัดการคำสั่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. คำสั่งปรับระดับการส่องสว่างทางอ้อม

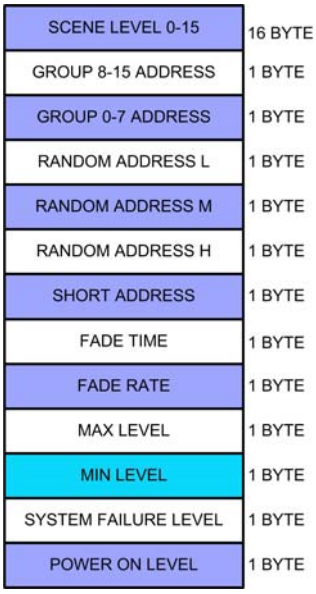
โปรแกรมส่วนนี้จะเหมือนกันกับโปรแกรมในส่วนคำสั่งปรับระดับการส่องสว่างโดยตรง ซึ่งได้อธิบายดังหัวข้อก่อนหน้า ต่างกันตรงที่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดความเร็วในการปรับในบางคำสั่งจะขึ้นกับพารามิเตอร์ตัวอื่น ดังสรุปในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วในการปรับของคำสั่งต่างๆ

Command	Fade Parameter
OFF	No Fade
UP	Fade Rate
DOWN	Fade Rate
STEP UP	No Fade
STEP DOWN	No Fade
RECALL MAX LEVEL	No Fade
RECALL MIN LEVEL	No Fade
STEP DOWN AND OFF	No Fade
ON AND STEP UP	No Fade
GO TO SCENE	Fade Time

2. คำสั่งตั้งค่าและเรียกดูค่าพารามิเตอร์

โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่จัดการในส่วนการบันทึกและเรียกดูค่าพารามิเตอร์ของ DALI ซึ่งใช้ในการกำหนดคุณลักษณะต่างๆของการทำงาน เช่นความเร็วการปรับ อัตราเร็วการปรับ ระดับแสงสว่างที่ซีนต่างๆ ระดับการส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดที่ปรับได้ เป็นต้น โดยการจัดพื้นที่หน่วยความจำสำหรับพารามิเตอร์แต่ละตัวแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4-16



ภาพที่ 4-16 แผนผังการแบ่งหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ของ DALI

4.2.4.3. โปรแกรมจัดการคำสั่งพิเศษ

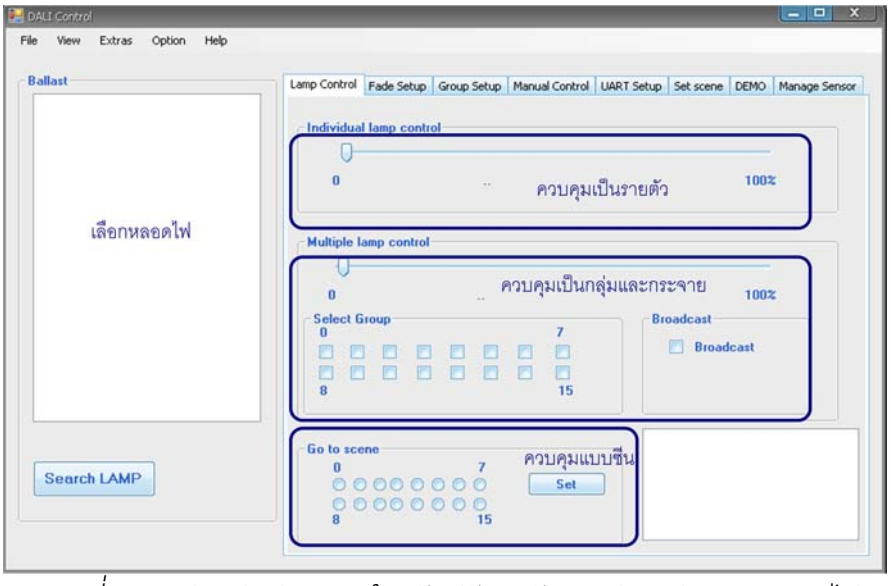
โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่ตอบสนองต่อคำสั่งพิเศษซึ่งจะเป็นคำสั่งที่ทำหน้าที่จัดการกระบวนการจัดสรรแอดเดรสแบบรายตัว ให้แก่มอดูลสเลฟที่ถูกติดตั้งเข้าในระบบ และใช้ในการเก็บข้อมูลลงในริจิสเตอร์ DTR เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับบันทึกลงในพารามิเตอร์ของ DALI โดยในส่วนขั้นตอนการจัดสรรแอดเดรสจะถูกอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

4.3. โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ในการรับคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ นอกจากนี้ยังมีส่วนสำหรับค้นหามอดูลสเลฟในระบบโดยอัตโนมัติ การพัฒนาโปรแกรมควบคุมบนคอมพิวเตอร์พัฒนาโดยใช้ชุดโปรแกรม Visual studio 2008 โดยโครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ ส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ ส่วนค้นหามอดูลสเลฟ และส่วนควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

4.3.1. ส่วนต่อประสานสำหรับปรับระดับส่องสว่างของหลอดไฟ

ส่วนต่อประสานสำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟมีรายละเอียดดังภาพที่ 4-17 การควบคุมหลอดไฟสามารถทำได้ 3 รูปแบบคือการควบคุมหลอดไฟเป็นรายตัว ซึ่งสามารถเลือกหลอดไฟที่ต้องการควบคุมได้จาก Listbox การควบคุมแบบกลุ่มและการควบคุมแบบกระจาย(Broadcast) นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดซีนการแสดงผลของหลอดไฟโดยกำหนดได้ 16 ซีน



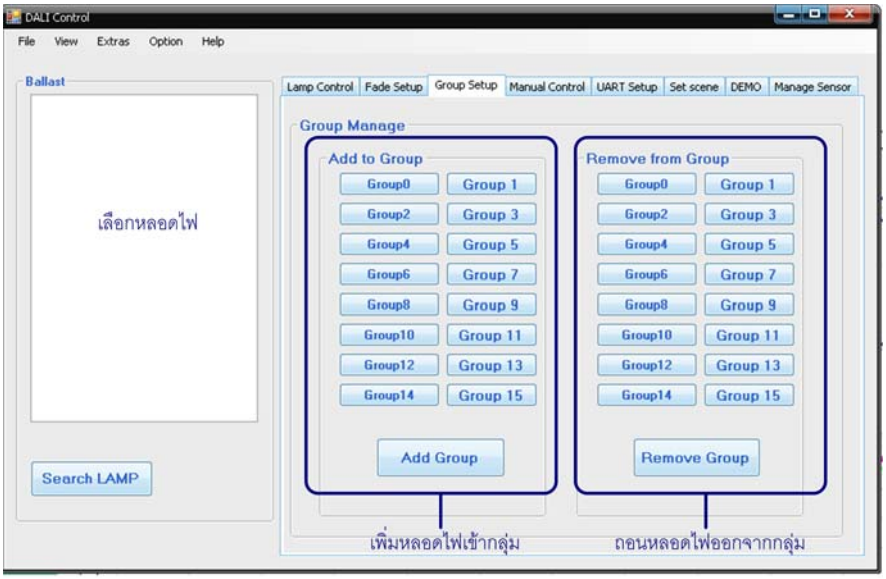
ภาพที่ 4-17 ส่วนต่อประสานสำหรับปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ

4.3.2. ส่วนต่อประสานสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ

โปรแกรมส่วนนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอดูลสเลฟ เพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมหลอดไฟ โดยโปรแกรมส่วนนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ โปรแกรมจัดการกลุ่ม โปรแกรมกำหนดซีน และโปรแกรมกำหนดค่าพารามิเตอร์ FADE RATE และ FADE TIME

4.3.2.1. ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการกลุ่มของมอดูลสเลฟ

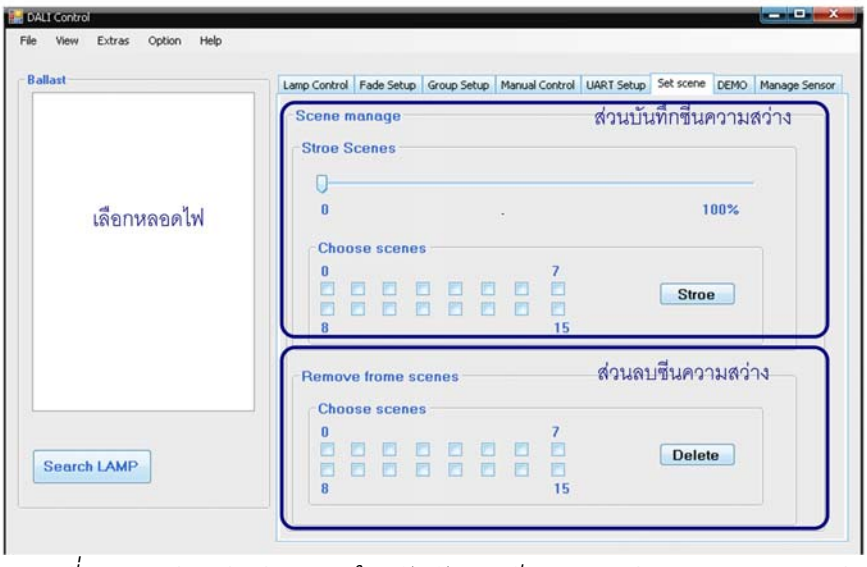
ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการกลุ่มของมอดูลสเลฟ มีรายละเอียดดังภาพที่ 4-18 ทำหน้าที่ในการเพิ่มมอดูลสเลฟเข้ากลุ่ม และถอนมอดูลสเลฟออกจากกลุ่ม โดยในโปรแกรมส่วนนี้สามารถเพิ่ม- ถอนอุปกรณ์ได้สูงสุด 16 กลุ่ม



ภาพที่ 4-18 ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการกลุ่มของมอดูลสเลฟ

4.3.2.2. ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการซีนความสว่าง

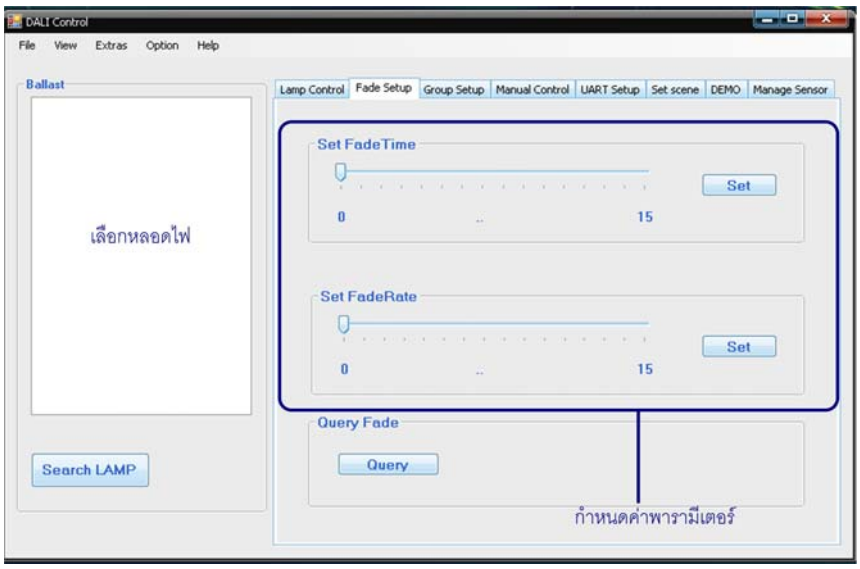
ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการซีนมีรายละเอียด 2 ส่วน ส่วนแรกคือบันทึกค่าระดับการส่องสว่างลงในหน่วยความจำของมอดูลสเลฟ ซึ่งกำหนดไว้ที่ 16 ซีน โดยระดับการส่องสว่างที่บันทึกได้มีค่าตั้งแต่ 0-254 ส่วนที่สองคือการลบค่าความสว่างในซีนที่ต้องการ การลบซีนทำได้โดยบันทึกค่าระดับความสว่างในซีนนั้นๆให้มีค่าเป็น 255 (Not change) ซึ่งเป็นค่าที่หลอดไฟจะไม่ตอบสนองต่อคำสั่งปรับระดับการส่องสว่าง รายละเอียดของโปรแกรมส่วนจัดการซีนแสดงดังภาพที่ 4-19



ภาพที่ 4-19 ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการซีนความสว่างของมอดูลสเลฟ

4.3.2.3. **ส่วนต่อประสานสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์** FADE

โปรแกรมส่วนนี้เป็นโปรแกรมสำหรับกำหนดความเร็วและอัตราเร็วในการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ โดยกำหนดผ่านทางพารามิเตอร์ FADE RATE และ FADE TIME และมีส่วนสำหรับแสดงผลค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4-20



ภาพที่ 4-20 ส่วนต่อประสานสำหรับจัดการความเร็วและอัตราเร็วในการปรับระดับการส่องสว่างของมอดูลสเลฟ

4.3.3. โปรแกรมส่วนจัดการแอดเดรสของมอดูลสเลฟ

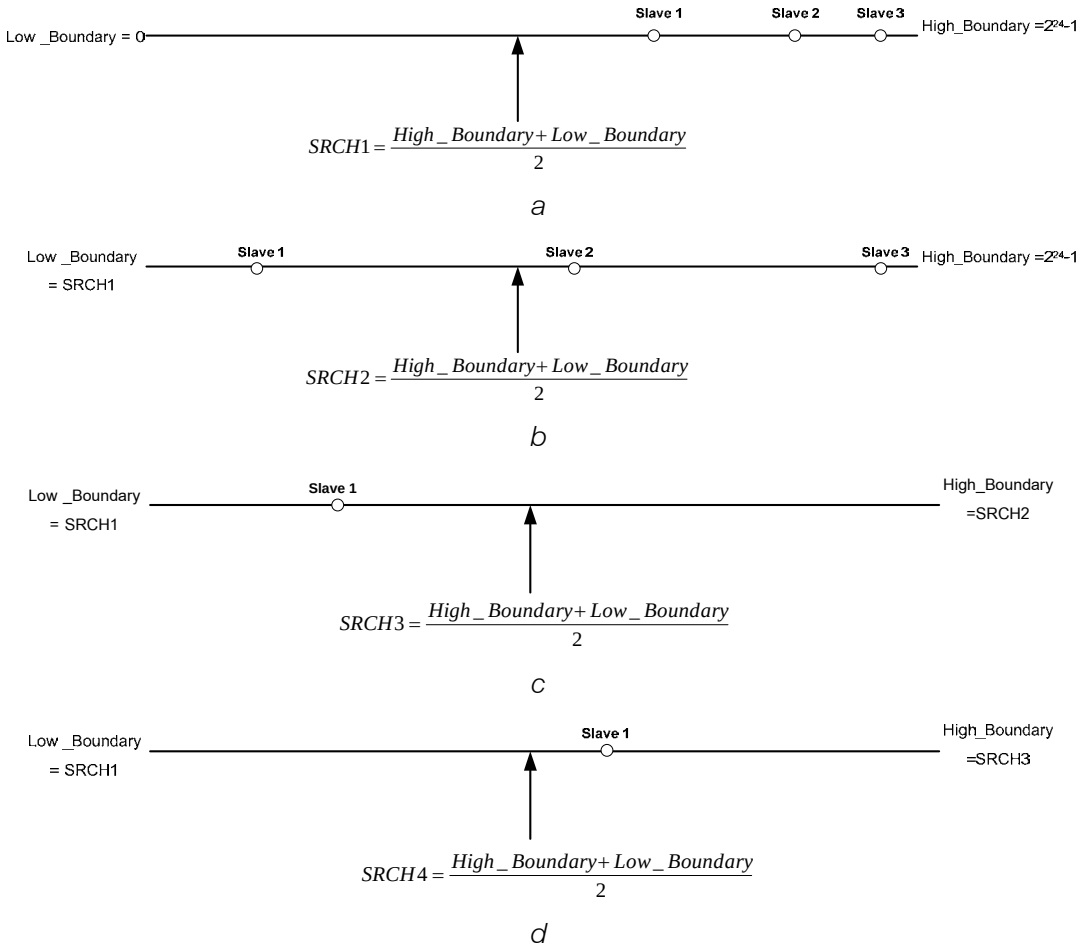
โปรแกรมจัดการแอดเดรสทำหน้าที่จัดสรรแอดเดรสแบบรายตัว(Short Address) ให้แก่มอดูลสเลฟที่ถูกติดตั้งเข้าในระบบ โดยโปรโตคอลได้กำหนดคำสั่งพิเศษที่ใช้ในการจัดสรรแอดเดรสซึ่งมีได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยได้เลือกใช้วิธีการจัดสรรแอดเดรสแบบสุ่ม (Random Addressing Method) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มต้นกระบวนการโดยส่งคำสั่ง “INITIALISE” เพื่อเริ่มต้นกระบวนการกำหนดแอดเดรส
2. โปรแกรมส่งคำสั่ง “RANDOMISE” เพื่อให้มอดูลสเลฟแต่ละตัวสุ่มเลขขึ้นมา 24 บิต ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0- 2^{24}-1
3. เริ่มต้นกระบวนการค้นหาแอดเดรสโดย ส่งแอดเดรสค้นหาขนาด 24 บิต แล้วตามด้วยคำสั่ง “COMPARE” เพื่อให้มอดูลสเลฟเปรียบเทียบค่าเลขสุ่มของตัวเองกับแอดเดรสค้นหา ถ้าเลขสุ่มของตัวเองมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแอดเดรสค้นหา มอดูลสเลฟตัวนั้นจะส่งคำตอบ “FF” กลับไปยังคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมจะส่งแอดเดรสค้นหาไปเรื่อยๆจนกว่าจะเจอมอดูลสเลฟที่มีค่าเลขสุ่มน้อยที่สุดซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการกำหนดแอดเดรส
4. โปรแกรมส่งคำสั่ง “PROMGRAM SHORT ADDRESS” เพื่อบันทึกค่า Short Address ลงไปในหน่วยความจำของมอดูลสเลฟค้นหาได้
5. โปรแกรมส่งคำสั่ง “VERIFY SHORT ADDRESS” เพื่อตรวจสอบว่ามอดูลสเลฟได้รับ Short Address อย่างถูกต้องหรือไม่
6. โปรแกรมส่งคำสั่ง “WITHDRAWN” เพื่อถอนมอดูลสเลฟที่ได้รับ Short Address แล้วออกจากกระบวนการ
7. ค้นหามอดูลสเลฟตัวต่อไปโดยทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3
8. หลังจากค้นหามอดูลสเลฟได้ครบทุกตัวแล้ว โปรแกรมจะส่งคำสั่ง “TERMINATE” เพื่อสิ้นสุดกระบวนการจัดสรรแอดเดรส

วิธีการค้นหามอดูลสเลฟที่มีค่าแอดเดรสสุ่ม (Random Address) ต่ำที่สุดจะใช้วิธีการค้นหาแบบแบ่งครึ่ง โดยในขั้นแรกโปรแกรมจะกำหนดขอบเขตของแอดเดรสที่ต้องการค้นหาให้อยู่ในช่วง 0 - (2^{24}-1) แล้วส่ง แอดเดรสค้นหา (Search Address) ตัวแรกซึ่งเป็นเป็นค่ากึ่งกลางของขอบเขตไปให้มอดูลสเลฟในระบบแล้วรอผลตอบสนองของมอดูลสเลฟ จากนั้นเปลี่ยนขอบเขตใหม่โดยขอบเขตใหม่ จะขึ้นอยู่กับผลการตอบสนองของมอดูลสเลฟแล้วจึงส่งแอดเดรสค้นหาตัวต่อไปซึ่งเป็นค่ากึ่งกลางของขอบเขตใหม่ ทำตามขั้นตอนนี้ไปเรื่อยๆจนในที่สุดแอดเดรสค้นหาก็จะ

ลู่เข้าสู่ค่าแอดเดรสสุ่มของมอดูลสเลฟที่มีค่าน้อยที่สุดซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ตัวแรกที่ได้รับการกำหนด short address

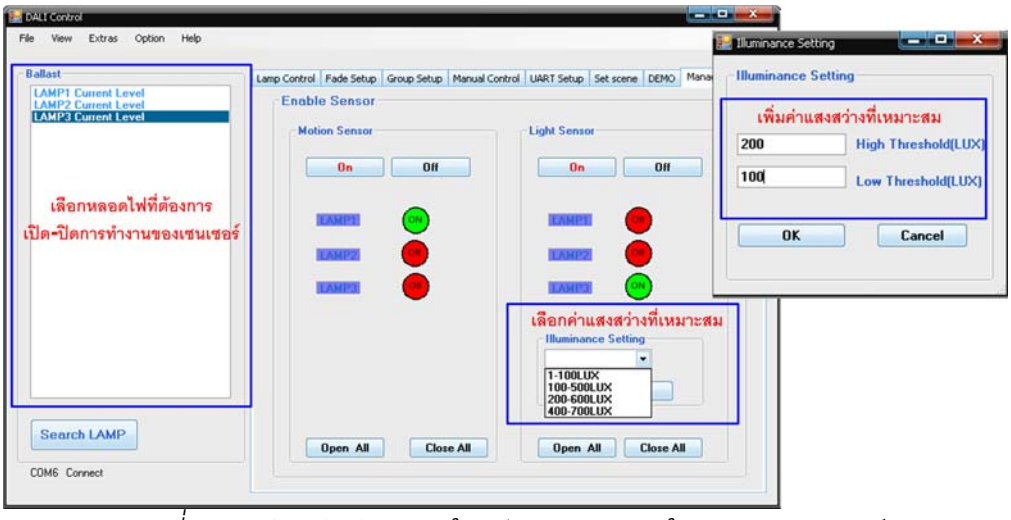
ภาพที่ 4-21 แสดงตัวอย่างการกำหนด short address โดยตัวอย่างกำหนดให้มีมอดูลสเลฟ 3 ตัวในระบบซึ่งแต่ละตัวจะสุ่มเลขขึ้นมาค่าหนึ่ง เริ่มแรกโปรแกรมจะส่งแอดเดรสค้นหาซึ่งมีค่าอยู่กึ่งกลางระหว่าง 0- 2^{24}-1 จากนั้นตามด้วยคำสั่ง COMPARE เพื่อให้มอดูลสเลฟเปรียบเทียบค่าแอดเดรสสุ่มกับแอดเดรสค้นหา จากรูป 4-21a จะเห็นว่าไม่มีมอดูลสเลฟ ที่มีค่าแอดเดรสสุ่มน้อยกว่าค่าแอดเดรสค้นหาดังนั้นโปรแกรมจะไม่ได้รับคำตอบมอดูลสเลฟ ทำให้สามารถเปลี่ยนค่าขอบเขตล่างใหม่จากค่า 0 เป็นแอดเดรสค้นหาตัวที่ 1 ดังภาพ 4-21b จากรูป 4-21b โปรแกรมจะส่งแอดเดรสค้นหาตัวต่อมาซึ่งเป็นค่ากึ่งกลางระหว่างขอบเขตใหม่ ซึ่งจากรูปจะพบว่ามีมอดูลสเลฟที่มีค่าแอดเดรสแบบสุ่มน้อยกว่าหรือเท่ากับแอดเดรสค้นหา ดังนั้นมอดูลสเลฟตัวนั้นจะส่งผลการตอบสนอง FF กลับไปยังคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจึงเปลี่ยนขอบเขตบนจาก 2^{24}-1 เป็นแอดเดรสค้นหาตัวที่ 2 ดังภาพที่ 4-21c จากนั้นโปรแกรมจะส่งแอดเดรสค้นหาตัวใหม่ไปเรื่อยๆ จนในที่สุด หลังจากส่งแอดเรสค้นหาโดยเฉลี่ย 24 ครั้งแอดเดรสค้นหาก็จะลู่เข้าสู่ค่าแอดเดรสสุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดซึ่งก็จะเป็นมอดูลสเลฟตัวแรกที่ได้รับการกำหนดแอดเดรสแบบรายตัว



ภาพที่ 4-21 แผนภาพตัวอย่างการค้นหามอดูลสเลฟที่มีค่าเลขสุ่มน้อยที่สุด

4.3.4. ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

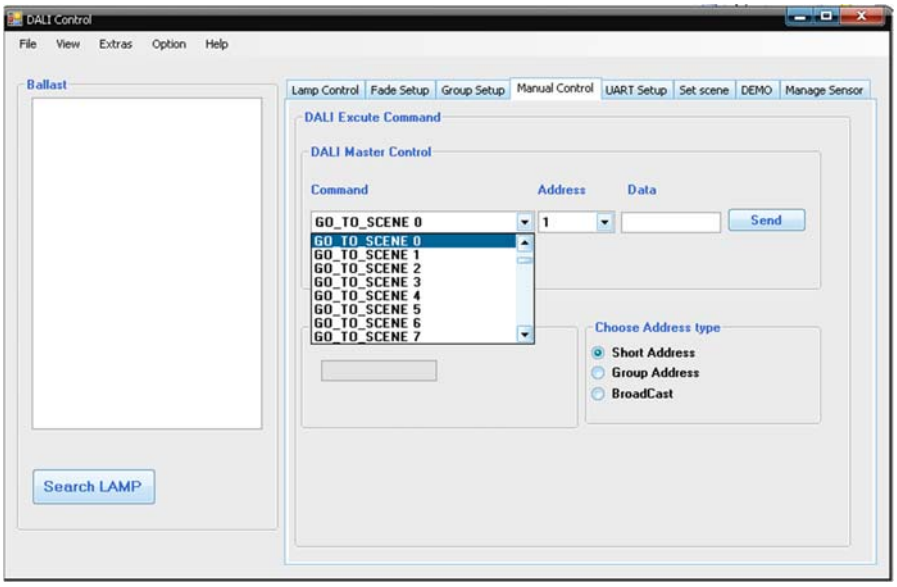
หน้าต่างส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของเซนเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่างและเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ในส่วนของการกำหนดค่าเซนเซอร์วัดปริมาณการส่องสว่างสามารถกำหนดค่าช่วงปริมาณการส่องสว่างที่เหมาะสมให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงได้



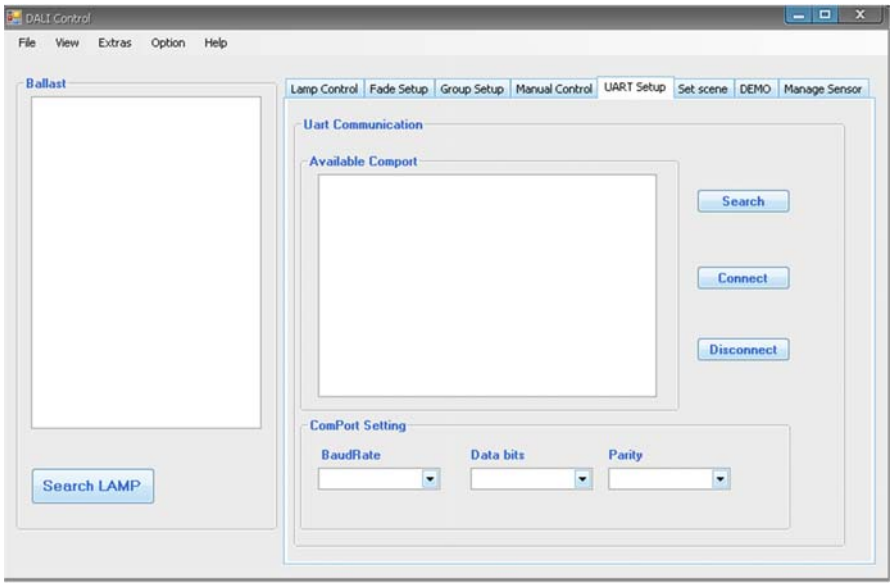
ภาพที่ 4-22 ส่วนต่อประสานสำหรับควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

4.3.5. โปรแกรมในส่วนอื่นๆ

โปรแกรมส่วนอื่นๆประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมแบบ manual ซึ่งเป็นการส่งคำสั่ง DALI โดยตรงเพื่อควบคุมระบบ และโปรแกรมส่วนเปิดการเชื่อมต่อกับมอดูลประสานงานเครือข่ายผ่านทางพอร์ตอนุกรม โปรแกรมทั้งสองส่วนมีรายละเอียดแสดงดังภาพ 4-23



(a)



(b)

ภาพที่ 4-23 ส่วนต่อประสานสำหรับการส่งคำสั่งแบบ Manual (a) ส่วนต่อประสานสำหรับเชื่อมต่อการทำงานของมอดูลประสานงานเครือข่าย (b)

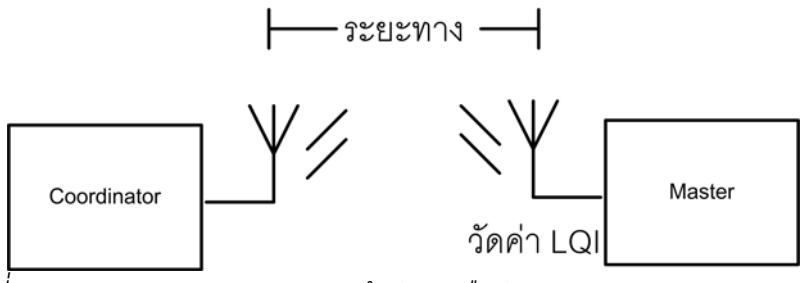
บทที่ 5

ผลการทดลองและการทดสอบการทำงาน

การทดสอบระบบควบคุมแสงสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอล DALI ประกอบไปด้วย การทดสอบรับ-ส่งข้อมูลผ่านสัญญาณเครือข่าย Zigbee การทดสอบการเข้ารหัสคำสั่งของมอดูลมาสเตอร์ การทดสอบกราฟระดับการส่องสว่างเมื่อปรับระดับความสว่างไปที่ค่าต่างๆ การทดสอบโปรแกรมส่วนต่อประสานการฟิกกับผู้ใช้สำหรับควบคุมสั่งการระบบ และการทดสอบการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆ

5.1. การทดสอบระยะปฏิบัติการของการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Zigbee

การทดสอบระยะรับส่งสัญญาณผ่านทางสัญญาณคลื่นวิทยุจะทดสอบโดยดูจากค่า Link Quality Indicator (LQI) ของการติดต่อสื่อสาร โดยค่า LQI บอกถึงคุณภาพของข้อมูลว่ามีความแข็งแกร่งมากหรือน้อยอย่างไร ซึ่งคุณภาพสูงสุดของค่า LQI จะอยู่ที่ 255 และค่าต่ำสุดที่ 0 โดยใช้วงจรในการทดสอบดังภาพที่ 5-1 การทดสอบจะกำหนดให้มอดูลประสานงานเครือข่ายสร้างเครือข่าย Zigbee ขึ้นมา แล้วทดสอบการเข้าร่วมเครือข่ายของมอดูลมาสเตอร์ที่ระยะต่างๆ โดยวัดค่า LQI ของมอดูลมาสเตอร์ที่ระยะนั้นๆด้วย การทดสอบที่ระยะต่างๆ จะทำทั้งสิ้นจุดละ 10 ครั้งแล้ววัดค่า LQI เฉลี่ย ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 แผนภาพการทดสอบการเข้าร่วมเครือข่าย Zigbee ของมอดูลมาสเตอร์

ระยะ (เมตร)	ค่า LQI เฉลี่ยที่วัดได้
76	2
58	5
47	10
35	20
28	30
15	40

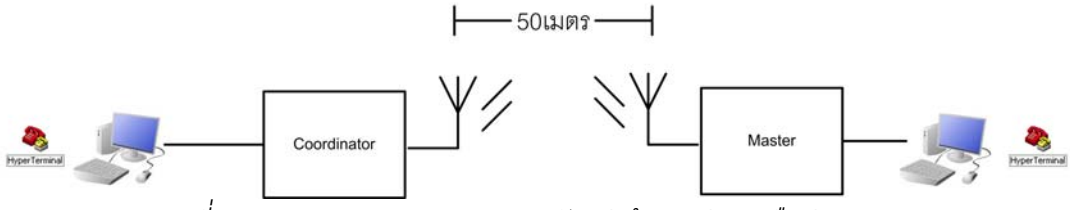
ตารางที่ 5-1 ค่า LQI เฉลี่ยของการสื่อสารระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่าย

และมอดูลมาสเตอร์เมื่อวัดที่ระยะทำการต่างๆ

จากการทดสอบค่า LQI ที่ระยะต่าง ๆ จะสามารถนำผลการทดสอบไปกำหนดตั้งค่า LQI ต่ำสุดที่มอดูลมาสเตอร์จะยังสามารถเข้าร่วมเครือข่ายได้ เพื่อให้มั่นใจว่ามอดูลมาสเตอร์ที่เข้าร่วมเครือข่าย จะสามารถติดต่อสื่อสารกับมอดูลประสานงานเครือข่ายโดยมีคุณภาพของสัญญาณที่มีคุณภาพสูง

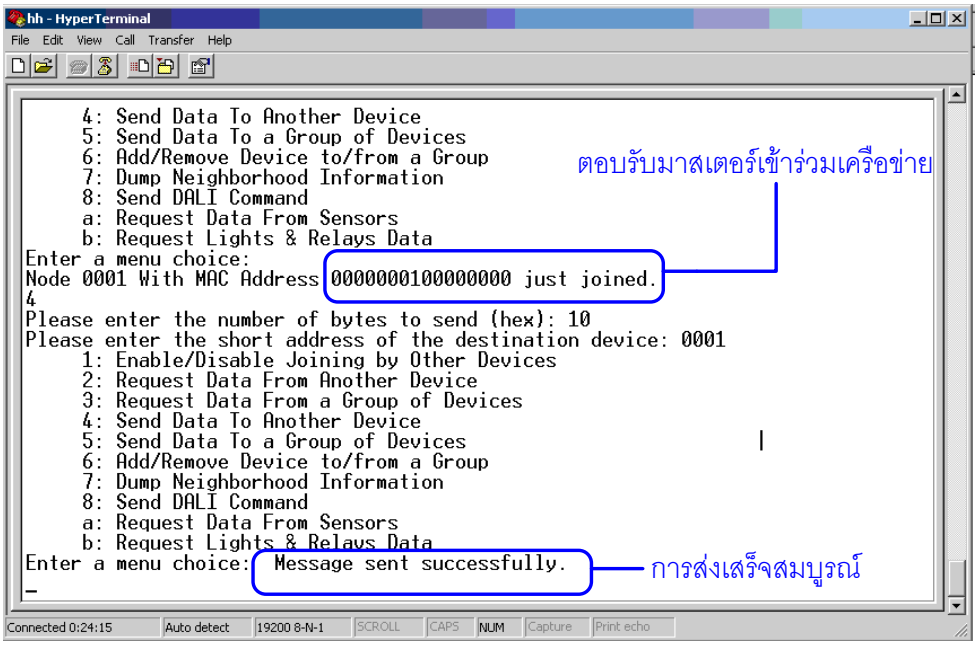
5.2. ทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่ายกับมอดูลมาสเตอร์

การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่ายกับมอดูลมาสเตอร์จะกำหนดให้ระยะทำการอยู่ที่ 50 เมตร โดยมอดูลประสานงานเครือข่ายกับมอดูลมาสเตอร์จะถูกเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเพื่อตรวจสอบสถานะการรับส่งข้อมูล

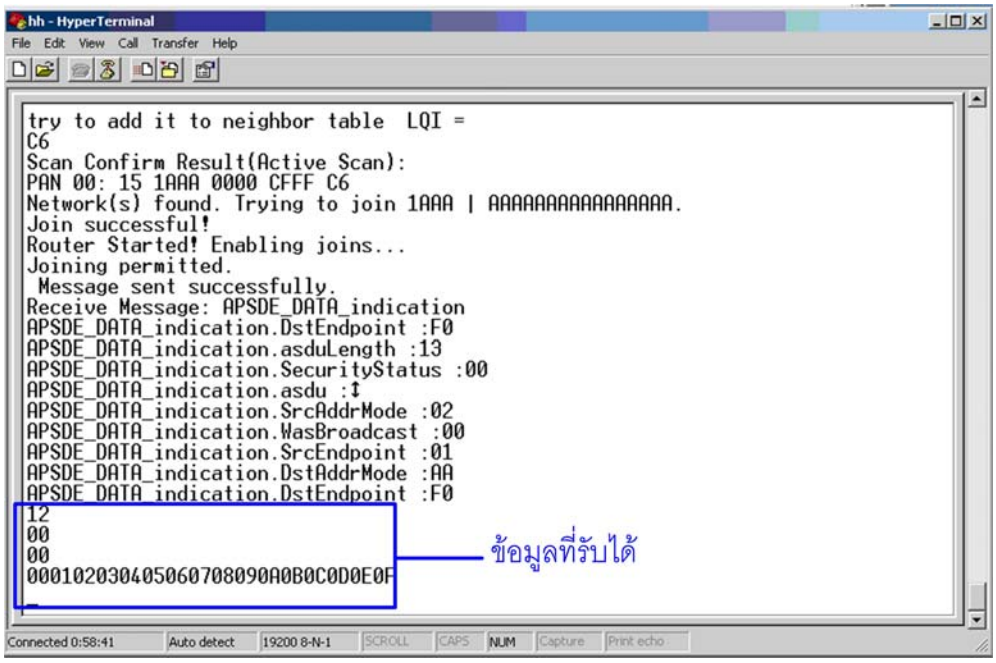


ภาพที่ 5-2 แผนภาพการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Zigbee

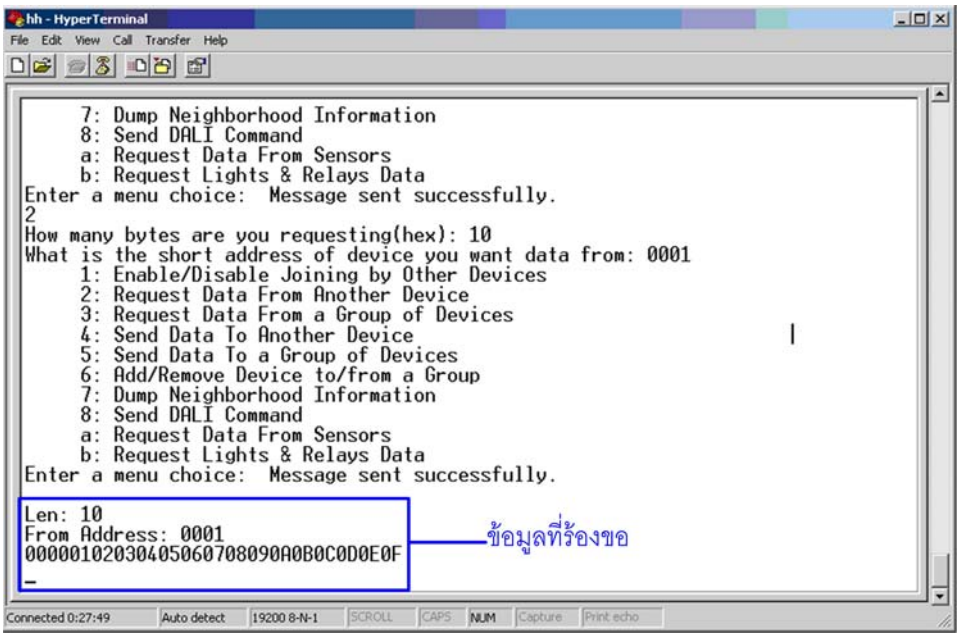
การทดสอบการรับ - ส่งข้อมูลระหว่างมอดูลประสานงานเครือข่ายกับมอดูลมาสเตอร์จะเริ่มจากการสร้างเครือข่าย Zigbee ขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงตอบรับมอดูลมาสเตอร์เข้าร่วมเป็นลูกข่ายจึงจะสามารถรับส่งข้อมูลกันได้ ดังตัวอย่างการทดสอบในภาพที่ 5-3



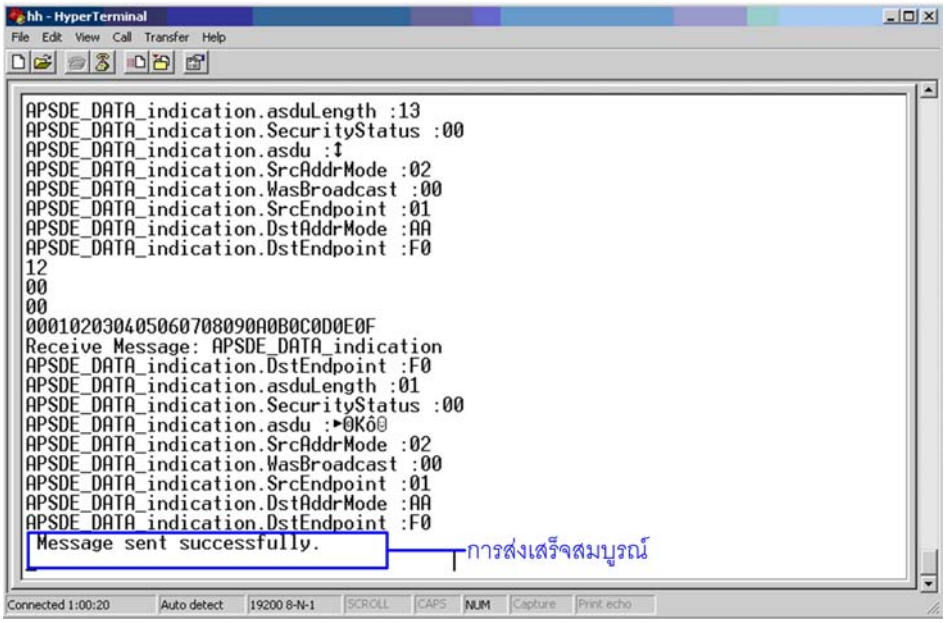
(a)



(b)



(c)



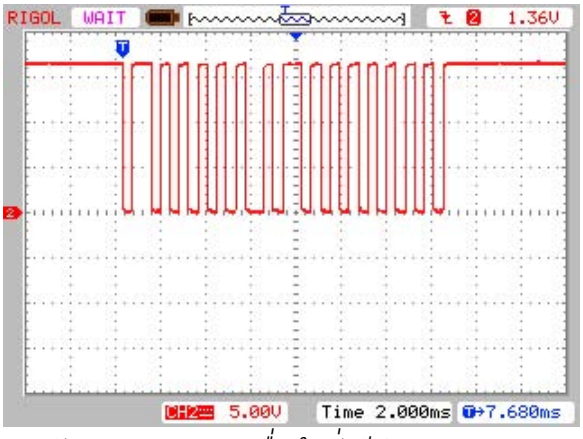
(d)

ภาพที่ 5-3 สถานะการส่งคำสั่งของมอดูลประสานงานเครือข่าย (a) ข้อมูลที่มอดูลมาสเตอร์รับได้ (b) ข้อมูลที่มอดูลประสานงานเครือข่ายรับได้เมื่อมีการร้องขอข้อมูล (c) สถานะการส่งข้อมูลของมอดูลมาสเตอร์ (d)

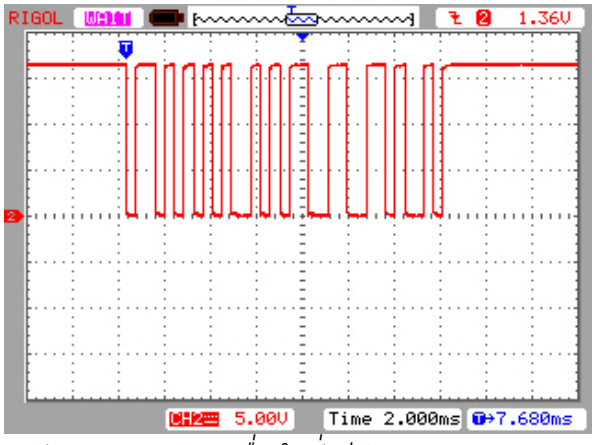
จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าการรับส่งข้อมูลทำได้อย่างถูกต้อง โดยตรวจสอบได้จากสถานะการรับ-ส่งที่ปรากฏบนโปรแกรม Hyper Terminal ทั้งจากฝั่งมอดูลประสานงานเครือข่ายและมอดูลมาสเตอร์

5.3. การทดสอบการเข้ารหัสคำสั่ง DALI

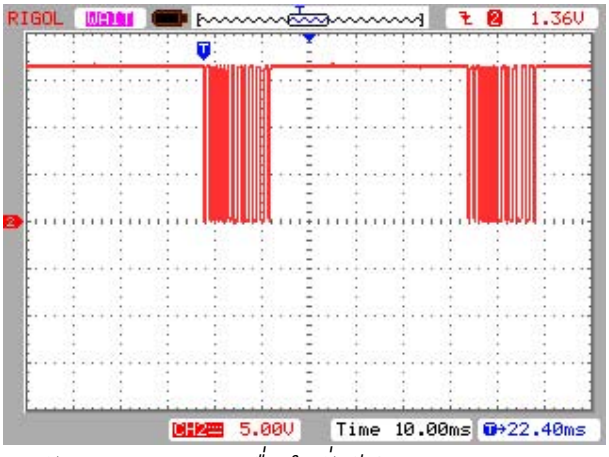
การทดสอบการเข้ารหัสคำสั่งเป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าคำสั่งที่มอดูลมาสเตอร์เข้ารหัสนั้นสอดคล้องกับมาตรฐานหรือไม่ เพื่อจะได้สามารถนำเอาไปติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์จากผู้ผลิตอื่นๆได้อย่างถูกต้องและเป็นมาตรฐาน การทดสอบทำได้โดยส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นวัดสัญญาณที่มอดูลมาสเตอร์เข้ารหัส ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 5-4 ถึง 5-7



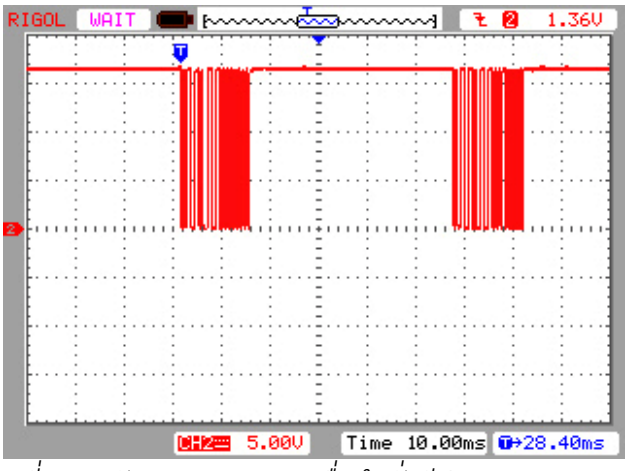
ภาพที่ 5-4 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0011 0000 0000



ภาพที่ 5-5 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0111 0101 0000



ภาพที่ 5-6 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 0000 0001 0010 1010



ภาพที่ 5-7 สัญญาณ DALI เมื่อคำสั่งมีค่า 1010 0101 0000 0000

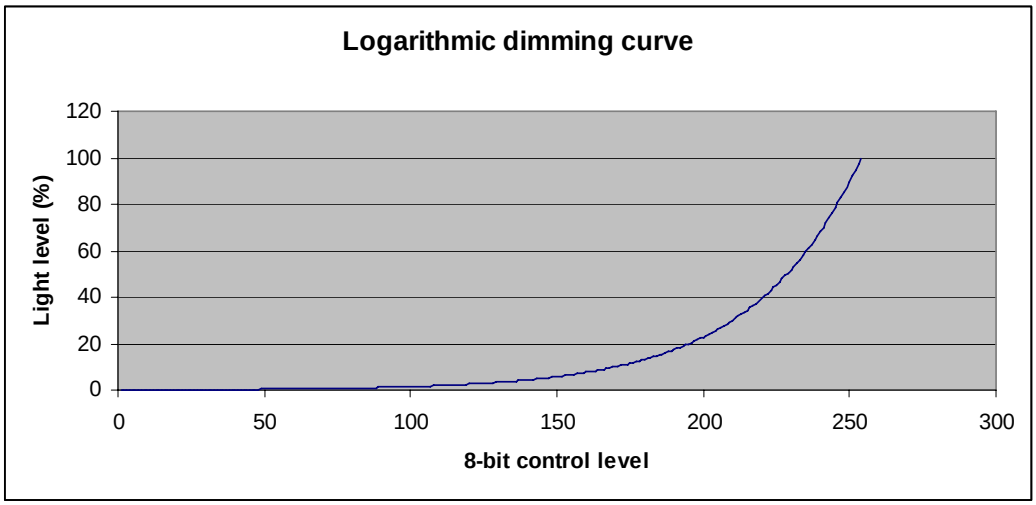
จากผลการทดสอบพบว่าสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสมีความสอดคล้องกับที่กำหนดไว้ในโปรโตคอล DALI ส่วนภาพที่ 5-6 และ 5-7 จะแตกต่างจากสองรูปแรกเล็กน้อย เนื่องจากเป็นคำสั่งที่ต้องมีการส่ง 2 ครั้งภายใน 100 ms จึงจะเสร็จสมบูรณ์ ดังนั้นการส่งคำสั่งจึงต้องส่ง 2 ครั้ง

5.4. การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น

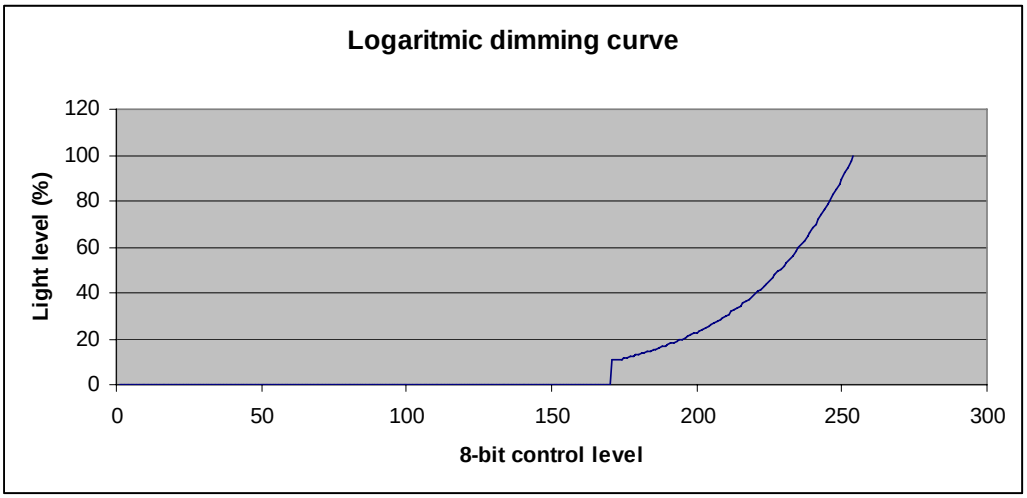
การทดสอบในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นมา โดยใช้ส่วนประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ในการส่งคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบกราฟ Logarithm การทดสอบการทำงานของส่วนประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อสั่งการทำงานของระบบ

5.4.1. **ผลการปรับเทียบกราฟ** Logarithm Dimming Curve

การทดสอบในส่วนนี้จะแสดงผลการปรับเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การส่องสว่างของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆโดยปรับเทียบกับกราฟจากมาตรฐานดังภาพที่ 5-8 ซึ่งถูกกำหนดโดยมาตรฐานซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อ 2.2.3 ในบทที่ 2 ส่วนผลการปรับเทียบแสดงดังภาพที่ 5-9



ภาพที่ 5-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ (%) กับระดับความสว่างแบบดิจิทัลขนาด 8 บิตตามมาตรฐาน



ภาพที่ 5-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการส่องสว่างของหลอดไฟ (%) กับระดับความสว่างแบบดิจิทัลขนาด 8 บิตที่ได้จากการปรับเทียบ

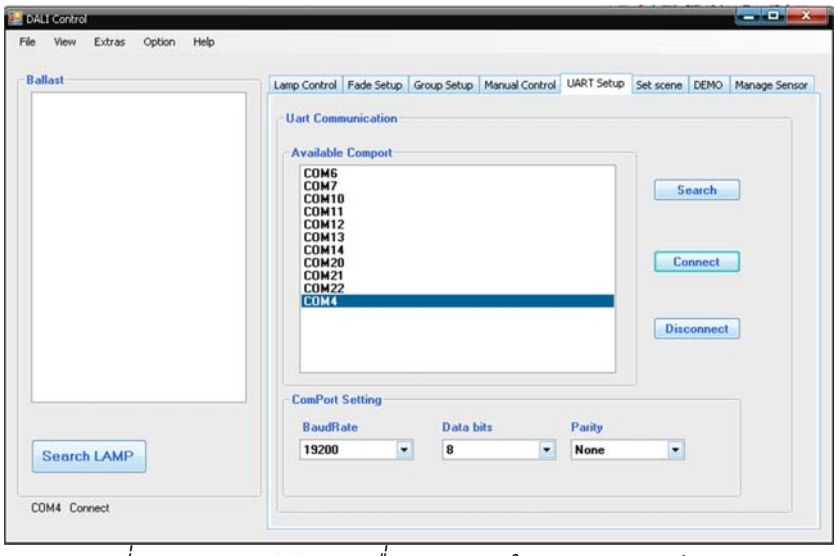
จากผลการทดสอบพบว่าลักษณะของกราฟมีความใกล้เคียงกับมาตรฐานต่างกันตรงที่กราฟที่ได้จากการปรับเทียบจะปรับระดับการส่องสว่างได้ต่ำสุดประมาณ 10% เนื่องจากข้อจำกัดของหลอดฟลูออเรสเซนต์

5.4.2. การทดสอบการงานของส่วนต่อประสานกราฟฟิก

การทดสอบส่วนนี้จะทดสอบการควบคุมระบบผ่านทางซอฟต์แวร์ส่วนประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ โดยระบบประกอบด้วย มอดูลประสานงานเครือข่าย 1 ตัว มอดูลมาสเตอร์ 1 ตัว และมอดูลสเลฟ 3 ตัว โดยมอดูลสเลฟแต่ละตัวจะถูกต่อเข้ากับบัลลาสต์แบบหรี่แสงชนิดแอนาล็อกเพื่อควบคุมระดับการส่องสว่างของหลอดไฟอีกทอดหนึ่ง โดยการทดสอบจะมีอยู่ 3 การทดสอบได้แก่

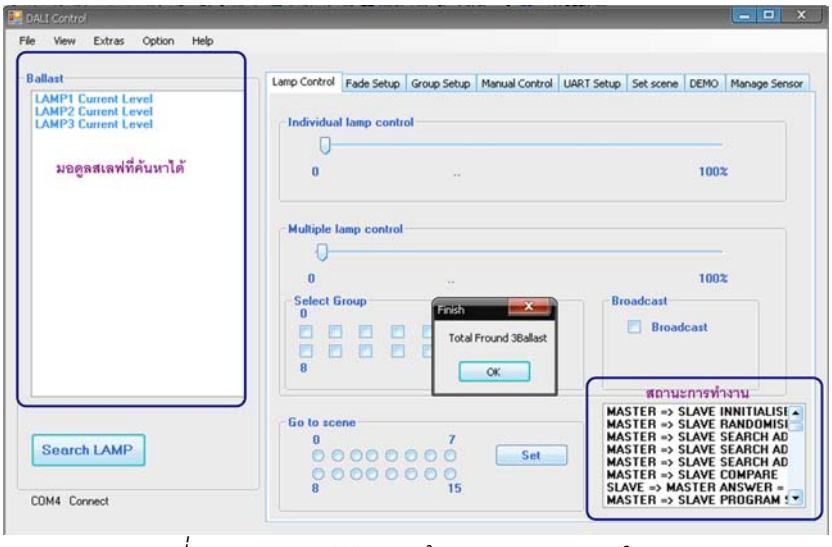
5.4.2.1. การทดสอบการค้นหามอดูลสเลฟในระบบ

ก่อนที่ผู้ใช้งานจะควบคุมหลอดไฟภายในระบบได้ก็จะต้องมีการค้นหามอดูลสเลฟทุกตัวที่ถูกติดตั้งในระบบเพื่อกำหนดแอดเดรสแบบรายตัวให้กับมอดูลสเลฟแต่ละตัวก่อน โดยขั้นตอนแรกจะต้องเชื่อมต่อการทำงานกับมอดูลประสานงานเครือข่าย ซึ่งการเชื่อมต่อกับมอดูลประสานงานเครือข่ายทำได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรมโดยตั้งความเร็วในการสื่อสารที่ 19200 บิตต่อวินาที ดังภาพที่ 5-10



ภาพที่ 5-10 กราฟฟิกการเชื่อมต่อการทำงานผ่านพอร์ตอนุกรม

หลังจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนการค้นหามอดูลสเลฟในระบบโดยใช้วิธีการค้นหาแบบสุ่ม (Random Addressing Method) ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5-11



ภาพที่ 5-11 กราฟฟิกการค้นหามอดูลสเลฟในระบบ

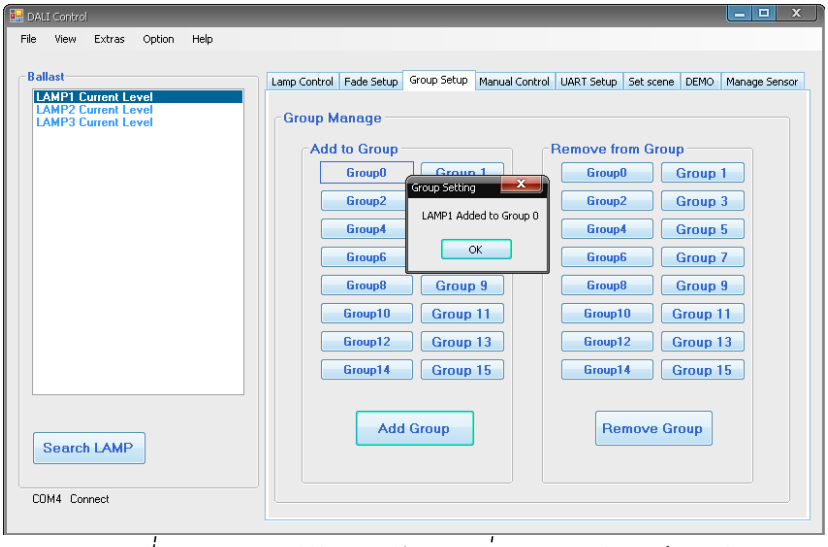
จากผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมสามารถค้นหามอดูลสเลฟได้ตามที่ออกแบบเอาไว้ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3.3

5.4.2.2. การทดสอบควบคุมหลอดไฟรูปแบบต่าง ๆ

การทดสอบส่วนนี้จะทดสอบการควบคุมหลอดไฟรูปแบบต่างๆ การทดสอบแรกเป็นการทดสอบควบคุมระดับการส่องสว่างหลอดไฟแบบรายตัวที่ระดับการส่องสว่างต่างๆกัน ดังผลการทดสอบในภาพที่ 5-12

ภาพที่ 5-12 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบรายตัว

การทดสอบต่อมาเป็นการทดสอบการควบคุมหลอดไฟแบบกลุ่ม ซึ่งก่อนจะทำการทดสอบจะต้องมีการเพิ่มหลอดไฟที่ต้องการควบคุมลงในกลุ่มที่ต้องการก่อนดังภาพที่ 5-13 ซึ่งหลอดไฟที่ถูกเพิ่มลงในกลุ่มจะบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำว่าตัวเองเป็นสมาชิกของกลุ่มใดบ้าง



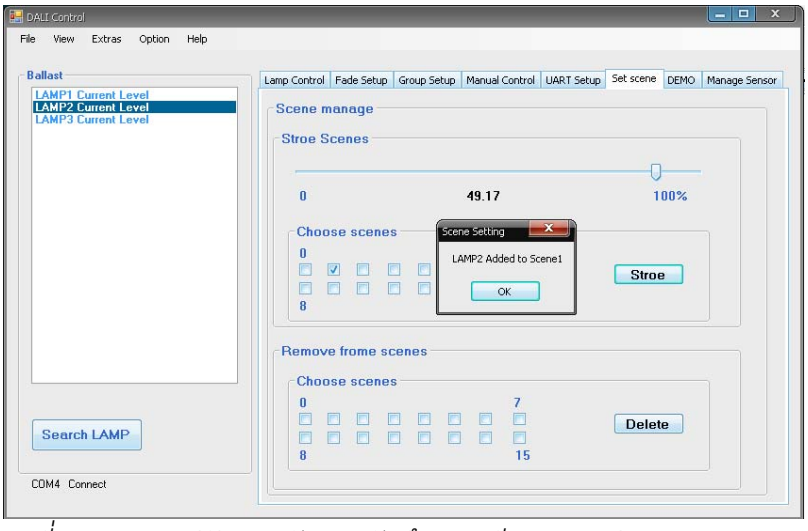
ภาพที่ 5-13 กราฟฟิกการจัดการเพิ่ม-ถอนอุปกรณ์ลงกลุ่ม

หลังจากเพิ่มหลอดไฟเข้าไปในกลุ่มแล้ว ผู้ใช้งานก็สามารถส่งคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานแบบกลุ่มได้ โดยตัวอย่างเป็นการทดสอบการปรับระดับการส่องสว่างแบบกลุ่มโดยกำหนดให้กลุ่มที่ 0 ปรับระดับการส่องสว่างไปที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5-14

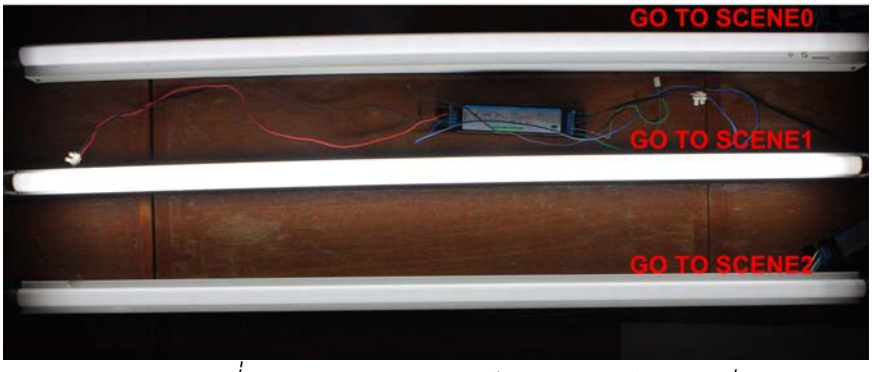
ภาพที่ 5-14 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบกลุ่ม

จากผลการทดลองจะเห็นว่าหลอดไฟที่เป็นสมาชิกของกลุ่ม 0 จะเพิ่มระดับการส่องสว่างเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่หลอดไฟที่ไม่ได้เป็นสมาชิกของกลุ่ม 0 จะไม่เพิ่มระดับการส่องสว่าง

การทดลองต่อมาเป็นการทดลองการควบคุมระดับการส่องสว่างแบบซีน โดยขั้นตอนแรกต้องมีการบันทึกระดับดับการส่องสว่างลงในซีนที่ต้องการก่อน ดังตัวอย่างในรูป 5-15 เป็นการบันทึกซีนที่ 1 ของหลอดไฟหลอดที่ 2 ให้มีระดับการส่องสว่าง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5-16 ซึ่งเป็นการกำหนดให้หลอดไฟหลอดที่ 1,2, และ 3 ปรับระดับการส่องสว่างไปยังซีนที่ 0, ซีนที่1 และซีนที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับการส่องสว่างอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์, 100 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซนต์ตามลำดับ



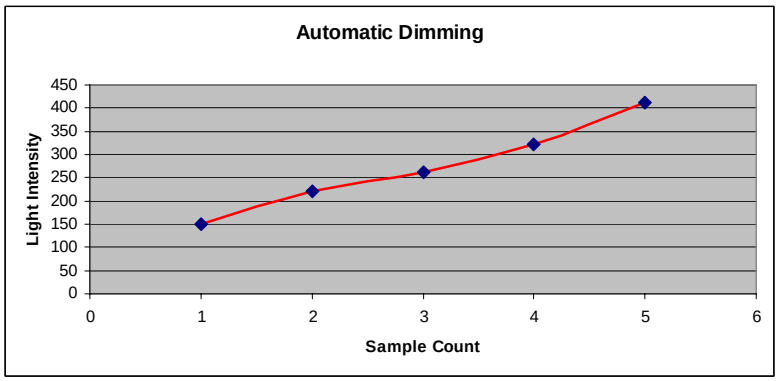
ภาพที่ 5-15 กราฟฟิกการจัดการบันทึก-ลบ ซีนความสว่างของมอดูลสเลฟ



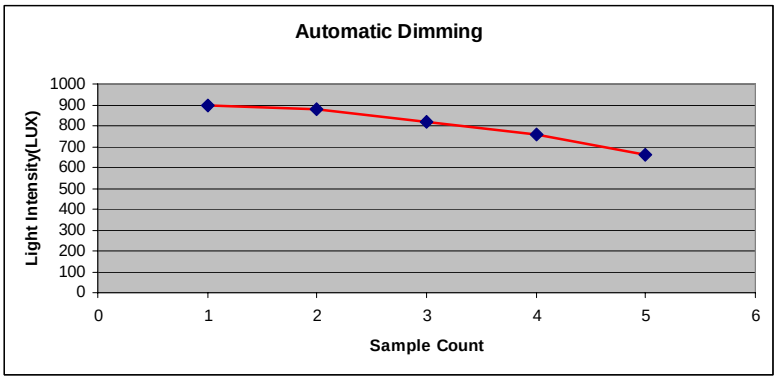
ภาพที่ 5-16 การควบคุมระดับการส่องสว่างแบบซีน

5.4.3. **การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์**

การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ การทดสอบเซนเซอร์วัดแสงสำหรับการปรับระดับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟโดยอัตโนมัติ และเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวสำหรับการเปิด-ปิดหลอดไฟแบบอัตโนมัติตามสถานะคนภายในห้อง ในส่วนการทดสอบการปรับระดับการส่องสว่างแบบอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกมีค่าน้อยเกินไป และกรณีที่ปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกมีค่ามากเกินไป โดยในการทดลองกำหนดให้ช่วงปริมาณการส่องสว่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 400-700 LUX ซึ่งผลการทดสองแสดงดังภาพที่ 5-17 และ 5-18



ภาพที่ 5-17 กราฟการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟแบบอัตโนมัติเมื่อแสงสว่างมีค่าน้อยเกินไป



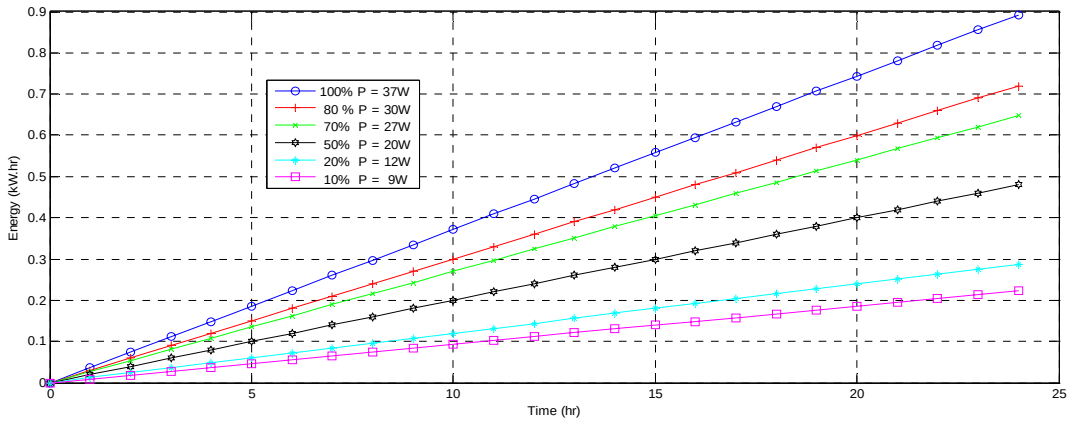
ภาพที่ 5-18 กราฟการปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟแบบอัตโนมัติเมื่อแสงสว่างมีค่ามากเกินไป

จากผลการทดลองในรูป 5-17 เป็นกราฟการทดสอบในกรณีที่ปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกมีค่าน้อยเกินไป โปรแกรมจะปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟขึ้นจนกว่าระดับแสงสว่างที่เซนเซอร์วัดได้จะมีค่ามากกว่า 400 LUX ส่วนในรูป 5-18 เมื่อปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกมีค่ามากเกินไปโปรแกรมจะปรับลดระดับการส่องสว่างของหลอดไฟลงจนกว่าระดับแสงสว่างที่เซนเซอร์อ่านได้จะมีค่าน้อยกว่า 700 LUX

ส่วนการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับบุคคล โปรแกรมจะวิเคราะห์ว่าขณะนั้นมีคนอยู่ในห้องหรือไม่ โดยวัดจากจำนวนพัลป์ที่ตัวเซนเซอร์ตรวจจับได้เมื่อมีการเคลื่อนไหวเกิดขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเปิด-ปิดหลอดไฟแบบอัตโนมัติทำได้อย่างถูกต้อง แต่ในส่วนกรณีการสั่งปิดอัตโนมัติเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้องนั้น การวิเคราะห์อาจต้องเพิ่มเวลาให้นานยิ่งขึ้น เนื่องจากในบางครั้งคนในห้องไม่เกิดการเคลื่อนไหวเป็นเวลานานทำให้เซนเซอร์ไม่สามารถตรวจจับได้ ถ้าเวลาที่ใช้มีค่าน้อยเกินไป อาจเกิดการปิดหลอดไฟขึ้นได้ซึ่งจะไม่สอดคล้องกับสถานคนภายในห้อง

5.4.4. ผลการทดสอบการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่าง ๆ

การทดสอบสุดท้ายเป็นการวัดการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆ โดยปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟไปที่ 100 เปอร์เซ็นต์, 80 เปอร์เซ็นต์, 70 เปอร์เซ็นต์, 50 เปอร์เซ็นต์, 20 เปอร์เซ็นต์และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการทดสอบแสดงดังภาพ 5-19



ภาพที่ 5-19 กราฟการกินพลังงานของหลอดไฟที่ระดับการส่องสว่างต่างๆ

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อปรับลดระดับการส่องสว่างให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นๆ พบว่าการกินพลังงานมีระดับลดลงอย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. ข้อสรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบสำหรับควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยใช้โปรโตคอล DALI ในการติดต่อสื่อสาร ระบบที่ออกแบบขึ้นมาประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ มอดูลประสานงานเครือข่าย มอดูลมาสเตอร์และมอดูลสเลฟ ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระบบผ่านทางซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ โดยมีมอดูลประสานงานเครือข่ายคอยทำหน้าที่รับส่งคำสั่งข้อมูลกับซอฟต์แวร์และทำหน้าที่สร้างเครือข่าย Zigbee เพื่อรับส่งคำสั่งกับมอดูลมาสเตอร์อีกทอดหนึ่ง ส่วนมอดูลสเลฟจะเป็นตัวที่รับคำสั่งจากมอดูลมาสเตอร์เพื่อควบคุมหลอดไฟตามที่ผู้ใช้งานสั่งการ

โครงสร้างฮาร์ดแวร์ ในส่วนของมอดูลประสานงานเครือข่ายและส่วนมอดูลมาสเตอร์ใช้ชิป dsPIC33FJ256GP506 เป็นตัวประมวลผลหลัก โดยอุปกรณ์ทั้งสองสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ผ่านทางเครือข่าย Zigbee โดยใช้มอดูล MRF24J40MA และใช้โปรโตคอล Zigbee Residental Stack เป็นตัวกลางในการติดต่อกับมอดูล MRF24J40MA ส่วนมอดูลสเลฟใช้ชิป PIC18F67J60 เป็นตัวประมวลผล โดยมีชิป MCP4922 ทำหน้าที่ในการแปลงระดับแสงสว่างแบบดิจิทัลไปเป็นแรงดันไฟตรงตั้งแต่ 0-10 โวลต์สำหรับควบคุมบัลลาสต์แบบหรี่แสงชนิดแอนาล็อก

จากการทดสอบระบบทั้งหมดที่ได้ออกแบบขึ้น โดยระบบที่ทดสอบประกอบด้วย มอดูลประสานงานเครือข่าย 1 ตัว, มอดูลมาสเตอร์ 1 ตัว และมอดูลสเลฟ 3 ตัวซึ่งต่อเข้ากับบัลลาสต์แบบหรี่แสงชนิดแอนาล็อกอีก 3 ตัวโดยมีซอฟต์แวร์เป็นตัวควบคุม ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบได้แก่ การค้นหามอดูลมอดูลสเลฟในระบบ, การควบคุมหลอดไฟรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การควบคุมแบบรายตัว, การควบคุมแบบกลุ่ม และการควบคุมแบบกระจาย การปรับค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ การเพิ่ม-ลบ ซีนความสว่าง, การเพิ่ม-ลบกลุ่มของมอดูล, สเลฟ การตั้งค่าพารามิเตอร์ FADE, และการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานได้แก่ การปรับระดับการส่องสว่างของหลอดไฟโดยอัตโนมัติตามค่าปริมาณการส่องสว่างจากภายนอก และการเปิด-ปิดหลอดไฟโดยอัตโนมัติตามสถานะคนภายในห้อง

6.2. ข้อเสนอแนะ

1). มอดูลสเลฟที่ออกแบบขึ้นมาเป็นเพียงตัวกลางที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับมอดูลมาสเตอร์ผ่านทางโปรโตคอล DALI เพื่อควบคุมบัลลาสต์อีกทอดหนึ่ง ในการพัฒนาต่อไปสามารถนำเอามอดูลสเลฟมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กรอนิกส์ (Electronic Control Gear) สำหรับหลอดไฟชนิดต่างๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดไดโอดเปล่งแสง หลอดอุลตราไวโอเล็ต เป็นต้น โดยเพิ่มวงจรขับสำหรับหลอดไฟชนิดนั้นๆ

2). ควรเพิ่มช่องทางการควบคุมระบบให้มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น ส่วนของรีโมตคอนโทรล อินเตอร์เน็ต หรือควบคุมผ่านทางแอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

3). เพิ่มส่วนเซนเซอร์วัดแสงและเซนเซอร์ตรวจจับบุคคลให้มีจำนวนมากกว่า 1 ตัวเพื่อขยายพื้นที่ในการทำงานและเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดให้มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

[1] 0-10V Lighting Control [Online]. 2011.Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/ 1-10V [2011,July]

[2] Digital Signal Interface [Online].2011. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Signal_Interface [2011,July]

[3] DALI [Online].2009. Available from: http://www.dali-ag.org/ [2009]

[4] S. Dechjrusyothin,R.Thiravirojana and E.Leelarasmee, A Fluorescent Lighting Control System Based on DALI Protocol. Internation National Conference on Information and Communication Technology for Embedded System(ICICTES2011), 27-29 January 2011.

[5] IEC62386-101.Digital Addressable Lighting Interface Part 101: General requirement-System. 2006

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

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

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

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

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

[11] Intersil Technology. Ambient Light Photo Detect IC [Online]. 2007. Available from: www.intersil.com [2007,August]

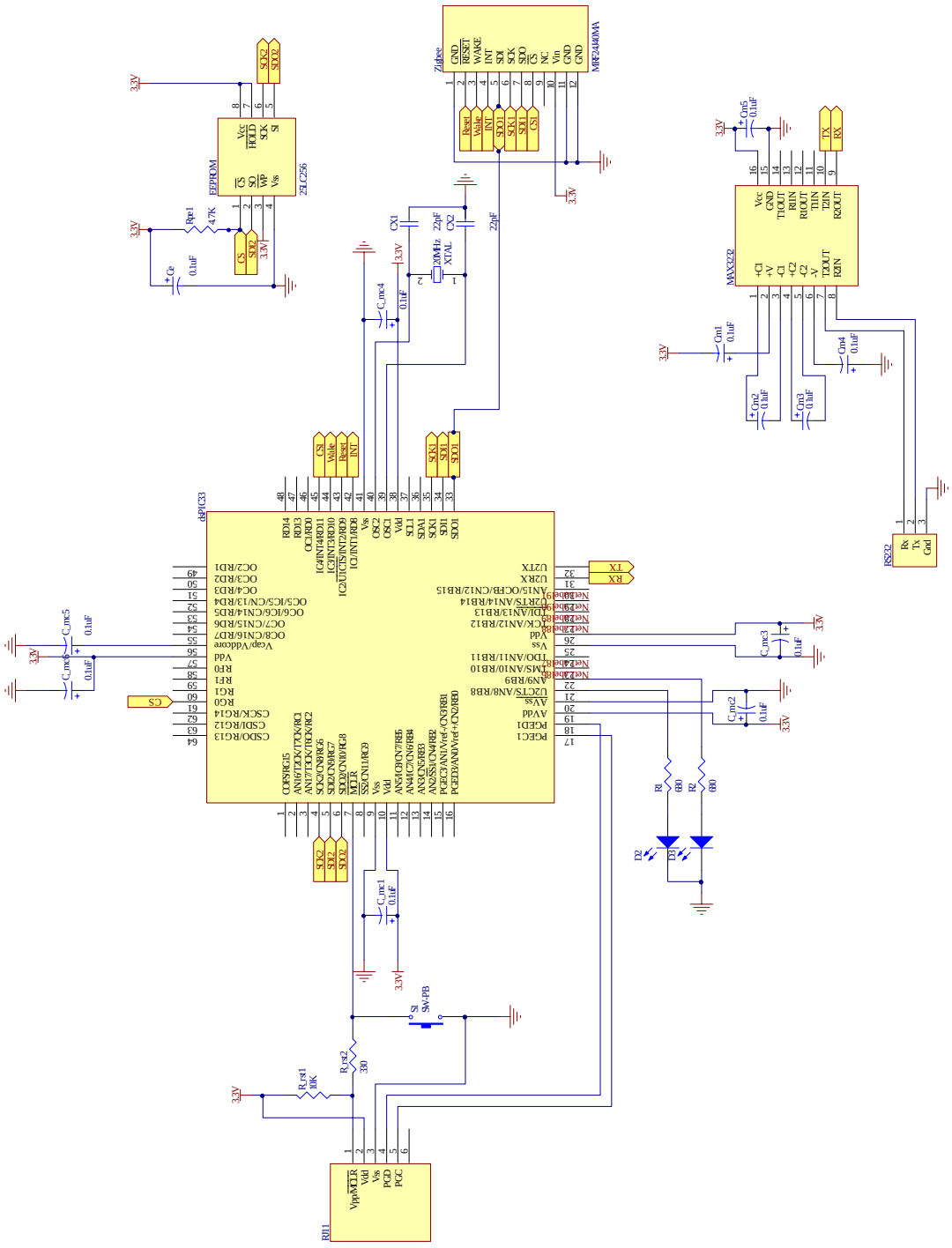
[12] Microchip Technology. PIC18F97J60 FAMILY 64/80/100-Pin High-Performance ,1Mbits Flash Microcontrollers[Online]. 2007. Available from: www.microchip.com [2009,June]

[13] Microchip Technology. MCP4922 12-Bit DAC with SPI Interface [Online]. 2004. Available from: www.microchip.com [2004,May]

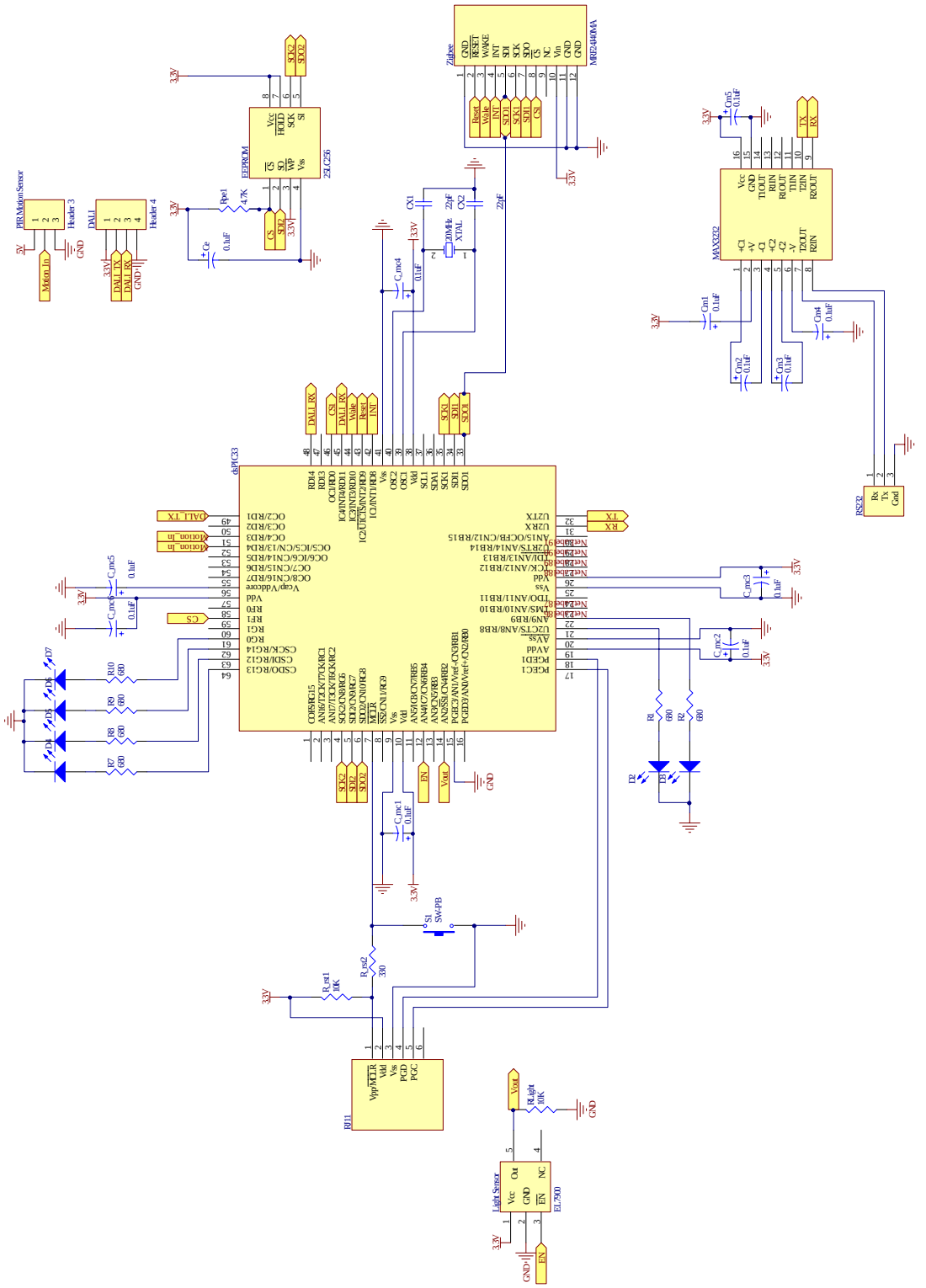
ภาคผนวก (Appendix)

รูปวงจรซึ่งออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้

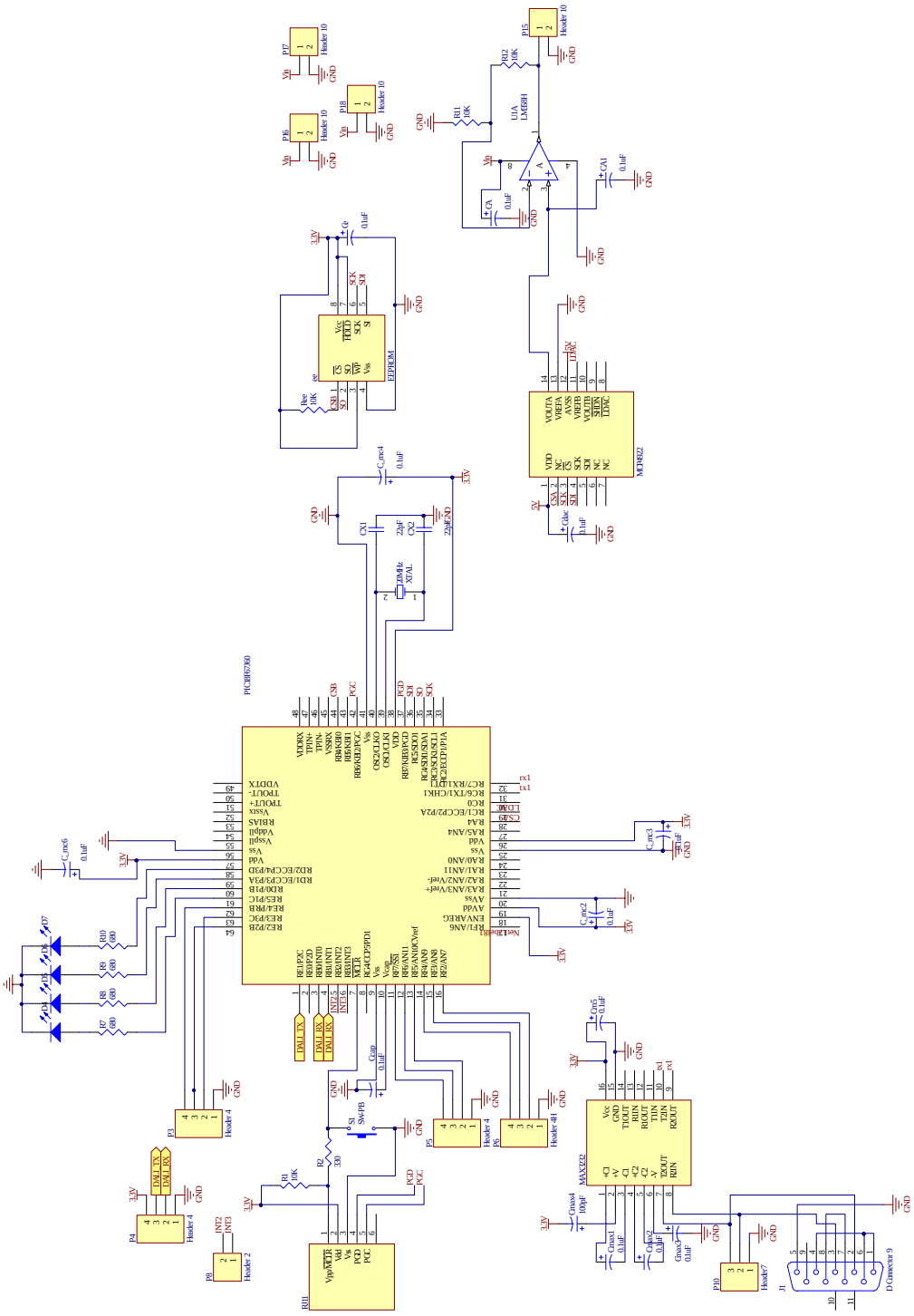
วงจรส่วนมอดูลประสานงานเครือข่าย



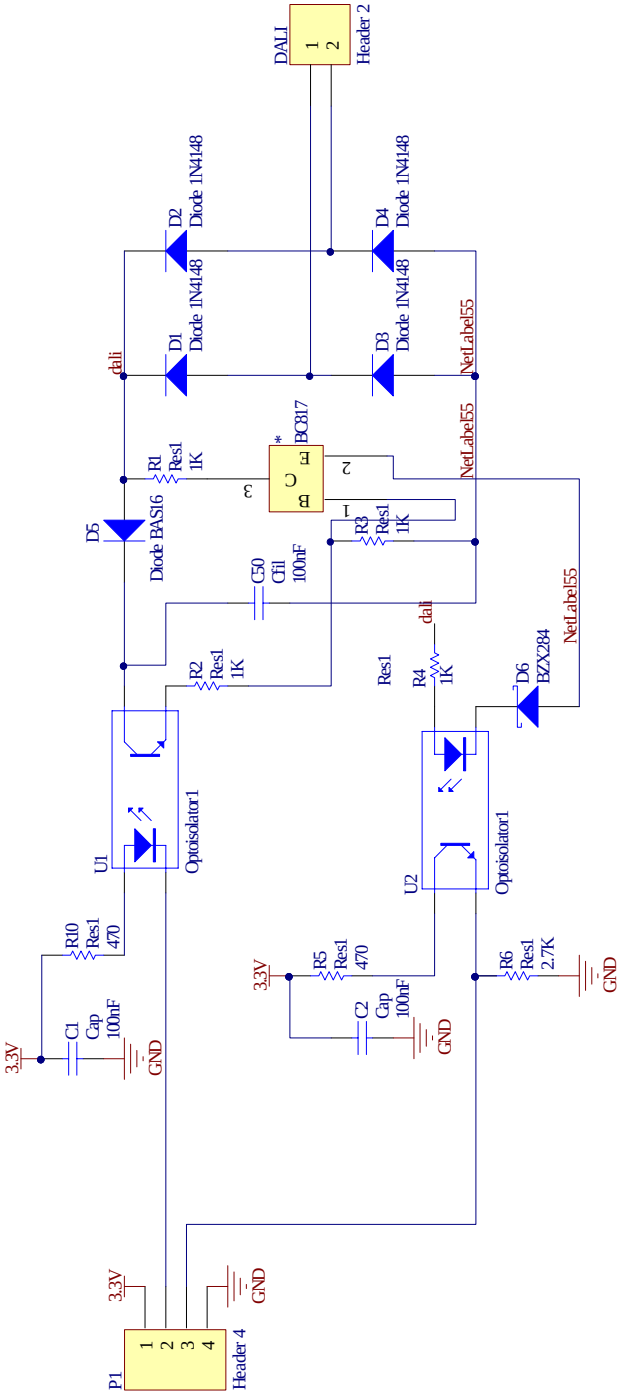
วงจรส่วนมอดูลมาสเตอร์



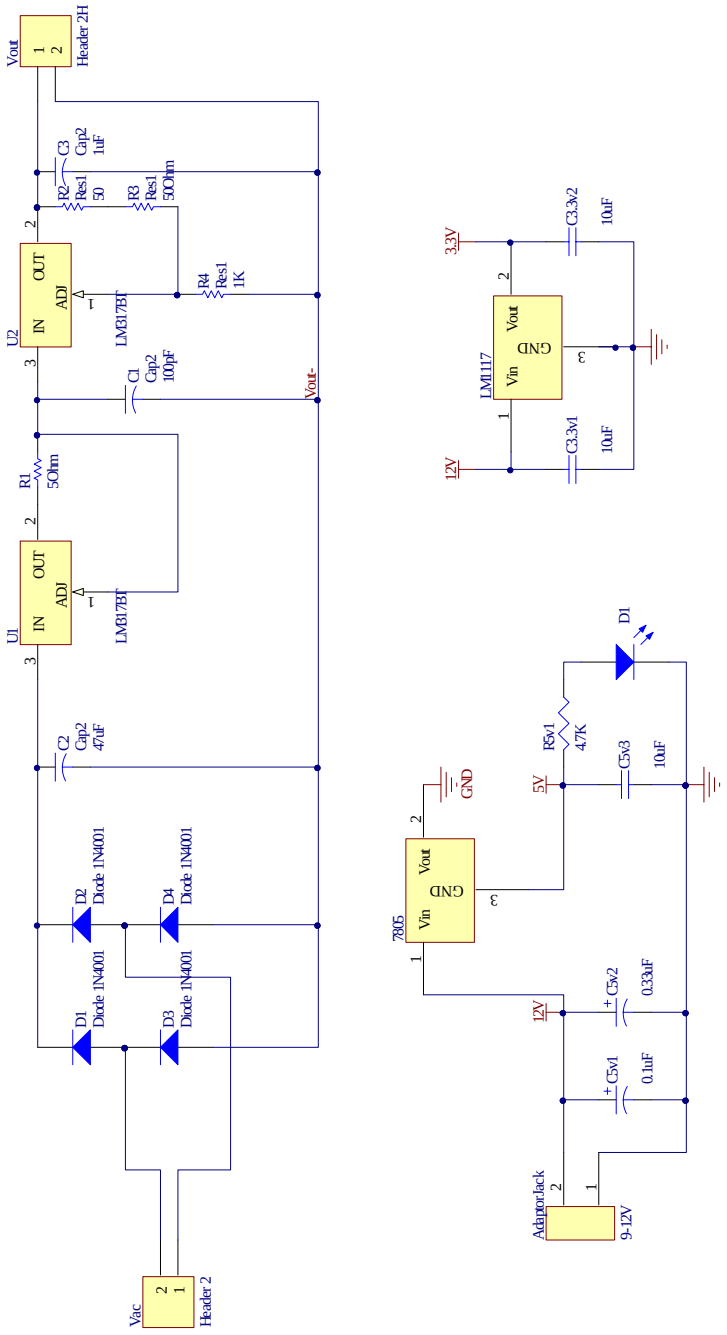
วงจรส่วนมอดูลสเลฟ



วงจรเชื่อมต่อสัญญาณ DALI



วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับ DALI bus และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรวิชญ์ ธีรวิโรจน์ เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2551 โดยได้รับการตีพิมพ์บทความชื่อ A Fluorescent Lighting Control System based on DALI protocol ในวารสารชื่อ Proceeding of the 2011 International Conference on Information and Communication Technology for Embedded System (ICICTES2011) ฉบับที่ 1 หน้า 177-179 และบทความชื่อ การพัฒนามอดูลดาลีสำหรับระบบส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในวารสารชื่อ ECTI-CARD 2011 การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 3 ฉบับที่ 1 หน้า 30-35