สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครือข่ายรับรู้ไร้สายสำหรับที่อยู่อาศัยอัจฉริยะ

WIRELESS SENSOR NETWORK FOR SMART HOMES

T111743

นายกฤษณ์ ศรีวิลาศ

KRIT SRIVILAS

นางสาวนพมาศ ลีลาอดิศัย

NOPPAMAS LEELA-ADISAI

นางสาวศศิธร กมลสุวรรณ

SASITORN KAMONSUWAN

วพ.
ก 2810
2552
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 111743
วัน,เดือน,ปี 20 S.A. 2553

b 12279328
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIRELESS SENSOR NETWORK FOR SMART HOMES

KRIT SRIVILAS

NOPPAMAS LEELA-ADISAI

SASITORN KAMONSUWAN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครือข่ายรับรู้ไร้สายสำหรับที่อยู่อาศัยอัจฉริยะ		
รายชื่อนักศึกษา	นายกฤษณ์	ศรีวิลาศ	รหัสนักศึกษา 49010023
	นางสาวนพมาศ	ลีลาอดิศัย	รหัสนักศึกษา 49010432
	นางสาวศศิธร	กมลสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 49012130
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2552		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

.....

(ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครือข่ายรับรู้ไร้สายสำหรับที่อยู่อาศัยอัจฉริยะ		
รายชื่อนักศึกษา	นายกฤษณ์	ศรีวิลาศ	รหัสนักศึกษา 49010023
	นางสาวนพมาศ	ลีลาอดิศัย	รหัสนักศึกษา 49010432
	นางสาวศศิธร	กมลสุวรรณ	รหัสนักศึกษา 49012130
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2552		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาเครือข่ายรับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network) แบบ Low-Architecture สำหรับที่อยู่อาศัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายสามารถทำงานที่ระดับความต่างศักย์ต่ำ และมีโหมดการประหยัดพลังงาน โดยได้มีการออกแบบระบบเครือข่ายเป็นแบบ Star topology ซึ่งประกอบด้วยโหนดลูกและตัวเกตเวย์ที่ทำการเชื่อมต่อกัน โดยที่โหนดลูกประกอบด้วยส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัดสภาวะแวดล้อม และส่วนของการควบคุม สำหรับส่งค่ากลับมายังตัวเกตเวย์

โดยในการศึกษานี้ได้มีการทำการทดลองในส่วนของพลังงานในการรับส่งในสภาวะต่างๆ เพื่อนำมาพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการปรับเปลี่ยนพลังงานการส่งให้มีความเหมาะสมตามสภาวะที่แตกต่างกัน และมีการประเมินพลังงานที่ใช้ของระบบเพื่อที่จะสามารถคำนวณถึงระยะเวลาการทำงานบนแหล่งพลังงานที่จำกัด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการนำไปพัฒนาระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูง ที่เหมาะสมต่อการใช้ภายในที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Wireless Sensor Network for Smart Homes		
Student	Mr. Krit	Srivilas	Student ID. 49010023
	Miss. Noppamas	Leela-adisai	Student ID. 49010432
	Miss. Sasitorn	Kamonsuwan	Student ID. 49012130
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Information Engineering		
Year	2009		
Thesis Advisor	Dr. Panarat	Cherntanomwong	

ABSTRACT

This thesis develops the wireless sensor network (wsn) in Low-Architecture for residence. The objective is to make the wsn are able to be used at the low potential difference and has the power saving mode. It was designed in Star topology which is composed of child nodes, connected to the gateway. Each child node is composed of sensor section for checking environment and control section for returning the value back to the gateway.

In this thesis, the experiments on the power section were conducted for receiving and transmitting data in the different environments in order to improve an algorithm of the energy adjustment for variable environments to send data. Moreover, the energy of the system can be determined and further used to calculate the working time duration in the limited energy source. These experimental data necessary for the improvement of the efficient wsn which is suitable for using in the residence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะความร่วมมือของคณะผู้จัดทำ และความกรุณาจาก ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณนายอนุรักษ์ จันทร์ศรี รุ่นพี่ปริญญาเอก ที่ได้แบ่งปันประสบการณ์ ให้คำปรึกษาและแนะนำเทคนิคการทำฮาร์ดแวร์ที่เป็นประโยชน์สำหรับผลงานอย่างมาก ให้แก่คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ ในการค้นหาข้อมูลในการจัดทำปริญญานิพนธ์

คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กฤษณ์ ศรีวิลาศ
นพมาศ ลีลาอดิศัย
ศศิธร กมลสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน..... 1

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานนี้..... 2

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้..... 2

1.6.1 ฮาร์ดแวร์..... 2

1.6.2 ซอฟต์แวร์..... 3

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks)..... 4

2.1.1 ความหมายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 4

2.1.2 ประวัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 4

2.1.3 ภาพรวมสถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 5

2.1.4 คุณสมบัติของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 6

2.1.5 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์..... 7

2.1.5.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก..... 8

2.1.5.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม..... 8

2.1.6 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 9

2.1.6.1 โปรโตคอลสแตก (protocol stack) หรือระดับชั้น..... 9

2.1.6.2 การพิจารณาระบบเครือข่าย..... 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.7 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 11

2.1.7.1 แบบซักถาม (querying) 11

2.1.7.2 แบบแบ่งงาน (tasking) 12

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR8 เบอร์ Atmega168 ของบริษัท Atmel 12

2.2.1 ข้อมูลพื้นฐาน 13

2.2.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI) 14

2.2.2.1 ตัวอย่างการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการเชื่อมต่อ 15

2.2.3 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART 17

2.2.3.1 โมดูล USART 18

2.2.3.2 รีจีสเตอร์และรูปแบบการส่งข้อมูล 18

2.2.3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล USART 18

2.2.3.4 การกำหนดอัตราในการรับส่งข้อมูล 19

2.2.3.5 ตัวอย่างการกำหนดโปรแกรมให้กับคอนโทรลเลอร์ 19

2.2.4 การสื่อสารแบบบัส 1 สาย (1-wire Protocol) 20

2.2.4.1 การติดต่อ 20

2.3 โมดูลการสื่อสารไร้สาย DCBT-24N (nRF24L01) 22

2.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน 22

2.3.2 กระบวนการทำงานของโมดูล DCBT-24N 23

บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ 25

3.1 แนวคิด 25

3.2 การสร้างและออกแบบระบบ 25

3.2.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ 27

3.2.1.1 ลำดับการทำงานของโปรแกรมส่วนฮาร์ดแวร์ 28

3.2.1.2 รูปแบบแพคเกจที่ใช้ในการสื่อสารในระดับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์ 31

3.2.1.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ 31

3.2.1.4 ลายวงจรเซ็นเซอร์โหนดที่สมบูรณ์ 32

3.2.1.5 ลายวงจรของบอร์ดแอปพลิเคชั่น 33

3.2.1.6 ผลสำเร็จจากการออกแบบฮาร์ดแวร์ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 ส่วนซอฟต์แวร์..... 36
3.2.2.1 ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้..... 36
3.2.2.2 ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อฐานข้อมูล..... 41

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....43
4.1 การทดลองเรื่องการรับส่งข้อมูลระหว่าง Gateway กับ Node.....43
4.2 การทดลองการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์.....47
4.3 การทดลองการประเมินการใช้กระแสของระบบ..... 49

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล..... 54
5.1 บทสรุป..... 54
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน.....55
5.3 สิ่งที่สามารถนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต..... 55

บรรณานุกรม..... 56

ภาคผนวก.....57
ภาคผนวก ก. วิธีการพัฒนาระบบชั้น Network Layer บนระบบที่ทำการพัฒนาขึ้น.....58
ภาคผนวก ข. การพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG รุ่น MQ-5.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางแสดงขาการทำงานของการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม..... 15

2.2 ตารางแสดงการคำนวณอัตราบอดเรตของ USART 19

4.1 ตารางแสดงรายละเอียดการใช้กระแสของอุปกรณ์บนเซ็นเซอร์โหนด..... 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ภาพรวมการทำงานของระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย..... 2

2.1 โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย..... 6

2.2 ส่วนประกอบหน่วยร่วมเซ็นเซอร์..... 7

2.3 ระดับชั้นโปรโตคอลของเครือข่ายสื่อสารไร้สาย..... 9

2.4 ลักษณะการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบซักถามและแบบแบ่งงาน..... 12

2.5 รูปแบบตัวถังและตำแหน่งขาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega168..... 12

2.6 สถาปัตยกรรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ Atmega168..... 14

2.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI)..... 14

2.8 รูปแบบการส่งข้อมูล ในการกำหนด CPHA=0..... 16

2.9 รูปแบบการส่งข้อมูล ในการกำหนด CPHA=1..... 17

2.10 โครงสร้างโมดูล USART..... 17

2.11 รูปแบบเฟรมข้อมูลในการส่งข้อมูลแบบ USART..... 18

2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการติดต่อไอซี..... 21

2.13 กระบวนการเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย..... 21

2.14 กระบวนการอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย..... 22

2.15 โมดูล DCBT-24N..... 22

2.16 State Diagram การทำงานของโมดูล DCBT-24N..... 23

2.17 การจัดการการทำงานของโมดูลแบบ MultiCeiver..... 24

3.1 แผนภาพการทำงานของระบบ..... 25

3.2 ภาพรวมการออกแบบของฮาร์ดแวร์ แบบ Low Architecture..... 27

3.3 ลำดับการทำงานของโปรแกรมหลักในตัว Gateway..... 28

3.4 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในส่วนอินเตอร์รัป..... 29

3.5 ลำดับการโปรแกรมหลักของเซ็นเซอร์โหนด..... 29

3.6 Power Adaptive Algorithm..... 30

3.7 แสดงรายละเอียดของแพคเกจขนาด 8 Byte..... 31

3.8 วงจรของบอร์ด Node..... 31

3.9 วงจรของบอร์ด Gateway..... 32

3.10 ลายวงจรของเซ็นเซอร์โหนดด้านบน..... 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 ลายวงจรของเซ็นเซอร์โหนดด้านล่าง....33
3.12 ลายวงจรของบอร์ดแอปพลิเคชั่น.... 33
3.13 บอร์ด Gateway....34
3.14 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐาน(วัดอุณหภูมิและความสว่าง)....34
3.15 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐานเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส....35
3.16 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐานเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว....35
3.17 เซ็นเซอร์โหนดต่อควบคุมแผงอุปกรณ์ไฟฟ้า....35
3.18 ภาพรวมการออกแบบซอฟต์แวร์....36
3.19 หน้าโปรแกรมติดต่อกับ Node การทำงาน 4 Node (ก่อนการเชื่อมต่อ).... 37
3.20 การตั้งต่างๆให้กับแต่ละ Node 37
3.21 หน้าโปรแกรมเมื่อทำการเชื่อมต่อ....38
3.22 หน้าจอแสดงผลในส่วนของห้องนอน....38
3.23 หน้าจอแสดงผลในส่วนของห้องนั่งเล่น....39
3.24 หน้าจอแสดงผลส่วนของห้องครัว....40
3.25 หน้าจอแสดงผลบริเวณหน้าประตู....40
3.26 หน้าแสดงผลการสร้างรายงาน.... 41
3.24 การออกแบบ NI-AM เพื่อนำมาสร้างฐานข้อมูล....41
3.25 การสร้างฐานข้อมูลด้วย Oracle database11g.... 42
3.26 ฐานข้อมูลเก็บช่วงเวลาการเตือนเมื่อมีปริมาณแก๊สเกินกำหนด....42
3.27 ฐานข้อมูลเก็บช่วงเวลาเมื่อมีการตรวจพบความเคลื่อนไหว.... 42
4.1 บอร์ด Gateway....43
4.2 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนด.... 44
4.3 ภาพจำลองแบบการทดลอง.... 44
4.4 ระดับพลังงานที่แสดงผ่าน LED....45
4.5 สถานที่ในการทดลอง....45
4.6 การทดลองวัดระดับพลังงานในระยะห่างต่างๆ....46
4.7 กราฟแสดงแนวโน้มของระดับพลังงานในระยะห่างต่างๆ ใน 20 เมตร....46
4.8 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลองที่สอง....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 หน้าจอแสดงข้อมูลผ่าน Hyper Terminal..... 48
4.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 49
4.11 ออสซิลโลสโคปที่ใช้ทำการทดลอง..... 49
4.12 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดลอง..... 50
4.13 การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง..... 50
4.14 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซนเซอร์โหนดในสถานะแบบ idle state..... 51
4.15 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซนเซอร์โหนดในสถานะแบบ TX mode ที่กำลังส่ง –18 dBm..... 52
4.16 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซนเซอร์โหนดในสถานะแบบ TX mode ที่กำลังส่ง 0 dBm..... 52
ก.1 หน้าต่างโปรแกรม WINAVR Studio..... 59
ก.2 หน้าต่างการปรับเปลี่ยนไดเรกทอรี่การทำงาน..... 59
ก.3 หน้าต่างส่วนของการแก้ไขโปรแกรมในชั้น Network Layer..... 60
ข.1 วงจรการขับเคลื่อนเซนเซอร์ MQ-5..... 62
ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแก๊สต่อความต้านทานของเซ็นเซอร์..... 62
ข.3 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิมีผลต่อระดับความต้านทานของเซ็นเซอร์..... 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network) ซึ่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการที่เหนือกว่าระบบเครือข่ายรับรู้ที่ใช้สายนำสัญญาณในการรับส่งข้อมูล อาทีเช่น ความสะดวกในการติดตั้งโดยไม่ต้องติดตั้งสายนำสัญญาณและสามารถติดตั้งตัวรับรู้ (Sensor) และเครือข่ายเพิ่มเติมได้ง่าย โดยทำการเชื่อมต่อด้วยคลื่นวิทยุเข้ากับระบบเดิมที่มีอยู่ อีกทั้งยังลดต้นทุนของระบบลง เนื่องจากไม่ต้องใช้สายนำสัญญาณ

เนื่องจากระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายสามารถตรวจวัดสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวเราได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพซึ่งส่งผลต่อการจัดการพลังงาน และดำเนินชีวิตได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้น

ดังนั้น ระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับที่อยู่อาศัยในปัจจุบันซึ่งไม่มีระบบในการจัดการด้านพลังงานต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพและยังขาดความสะดวกสบายในการใช้งาน อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ ในปัจจุบันนั้น มีขอบเขตการใช้งานที่จำกัด และมีต้นทุนสูง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว จึงทำให้ที่อยู่อาศัยมีความฉลาด (Smart Home) ในการจัดการสิ่งต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

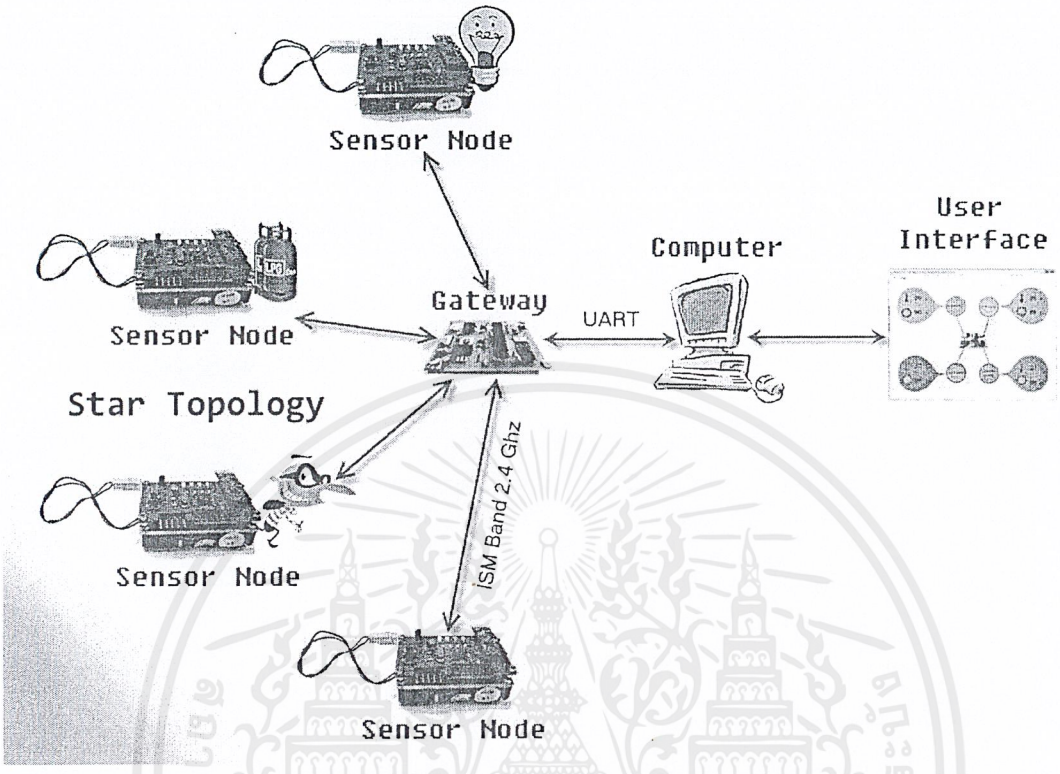
- เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย (Wireless Sensor Network) แบบ Low-Architecture
- เพื่อศึกษาระบบการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย
- เพื่อนำระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายมาประยุกต์ใช้ภายในที่อยู่อาศัย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- มีฮาร์ดแวร์ตัวรับรู้ไร้สาย โดยภายในตัวประกอบด้วย ตัวรับรู้อุณหภูมิ และ ตัวรับรู้ความสว่าง ซึ่งสามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการทำงาน โดยมี topology พื้นฐาน ในการเชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้ ที่ทำการรับค่าจากโหนดต่างๆ เพื่อมาประมวลผลและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน



รูปที่ 1.1 ภาพรวมการทำงานของระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงานนี้

- มีความรู้ความเข้าใจในระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สายและสามารถพัฒนาฮาร์ดแวร์ขึ้นมาได้
- มีความรู้ความเข้าใจในระบบพลังงานภายในที่อยู่อาศัย
- ฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอด ทั้งทางด้านทฤษฎี และการนำไปใช้จริง

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

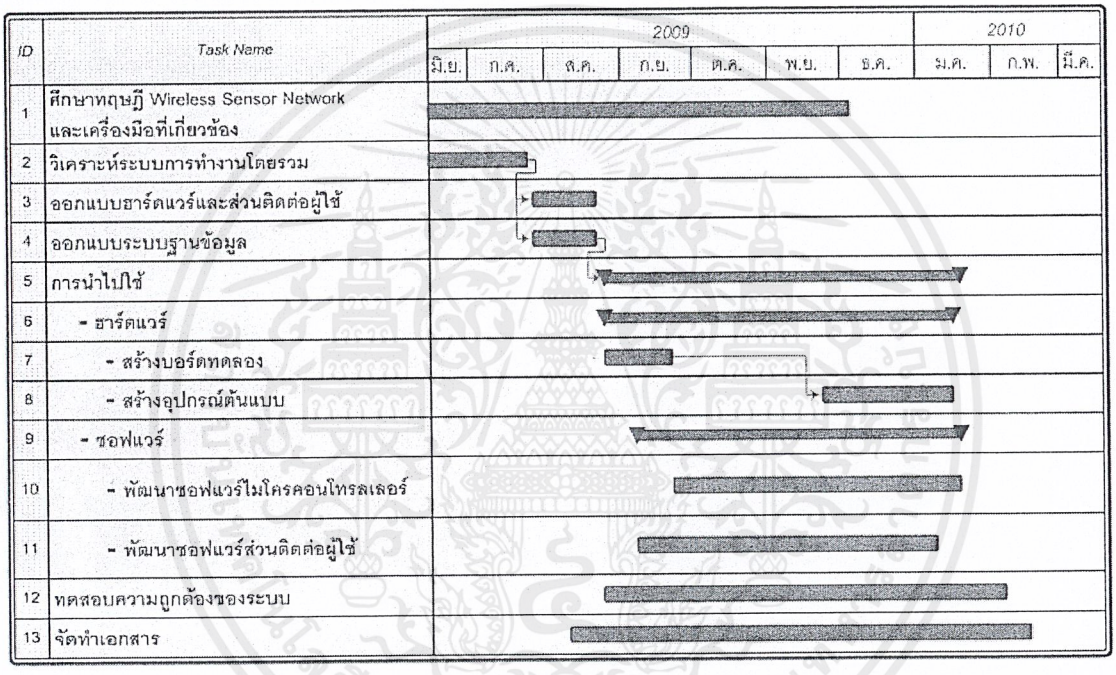
- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรม บนไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 1 เครื่อง
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA168v จำนวน 6 ตัว
- โมดูลไร้สาย NRF24L01 จำนวน 6 ตัว
- เซ็นเซอร์ต่างๆ จำนวน 6 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.2 ซอฟต์แวร์

- Microsoft Visual Studio 2005
- Oracle Database 11g
- AVR Studio 4.0
- Altium Designer Protel DXP2004
- Proteus 6.0

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน



ID	Task Name	2009							2010		
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	ศึกษาทฤษฎี Wireless Sensor Network และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง										
2	วิเคราะห์ระบบการทำงานโดยรวม										
3	ออกแบบฮาร์ดแวร์และส่วนติดต่อผู้ใช้										
4	ออกแบบระบบฐานข้อมูล										
5	การนำไปใช้										
6	- ฮาร์ดแวร์										
7	- สร้างบอร์ดทดลอง										
8	- สร้างอุปกรณ์ต้นแบบ										
9	- ซอฟแวร์										
10	- พัฒนาซอฟแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์										
11	- พัฒนาซอฟแวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้										
12	ทดสอบความถูกต้องของระบบ										
13	จัดทำเอกสาร										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks)

2.1.1 ความหมายของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks : WSN) คือ การใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์เล็กๆจำนวนมากเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเราหรือตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ WSN เกิดจากการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวและการสื่อสารไร้สายที่ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์โหนดด้วยรูปแบบเครือข่ายแบบ ad-hoc จุดเด่นของเครือข่ายเซ็นเซอร์ที่อาศัยโปรโตคอลแบบ ad-hoc คือ ไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับเครือข่ายเช่นเดียวกับเครือข่ายแบบ wireless local area network (WLAN) หรือ global system for mobile communication (GSM) นอกจากนี้การออกแบบเซ็นเซอร์โหนดให้มีขนาดที่เล็กและใช้พลังงานน้อยทำให้สามารถติดตั้งได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์จึงได้ถูกคาดการณ์ว่าจะเป็นเทคโนโลยีหลักในการขับดันสู่ยุคของคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน (ubiquitous computing, pervasive computing) ด้วยการสร้างสภาพแวดล้อมประดิษฐ์ในรอบๆตัวของเราทุกคน

2.1.2 ประวัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ในยุคแรกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการสงคราม ในช่วงสงครามเย็น Sound Surveillance System (SOSUS) ใช้ในมหาสมุทรเพื่อตรวจจับเรือดำน้ำของสหภาพโซเวียต โดยใช้ระบบแถวเซ็นเซอร์ไฮโดรโฟน (hydrophone array) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้าใต้น้ำและส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิลใต้น้ำ ในช่วงเวลาเดียวกัน ระบบเครือข่ายเรดาร์ทางอากาศ (networks of air defense radars) ได้รับการพัฒนาเพื่อป้องกันภาคพื้นสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ในยุคแรกระบบเครือข่ายมีรูปแบบเป็นลำดับขั้น (hierarchical) การประมวลผลจะทำตามลำดับขั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

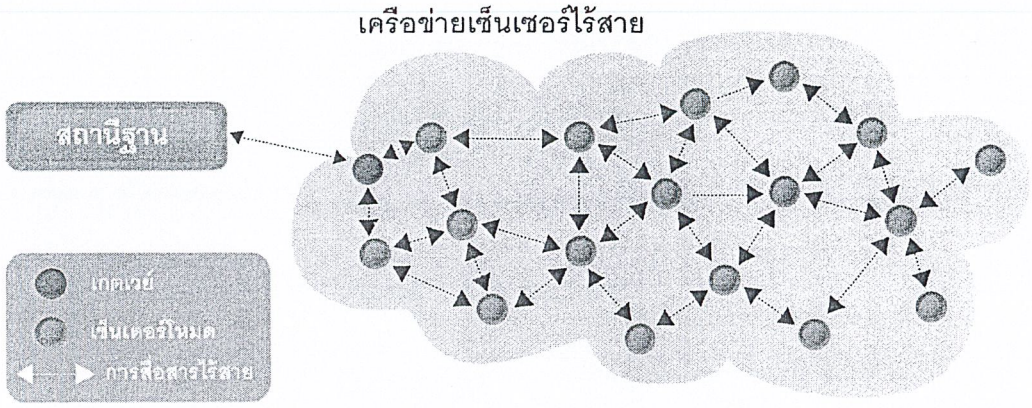
ยุคที่สองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ตประมาณ พ.ศ.๒๕๒๓ เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบกระจายตัว (Distributed Sensor Network) เป็นโครงการวิจัยของ Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) โดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัว การประมวลผลสัญญาณ (signal processing) การติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูง แต่ด้วยเทคโนโลยีในยุคนั้นทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีขนาดใหญ่และถูกออกแบบให้เป็นรถเซ็นเซอร์เพื่อให้เป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์แบบเคลื่อนที่ได้

เครือข่ายเซ็นเซอร์ยุค ปี พ.ศ.2550 เทคโนโลยีการผลิตไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาถึงระดับที่สามารถผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก และประหยัดพลังงาน ซึ่งเหมาะสำหรับสร้างหน่วยประมวลผล และหน่วยส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์ไร้สาย และด้วยเทคโนโลยีระบบเครื่องกลจุลภาค การสร้างเซ็นเซอร์ขนาดเล็กและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กเกิดขึ้นได้จริง ทำให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยุคนี้เข้าใกล้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในจินตนาการของนักวิจัยยุคก่อนๆ อย่างไรก็ตามเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนี้ยังมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง

2.1.3 ภาพรวมสถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

สถาปัตยกรรมเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสาม ส่วนได้แก่ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ เกตเวย์ และสถานีฐาน (base station) ดังรูปที่ 2 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมากฝังตัวในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ติดต่อสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ควบคุมและจัดการงานของตัวเอง (self-organize) ทุกๆ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกัน(collaboration)เป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลไปหากันได้แม้ว่าหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ปลายทางไม่สามารถติดต่อ กับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ต้นทางได้โดยตรง โดยให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อๆ กันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอพ(multi-hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ ที่มีความสามารถพิเศษในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งาน หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [1]

เนื่องจากเป็นการทำงานแบบไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ใช้แหล่งพลังงานภายในหน่วยร่วมเซ็นเซอร์เองหรือในบางกรณี อาจใช้แหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ทำให้เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อาจหยุดทำงานเพราะพลังงานหมดหรือกลับขึ้นมาทำงานได้อีกครั้งเมื่อมีพลังงานเพียงพอ รวมไปถึงในบางเครือข่าย ที่มีหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เคลื่อนที่ได้ การเปลี่ยนแปลงของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์นั้นมีผลต่อโครงสร้าง(topology) ของเครือข่าย และส่งผลถึงเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ โดยเส้นทางในการส่งข้อมูล ในแต่ละโครงสร้างนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการหาเส้นทาง(routing algorithm) ซึ่งวิธีการหาเส้นทางในแต่ละเครือข่าย จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของเครือข่ายนั้น ๆ

2.1.4 คุณสมบัติของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

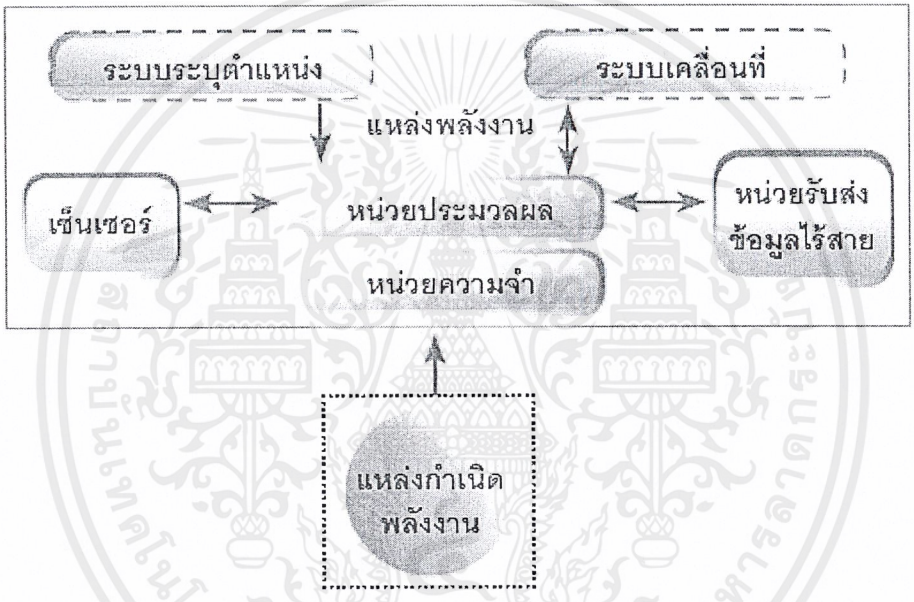
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีราคาต่ำเพื่อการสร้างเครือข่ายที่ต้องใช้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมาก และเหมาะสำหรับการนำไปใช้ครั้งเดียว
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีขนาดเล็กเพื่อฝังตัวในสภาพแวดล้อม
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีแหล่งพลังงานและความสามารถในการประมวลผลจำกัด
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถจัดการตัวเองได้ โดยไม่ต้องมีมนุษย์เข้าไปควบคุมหรือช่วยเหลือ
- หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จำนวนมาก กระจายตัวครอบคลุมบริเวณทำการของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทนทานต่อความเสียหายเมื่อหน่วยร่วมเซ็นเซอร์บางส่วนทำงานไม่ได้
- โครงสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา

2.1.5 หน่วยร่วมเซ็นเซอร์

การทำงานของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อม นำข้อมูลไปประมวลผล สร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ [1]

ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์แบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มส่วนประกอบหลักที่จำเป็นเพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้ โดยในรูปที่ 2.2 จะเป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นทึบและกลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้กับหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ โดยในรูปที่ 2.2 จะเป็นส่วนประกอบที่มีเส้นรอบรูปเป็นเส้นประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 กลุ่มส่วนประกอบหลัก

- ***เซ็นเซอร์ (sensor)*** ทำหน้าที่วัดค่าต่างๆ จากสภาพแวดล้อมตามแต่ชนิดของเซ็นเซอร์ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ควัน ความเร่ง แรงสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว ความลึก ความเป็นกรดหรือด่าง เป็นต้น
- ***หน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย (transceiver unit)*** ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายในย่านความถี่สาธารณะ (ISM band) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ข้างเคียง
- ***หน่วยประมวลผล (processing unit)*** ติดต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อสั่งงานหรือรับข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูล จัดเก็บลงในหน่วยความจำ รอการร้องขอข้อมูลหรืออาจส่งข้อมูลทันทีผ่านทางหน่วยรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย หน่วยประมวลผลกลางอาจรับข้อมูลจากระบบระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการประมวลผลต่างๆ หรือหน่วยประมวลผลกลางอาจทำหน้าที่ควบคุม การเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ผ่านทางระบบเคลื่อนที่ นอกจากนี้หน่วยประมวลผลกลางยังทำหน้าที่ประมวลผลเครือข่ายและหาเส้นทางในการส่งข้อมูลของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์
- ***แหล่งพลังงาน (power unit)*** เก็บสะสมพลังงานและให้พลังงานกับทุกส่วนประกอบบนหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ แหล่งพลังงานจะรับพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานหากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.1.5.2 กลุ่มส่วนประกอบเพิ่มเติม

- ***ระบบระบุตำแหน่ง (positioning unit)*** เป็นหน่วยระบุตำแหน่งของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์โดยใช้ GPS เพื่อนำข้อมูลตำแหน่งไปใช้ประมวลผล เช่น หาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูล หาตำแหน่งสำหรับการเคลื่อนที่ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ เป็นต้น
- ***ระบบเคลื่อนที่ (mobilizing unit)*** ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายตำแหน่งของเซ็นเซอร์ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น จัดรูปแบบโครงสร้างเครือข่าย ติดตามวัตถุ เคลื่อนที่หาสัญญาณสื่อสาร เป็นต้น
- ***แหล่งกำเนิดพลังงาน(power generator unit)*** ทำหน้าที่กำเนิดพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานลม ความร้อน ปฏิกิริยาเคมี การสั่นสะเทือน เป็นต้น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อเก็บสะสมและใช้ต่อไป เพื่อชดเชยพลังงานที่ถูกใช้ไป ทำให้ตัวเซ็นเซอร์ไร้สายทำงานได้เป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจึงมีระบบเครือข่ายที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบเตือนภัย ระบบเครือข่ายต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูลและจะส่งข้อมูลเมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นเท่านั้นเพื่อประหยัดพลังงาน ในระบบวัดและควบคุมทางการเกษตร ระบบเครือข่ายไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูล แต่จะส่งข้อมูลตลอดเวลา โดยอาจมีการรวมข้อมูล(data fusion)ในระหว่างเส้นทางการเดินทางของข้อมูลเพื่อลดจำนวนครั้งของการสื่อสารและประหยัดพลังงาน ดังนั้นการเลือกชนิดและออกแบบเครือข่ายจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งาน

รูปที่ 2.3 ระดับชั้นโปรโตคอลของเครือข่ายสื่อสารไร้สาย [1]

2.1.6.1 โปรโตคอลสแตก (protocol stack) หรือระดับชั้น

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมาก เพราะเซ็นเซอร์ไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัด ทำให้พลังงานมีผลมากกับเซ็นเซอร์ไร้สายและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลสแตกของ Open Systems Interconnection (OSI) model โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบดังรูปที่ 2.3 แต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเอง คอยให้ความช่วยเหลือชั้นบนและขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเอง ส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมบริหารจัดการในทุกๆ ชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระนาบนั้นๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลสแตกที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ***ชั้นกายภาพ (physical layer)*** รับผิดชอบการรับ-ส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต (modulation) การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณ (channel coding) ชั้นกายภาพในประเทศไทยจะใช้ช่วงความถี่สาธารณะและกำลังส่งตามกฎหมายกำหนด
- ***ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (data link layer)*** รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ (medium access control (MAC)) การควบคุมข้อผิดพลาด (error control) ของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน (random access) ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ
- ***ชั้นเครือข่าย (network layer)*** รับผิดชอบการรับ-ส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอพ เพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ไปยังสถานีฐาน การคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้
- ***ระนาบพลังงาน(power plane)*** รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพ โดยอาจประสานงานข้ามชั้น(cross layer) เช่น หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เหลือพลังงานน้อย อาจจะลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพโดยประสานงานกับชั้นเครือข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรจะส่งข้อมูลในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

2.1.6.2 การพิจารณาระบบเครือข่าย

- การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีพลังงานอยู่จำกัด ซึ่งพลังงานที่มีเก็บสะสมอยู่เป็นตัวแปรหนึ่งของอายุการใช้งานหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และอายุของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
- ความล่าช้าของข้อมูล การใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในบางประเภทต้องการให้ได้ข้อมูลเร็วที่สุดหรือมีระดับความล่าช้าของข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดหลังจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์เก็บข้อมูลได้ เช่น ในงานสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตือนภัยสึนามิ ไฟป่า หรือในงานควบคุมที่ความล่าช้าของข้อมูล(delay-sensitive) มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม เป็นต้น

- ความถูกต้องของข้อมูล เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายควรจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเซ็นเซอร์และการประมวลผลข้อมูลในหน่วยร่วมเซ็นเซอร์หรือในเครือข่ายเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด
- ความทนทานต่อความเสียหาย เหตุการณ์ที่หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ไม่สามารถทำงานได้มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยังคงทำงานต่อไปได้ เช่น การมีเส้นทางสำรองในการเชื่อมต่อเครือข่ายและในการส่งข้อมูล
- ความสามารถในการส่งข้อมูล แบ่งออกเป็น ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และความสามารถในการส่งข้อมูลของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในกรณีที่ส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์เป็นสิ่งสำคัญ แต่ในกรณีที่ส่งข้อมูลพร้อมๆ กันจำนวนมาก ความสามารถในการส่งข้อมูลของเครือข่ายเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
- จำนวนหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นปัจจัยหลักกับค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าในการเลือกใช้ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.1.7 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็นสองประเภท คือ ประเภทซักถาม (querying) กับประเภทแบ่งงาน(tasking)

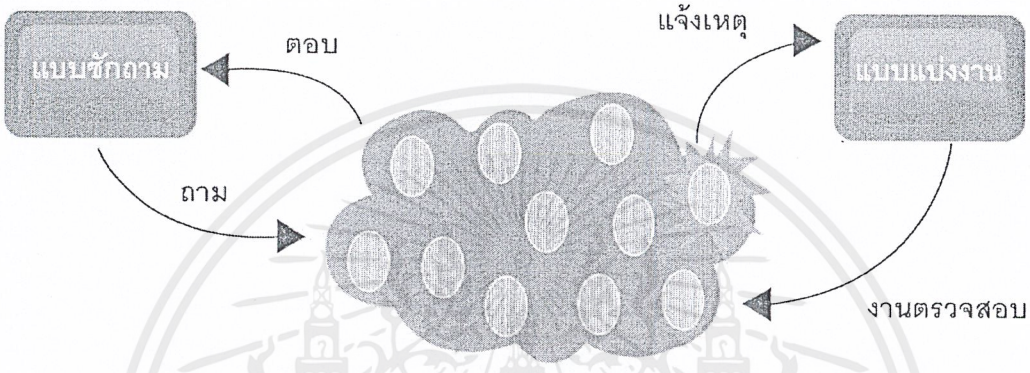
2.1.7.1 แบบซักถาม(querying)

เมื่อเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายถูกถามหาข้อมูลหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ใดๆที่มีข้อมูลจะตอบกลับผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายดังรูปที่ 2.4 ตัวอย่างเช่น ในงานการเกษตร หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะถูกถามเมื่อโปรแกรมที่ใช้งานต้องการใช้ข้อมูลความชื้นและอุณหภูมิ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะตอบด้วยข้อมูลที่ถูกเก็บบันทึกไว้ในแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

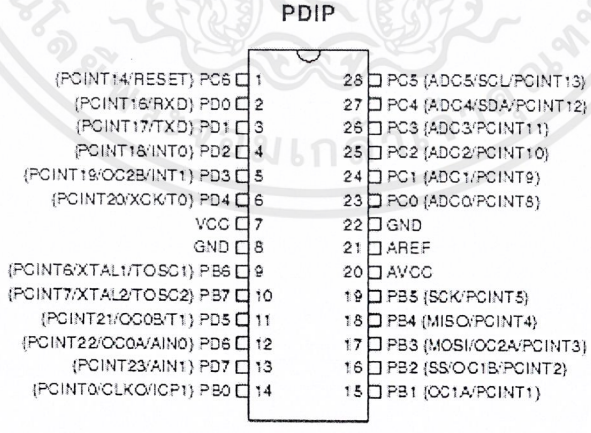
2.1.7.2 แบบแบ่งงาน (tasking)

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายรับหน้าการตรวจสอบเหตุการณ์ต่างๆเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ได้รับมอบหมายให้ตรวจสอบ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะแจ้งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายกลับทันทีดังรูปที่ 2.4 ตัวอย่างเช่น ในการเตือนภัยไฟป่า เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้รับมอบหมายให้เฝ้าวัดความร้อนและควันไฟ หน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะแจ้งข้อมูลกลับทันทีเมื่อตรวจวัดความร้อนและควันไฟได้เกินระดับที่ตั้งไว้เท่านั้น



รูปที่ 2.4 ลักษณะการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบซักถาม และ แบบแบ่งงาน [1]

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR8 เบอร์ Atmega168v ของบริษัท Atmel



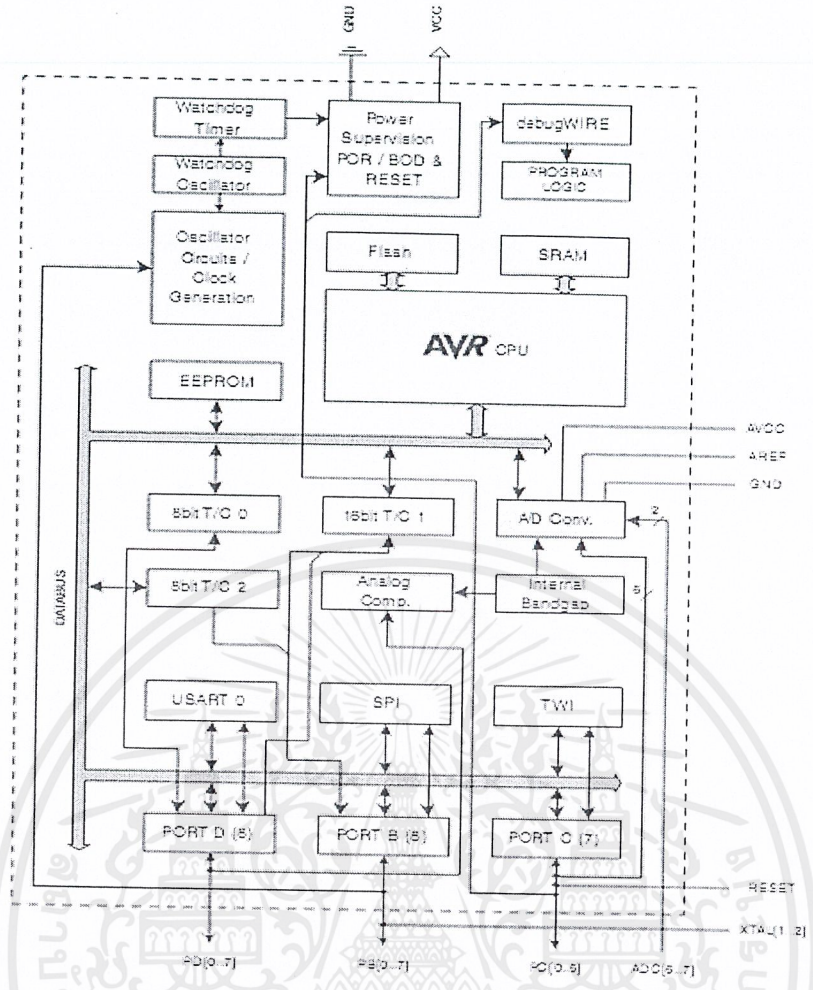
รูปที่ 2.5 รูปแบบตัวถังและตำแหน่งขาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega168 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ข้อมูลพื้นฐาน

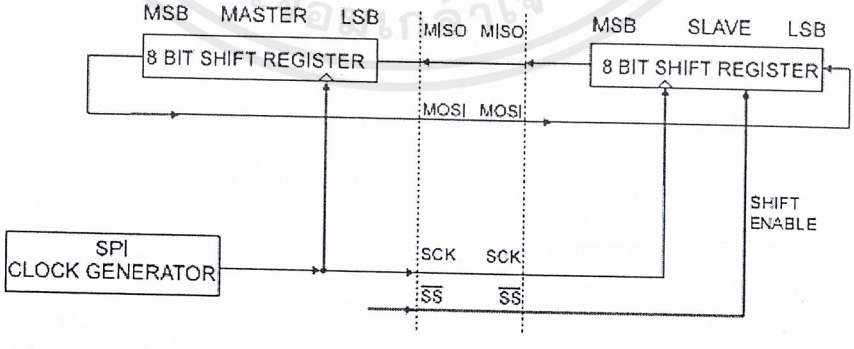
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีประสิทธิภาพสูง กินพลังงานต่ำ
- ใช้สถาปัตยกรรมแบบ Advance RISC
- หน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash 16K Byte, EEPROM 512 Byte
- หน่วยความจำข้อมูลขนาด 1K Byte
- Timer/Counter ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว และขนาด 16 บิต หนึ่งตัว
- PWM 6 ช่องสัญญาณ
- ADC ความละเอียด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- สามารถทำการโปรแกรมผ่าน USART
- สามารถตรวจสอบการขัดจังหวะและตื่นจากการทำงานจากการเปลี่ยนแปลงของขาอินพุต เอาท์พุต
- มีการโมดูลการสื่อสารและเชื่อมต่อดังนี้
  - SPI โหมด Master/Slave
  - 2-Wire
  - USART
- ระดับแรงดังที่สามารถทำงานได้ที่ 1.8 – 5.5V
- ระดับอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ -40 C ถึง 85 C
- ความเร็วสูงสุดที่สามารถทำงานได้ 0-4 MHz ที่แรงดัน 1.8-5.5 V และ 0-10 MHz ที่แรงดัน 2.7-5.5V
- การทำงานที่พลังงานต่ำ
  - การทำงาน Active โหมด 1 MHz, ที่ 1.8V ใช้กระแส 240 μA
  - การทำงาน Power-down โหมด ที่ 1.8V ใช้กระแส 0.1 μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมภายในคอนโทรลเลอร์เบอร์ Atmega168 [2]

2.2.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI)



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (SPI) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม (Serial Peripheral Interface) หรือ SPI เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI โดยการทำงานแบ่งออกเป็นสองโหมดคือ Master/Slave การสื่อสารข้อมูล SPI ประกอบด้วยสายสัญญาณดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงขาการทำงานของการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม

Pin	Direction, Master SPI	Direction, Slave SPI
MOSI	User Defined	Input
MISO	Input	User Defined
SCK	User Defined	Input
$\overline{SS}$	User Defined	Input

2.2.2.1 ตัวอย่างการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการเชื่อมต่อ

- การทำงานแบบ Master โหมด

```
void SPI_MasterInit(void)
{
 /* Set MOSI and SCK output, all others input */
 DDR_SPI = (1<<DD_MOSI)|(1<<DD_SCK);
 /* Enable SPI, Master, set clock rate fck/16 */
 SPCR = (1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR0);
}

void SPI_MasterTransmit(char cData)
{
 /* Start transmission */
 SPDR = cData;
 /* Wait for transmission complete */
 while(!(SPSR & (1<<SPIF)))
   ;
}
```

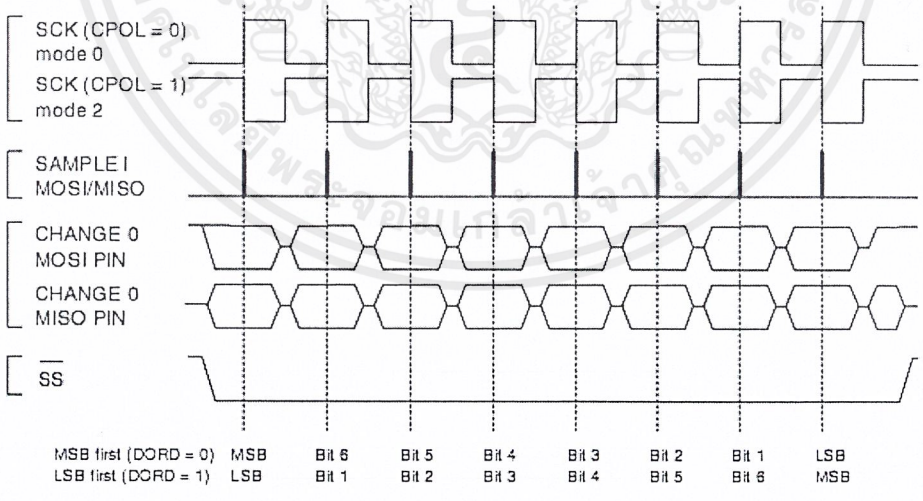

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การ ทำงานแบบ Slave โหมด

```
void SPI_SlaveInit(void)
{
  /* Set MISO output, all others input */
  DDR_SPI = (1<<DD_MISO);
  /* Enable SPI */
  SPCR = (1<<SPE);
}

char SPI_SlaveReceive(void)
{
  /* Wait for reception complete */
  while(!(SPSR & (1<<SPIF)))
    ;
  /* Return Data Register */
  return SPDR;
}
```

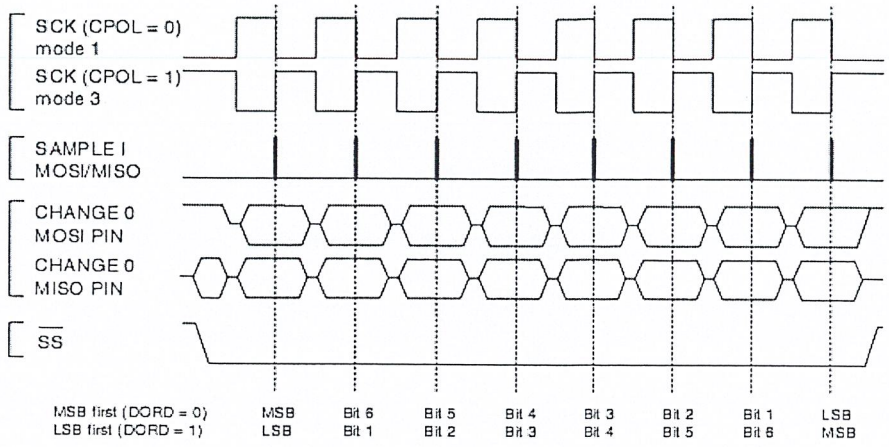
โดยรายละเอียดของสัญญาณนาฬิกาสามารถกำหนดได้ผ่านรีจีสเตอร์ SPCR โดยในที่นี้จะไม่กล่าวถึง สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างของทาง บริษัท Atmel ซึ่งรายละเอียดของสัญญาณนาฬิกามีดังนี้



รูปที่ 2.8 รูปแบบการส่งข้อมูล ในการกำหนดCPHA=0 [2]

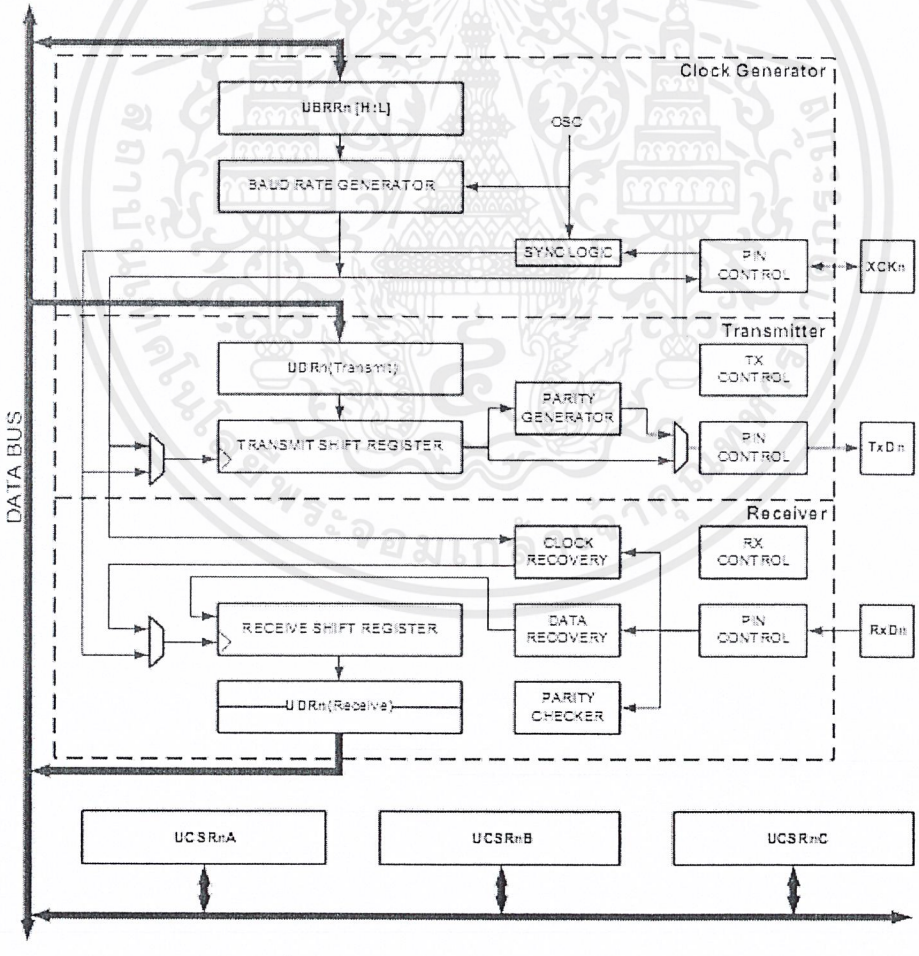
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.9 รูปแบบการส่งข้อมูล ในการกำหนดCPHA=1 [2]

2.2.3 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมผ่านโมดูล USART (Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างโมดูล USART [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
111743

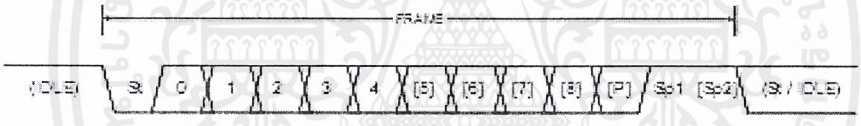
2.2.3.1 โมดูล USART แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ***ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)*** เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราบอดเรตในการรับส่งข้อมูล โดยสามารถกำหนดได้ทั้งภายในและภายนอก ผ่านทางขา XCK(Transfer Clock)
- ***ส่วนส่งข้อมูลอนุกรม (Transmitter)*** โดยส่งข้อมูลออกทางขาพอร์ต TxD
- ***ส่วนรับข้อมูลอนุกรม (Receiver)*** โดยการรับข้อมูลจากขาพอร์ต RxD

2.2.3.2 รีจีสเตอร์และรูปแบบการส่งข้อมูล

รีจีสเตอร์ควบคุมการทำงาน 3 ตัวประกอบไปด้วย UCSRA, UCSRB, UCSRC การส่งข้อมูลอนุกรมในรูปแบบอะซิงโครนัส จะเป็นการส่งข้อมูลเป็นเฟรม ลักษณะของเฟรมข้อมูลอนุกรมนี้ประกอบไปด้วย

- บิตเริ่มต้นข้อมูล (Start bit)
- บิตข้อมูล (Data bit)
- พาริตี้บิต (Parity bit)
- บิตหยุดข้อมูล (Stop bit)



รูปที่ 2.11 รูปแบบเฟรมข้อมูลในการส่งข้อมูลแบบ USART [2]

2.2.3.3 คุณสมบัติที่สำคัญของโมดูล USART

- การสื่อสารข้อมูลแบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) ตัวรับและตัวส่งแยกอิสระต่อกัน สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน (พร้อมกัน)
- ทำงานได้ทั้งในโหมดซิงโครนัสและอะซิงโครนัส
- มีคุณสมบัติของพอร์ตอนุกรมครบถ้วน เช่นการกำหนดบิตข้อมูล กำหนดบิตหยุด และกำหนดพาริตี้ เป็นต้น
- มีส่วนตรวจสอบความผิดพลาดของเฟรมข้อมูลและข้อมูลโอเวอร์รัน (Framing Error and Data OverRun Detection)
- โหมดการสื่อสารแบบมัลติโปรเซสเซอร์
- โหมดทวีคูณความเร็วในการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.4 การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล

การกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เรียกว่า อัตราบอตเรต (baud rate) หรือการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการคำนวณอัตราบอตเรตของ USART

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate[1]	Equation for Calculating UBRRn Value
Asynchronous Normal mode (U2Xn = 0)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{16(UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed mode (U2Xn = 1)	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{8(UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master mode	$BAUD = \frac{f_{OSC}}{2(UBRRn+1)}$	$UBRRn = \frac{f_{OSC}}{2BAUD} - 1$

2.2.3.5 ตัวอย่างการกำหนดโปรแกรมให้กับคอนโทรลเลอร์

- การกำหนดค่าเริ่มต้น

```
#define FOSC 1843200 // Clock Speed
#define BAUD 9600
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1
void main( void )
{
...
  USART_Init(MYUBRR)
...
}
void USART_Init( unsigned int ubrr)
{
  /*Set baud rate */
  UBRR0H = (unsigned char)(ubrr>>8);
  UBRR0L = (unsigned char)ubrr;
  Enable receiver and transmitter */
  UCSR0B = (1<<RXEN0)|(1<<TXEN0);
  /* Set frame format: 8data, 2stop bit */
  UCSR0C = (1<<USBS0)|(3<<UCSZ00);
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การส่งข้อมูล

```
void USART_Transmit( unsigned char data )
{
  /* Wait for empty transmit buffer */
  while ( !( UCSRnA & (1<<UDREn)) )
       ;
  /* Put data into buffer, sends the data */
  UDRn = data;
}
```

- การรับข้อมูล

```
unsigned char USART_Receive( void )
{
  /* Wait for data to be received */
  while ( !(UCSRnA & (1<<RXCn)) )
       ;
  /* Get and return received data from buffer */
  return UDRn;
}
```

2.2.4 การสื่อสารแบบบัส 1 สาย (1-wire Protocol)

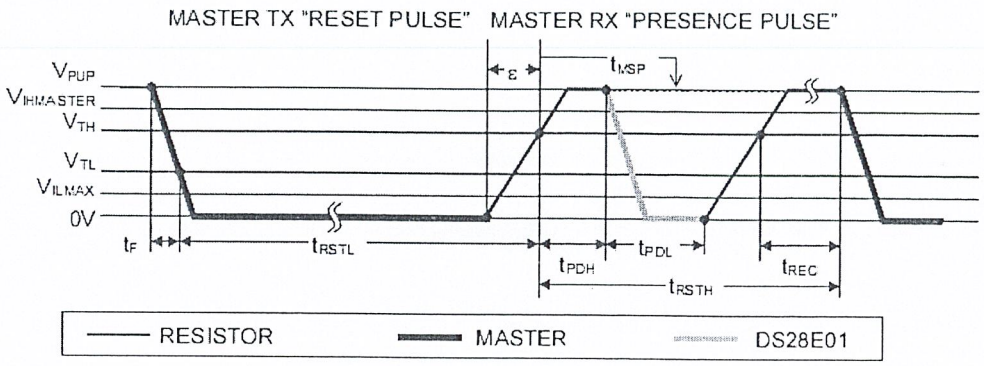
2.2.4.1 การติดต่อ

กระบวนการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเรียกว่ามาสเตอร์(Master) กับอุปกรณ์บนระบบบัส 1 สายหรือเรียกว่า สเลฟ (Slave) นั้นมีกระบวนการดังนี้

ก. การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สาย (Reset and Presence Pulses)

การเริ่มต้นติดต่อกับบัส 1 สายหรือเรียกกระบวนการ Reset and Presence Pulse ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มสร้างสัญญาณลอจิกต่ำ (เขียนค่า 0) ออกไปที่บัส 1 สายเป็นเวลาอย่างน้อย 480 ไมโครวินาที จากนั้นจะส่งสัญญาณลอจิกสูง(เขียนค่า 1) เป็นเวลาระหว่าง 15 ถึง 60 ไมโครวินาที หากอุปกรณ์บัส 1 สาย พร้อมทำงานหรือตอบรับได้ จะทำให้สัญญาณกลับเป็นลอจิกต่ำ โดยสัญญาณจะยังคงอยู่เป็นระยะเวลาระหว่าง 60 ถึง 240 ไมโครวินาที แสดงดังรูปที่ 2.12

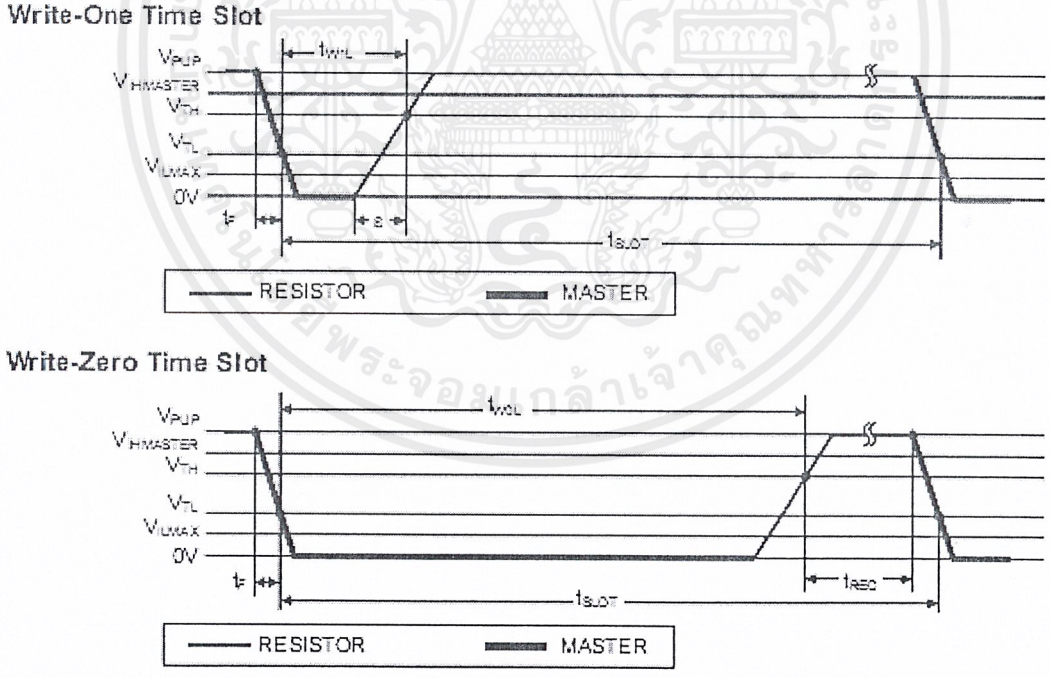
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการติดต่อไอซี [2]

ข. การเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย (Write 1-Wire bus)

เมื่อเริ่มติดต่อกับอุปกรณ์บัส 1 สาย (DS18x20) ได้แล้ว ในขั้นตอนการเขียนข้อมูลนั้น จะเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน และหากต้องการเขียนค่า 0 ให้คงสถานะสัญญาณ 0 ไว้เป็นเวลามากกว่า 60 ไมโครวินาทีและไม่เกิน 120 วินาที แต่ถ้าต้องการเขียนค่า 1 หลังจากเริ่มต้นส่งข้อมูล 0 แล้วให้เวลาผ่านไป 1 ไมโครวินาทีก่อนจึงเขียนค่า 1 ตามไป แสดงดังรูปที่ 2.13

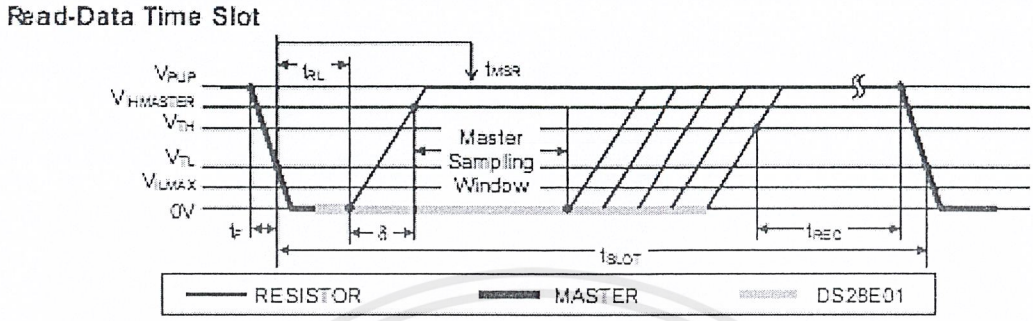


รูปที่ 2.13 กระบวนการเขียนข้อมูลบนบัส 1 สาย [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย (Read 1-Wire bus)

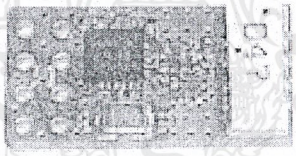
ขั้นตอนการอ่านข้อมูล จะเริ่มต้นส่งข้อมูล 0 ไปที่บัส 1 สายก่อน ในช่วงเวลา 1 ไมโครวินาทีให้เขียนค่า 1 ตามไป ให้อ่านสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์สเลฟหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 15 ไมโครวินาทีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กระบวนการอ่านข้อมูลบนบัส 1 สาย [2]

2.3 โมดูลการสื่อสารไร้สาย DCBT-24N (nRF24L01)

2.3.1 ข้อมูลพื้นฐาน

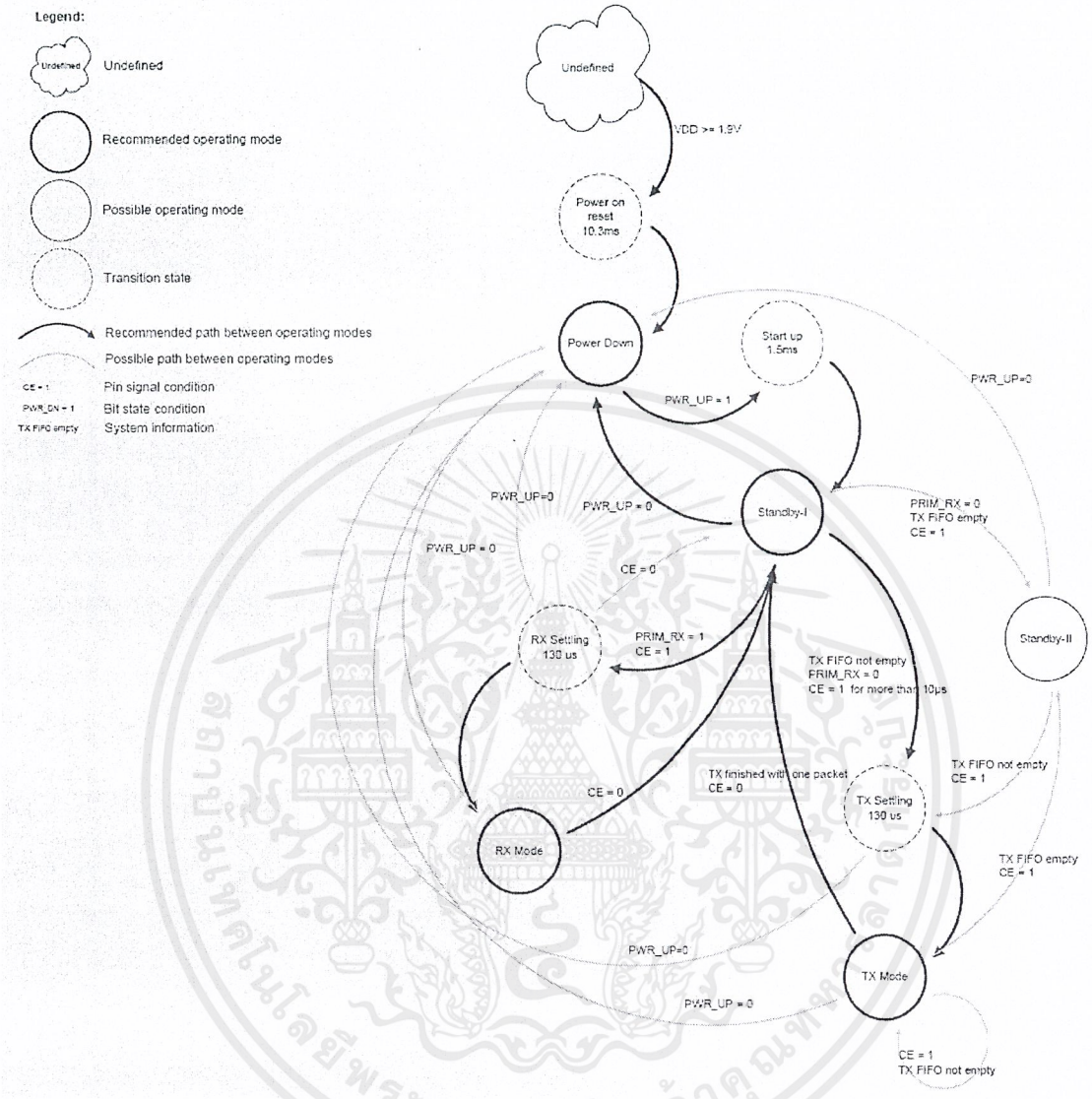


รูปที่ 2.15 โมดูล DCBT-24N [3]

- ใช้ช่วงความถี่ 2.4 GHz ISM band
- ส่งด้วยความเร็วบนอากาศ 2 Mbps
- ใช้พลังงานต่ำ
- กินพลังงาน 11.3 mA ในการการส่งระดับพลังงาน 0 dBm
- กินพลังงาน 12.3 mA ในการรับข้อมูลที่ความเร็ว 2 Mbps
- ทำงานที่ระดับแรงดัน 1.9-3.6 V
- มีระบบจัดการแพคเก็จอัตโนมัติ
- มีระบบการทำงาน 6 Data pipe MultiCeiver
- ใช้การเชื่อมต่อแบบ SPI
- มีราคาต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กระบวนการทำงานของโมดูล DCBT-24N



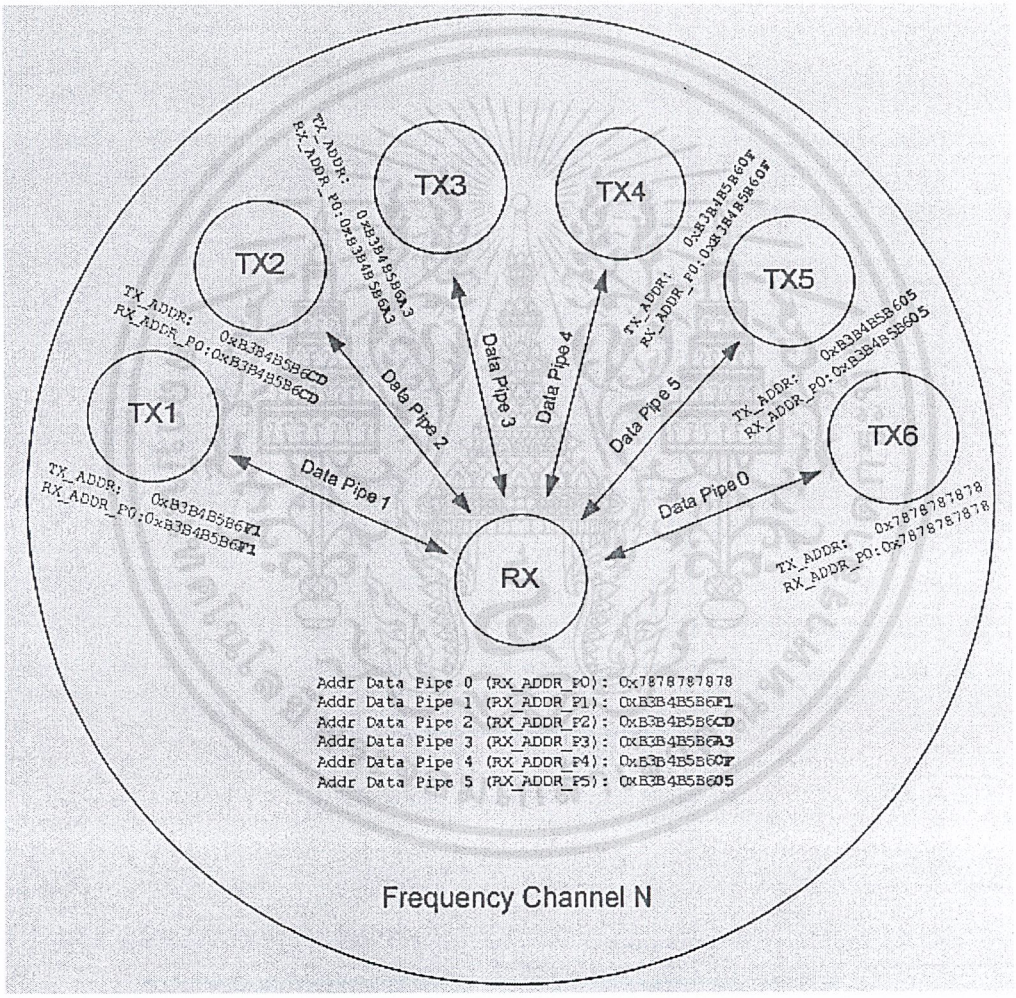
รูปที่ 2.16 State Diagram การทำงานของ โมดูล DCBT-24N [3]

การกำหนดการทำงานสามารถทำได้โดยส่งคำสั่งผ่านฟังก์ชันการทำงานของ SPI โดยมีขาการเชื่อมต่อดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- `IRQ` (this signal is active low and is controlled by three maskable interrupt sources)
- `CE` (this signal is active high and is used to activate the chip in RX or TX mode)
- `CSN` (SPI signal)
- `SCK` (SPI signal)
- `MOSI` (SPI signal)
- `MISO` (SPI signal)

คุณสมบัติพิเศษที่นำมาใช้ในงานนี้คือการทำงานแบบ MultiCeiver ซึ่งสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ได้พร้อมกันถึง 5 ตัว ทำให้สามารถทำการสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.17 การจัดการการทำงานของโมดูลแบบ MultiCeiver [3]

ส่วนคำสั่งในการจัดการรีจีสเตอร์ภายในโมดูลสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสารของทางบริษัท Nordic จากเอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

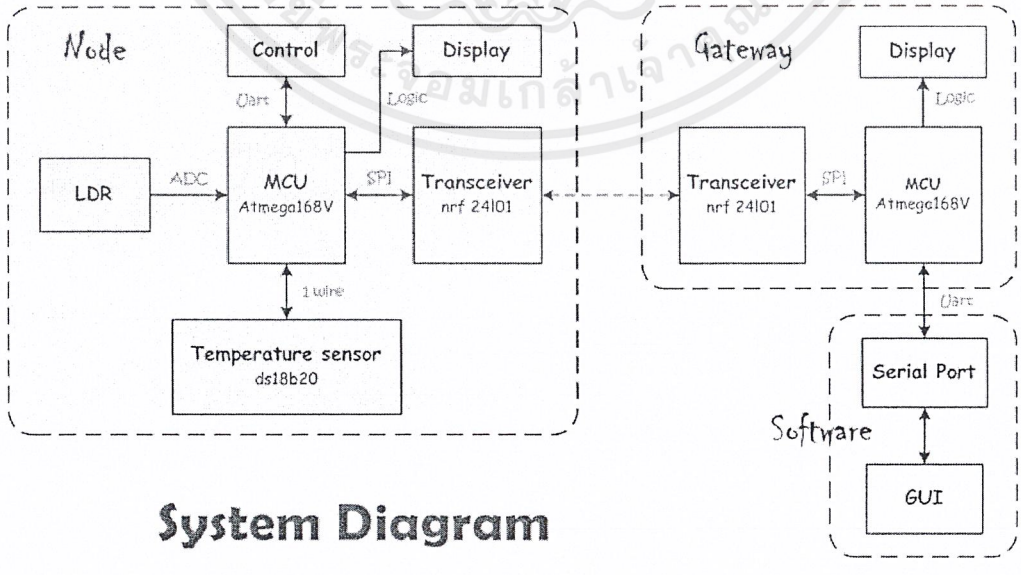
บทที่ 3
การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

3.1 แนวคิด

จากการศึกษาเรื่องระบบเครือข่ายรับรู้ไร้สาย ทางคณะผู้จัดทำได้มีความสนใจที่จะนำอุปกรณ์เครือข่ายรับรู้ไร้สายมาพัฒนา โดยที่อุปกรณ์เครือข่ายรับรู้ไร้สายนั้นต้องใช้พลังงานน้อยที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้งานครั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำได้เลือก ปลั๊กไฟ และ สวิตช์ไฟ มาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการศึกษาการควบคุมไฟฟ้า โดยได้ออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถควบคุมได้ในระยะไกลผ่านเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย และได้เพิ่มประสิทธิภาพให้อุปกรณ์ต้นแบบด้วยการใส่เซ็นเซอร์ ในการวัดค่าอุณหภูมิและความเข้มแสง เพื่อให้สามารถวัดค่าสภาพแวดล้อมเหล่านี้มาจัดเก็บลงในฐานข้อมูล และนำค่าต่างๆที่เก็บรวบรวมมาประมวลผล ซึ่งจะนำมาใช้พัฒนาในการควบคุมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในส่วนอื่นๆภายในที่อยู่อาศัยต่อไป

3.2 การสร้างและออกแบบระบบ

การออกแบบระบบนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่สำคัญของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ได้แก่ การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แบบเวลาจริง การประหยัดพลังงาน และส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยในการออกแบบระบบนี้ได้แยกการออกแบบเป็น 3 ส่วน คือ ในส่วนของ Node, Gateway และ Software ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพการทำงานของระบบ จะเริ่มต้นจากการเลือกฮาร์ดแวร์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบ ได้แก่

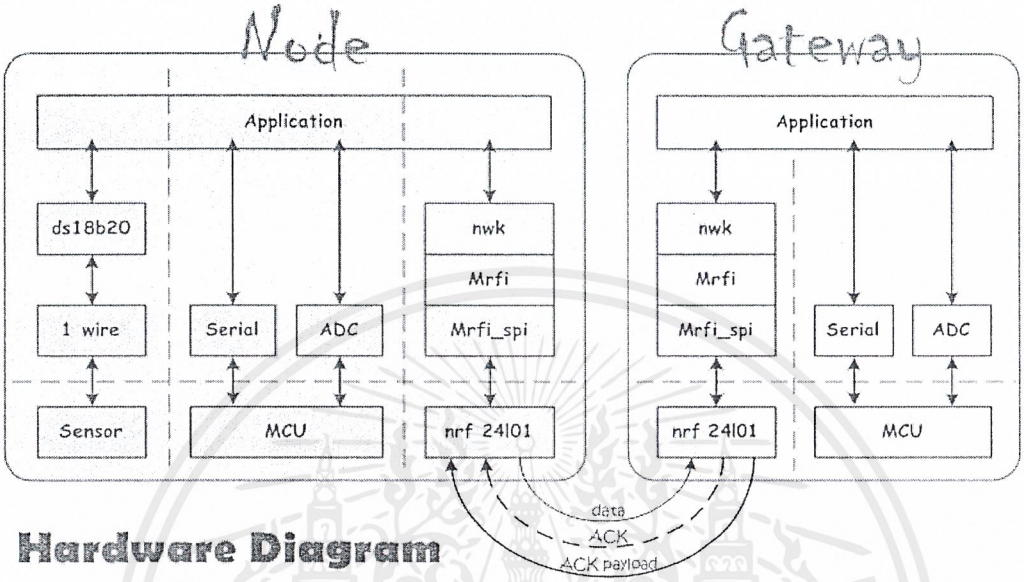
- **หน่วยประมวลผลกลาง** ได้ทำการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit : MCU) ของบริษัท Atmel รุ่น atmega168V ซึ่งมีจุดเด่นที่ช่วงความต่างศักย์ในการทำงาน และโหมดการประหยัดพลังงานถึง 5 โหมด อีกทั้งราคาไม่สูงมากนัก
- **เซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Temperature Sensor)** ได้เลือกใช้แบบดิจิตอล ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำกว่าแบบอนาลอก โดยได้ทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 1-wire ซึ่งเป็นการประหยัดสายสัญญาณในการสื่อสาร
- **เซ็นเซอร์แสง (Light Dependent Resistor : LDR)** ได้เลือกใช้แบบอนาลอก เนื่องจากราคาถูก และใช้งานง่าย โดยทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูล ADC
- **ตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)** ได้เลือกใช้โมดูล nrf24l01 ของบริษัท Nordic ซึ่งมีจุดเด่นอยู่ที่การใช้พลังงานต่ำ และมีอัตราการส่งข้อมูลสูง โดยทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูล SPI

ต่อมาทำการออกแบบระบบ โดยในส่วนของ Node จะใช้ MCU เป็นตัวประมวลผลกลาง ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ของระบบด้วยโมดูลต่างๆ ซึ่งได้อธิบายไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังมีการควบคุม (Control) เพื่อทำการควบคุมเซ็นเซอร์ภายนอกผ่านทาง UART และมีการแสดงผล (Display) เพื่อบอกสถานะการทำงานของระบบ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลจาก MCU แบบ Logic โดย MCU จะมีตัว Transceiver เป็นตัวรับและส่งข้อมูลระหว่าง Node และ Gateway ซึ่งเมื่อ Gateway ได้รับข้อมูลผ่านทาง Transceiver ของ Gateway แล้วจะทำการส่งข้อมูลมาประมวลผลยัง MCU และส่งข้อมูลผ่านทาง Serial Port ด้วยโมดูลแบบ UART มายังส่วนของซอฟต์แวร์ ดังจะกล่าวต่อไปในส่วนของซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ส่วนฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบสถาปัตยกรรมของซอฟแวร์บนระบบ ได้ทำการแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลักๆ ด้วยกัน คือ ส่วนของเซนเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) และ ตัวรับ-ส่ง (Transceiver) ซึ่งมีลำดับชั้นในการทำงานดังแสดงรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพรวมการออกแบบของฮาร์ดแวร์ แบบ Low Architecture

ในการออกแบบลักษณะของเซ็นเซอร์ Node แบบ Low Architecture โดยมีหน่วยประมวลผล (MCU) คือ Atmega168v ร่วมกับ Transceiver คือ nrf24l01 โดยมีเซ็นเซอร์ประจำ Node สองตัว คือ อุณหภูมิ และความเข้มแสง ซึ่งเซ็นเซอร์โหนดนี้สามารถนำเชื่อมต่อควบคุมเซ็นเซอร์ภายนอกได้ โดยในขั้นต้นมีการออกแบบการทำงานเป็นแบบคาบเวลา ซึ่งจะทำการประยุกต์ให้มีการทำงานแบบการซักถามในขั้นต่อไป

ด้านพลังงานได้ทำงานออกแบบอัลกอริทึม Power Adaptive ขึ้นโดยที่ตัวโมดูลไม่ได้รองรับการใช้ตัวชี้วัดระดับความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Received signal strength indication : RSSI) ซึ่งทำให้ต้องมาพิจารณาในระดับชั้นดาต้าลิงค์เลเยอร์ โดยพิจารณาจากระบบ Auto Retransmission ซึ่งจะได้อัลกอริทึมแบบ Power Adaptive บนระดับชั้นดาต้าลิงค์เลเยอร์แบบขั้นต้นขึ้นมา แต่ยังต้องทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่ออัลกอริทึม เพื่อปรับปรุงให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแหล่งจ่ายพลังงานนั้นสามารถใช้แบตเตอรี่แบบ AA 2 ก้อน

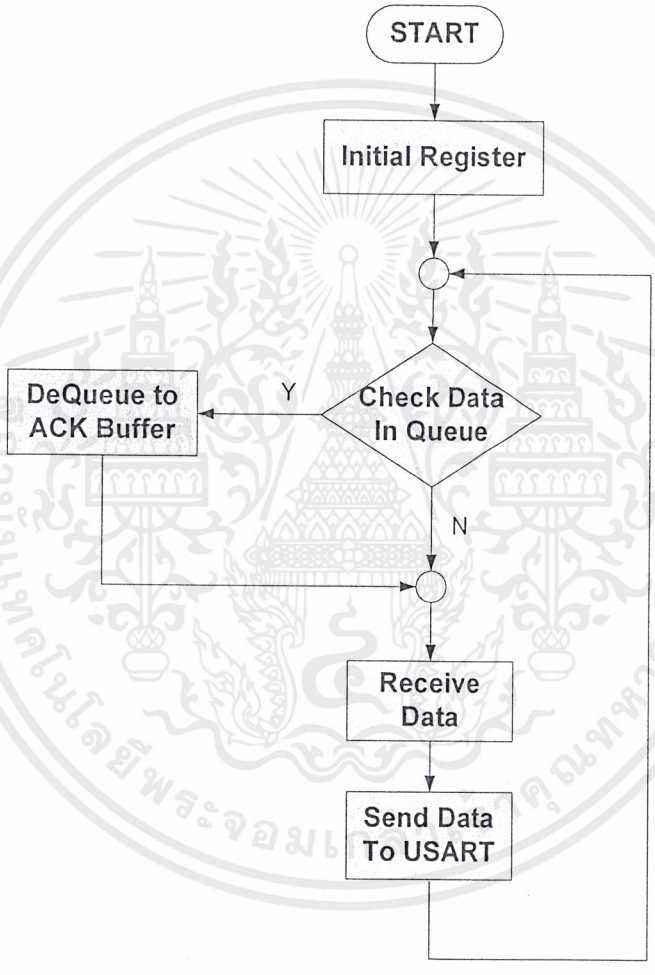
ด้านการสื่อสารมีการจัดการเพื่อการสอดคล้องกันของฝั่งรับฝั่งส่ง โดยใช้ระบบ Auto Retransmission ในฝั่ง Gateway ที่ได้ตั้งให้เป็นโหมดรับข้อมูล โดยทำการส่งข้อมูลที่จะทำการควบคุมไปยังบัฟเฟอร์ของ ACK ซึ่งตัว Transceiver นี้จะทำจัดการในเรื่องความสอดคล้องของข้อมูลให้เอง ส่งผลให้เซ็นเซอร์โหนดสามารถทำการรับค่าจากแพกเกจของ ACK ในระบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ลำดับการทำงานของโปรแกรมส่วนฮาร์ดแวร์

ลำดับการทำงานของโปรแกรมในส่วนฮาร์ดแวร์สามารถแยกการทำงานได้ ดังนี้

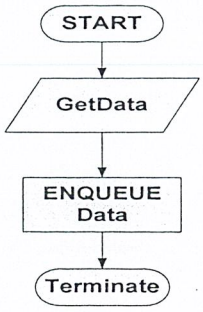
ส่วนของเกตเวย์ เริ่มต้นจากทำการกำหนดค่ารีจีสเตอร์ (Initial Register) แล้วทำการตรวจสอบค่าในคิว (Check Data In Queue) ซึ่งเป็นค่าที่รับมาจากส่วนของการทำงานอินเตอร์รัป เพื่อทำการส่งค่าการควบคุมไปยังส่วนของ ACK Buffer จากนั้นรอรับข้อมูลจากโหนดลูก (Receive Data) ระบบจะทำการ Auto ACK และทำการส่งข้อมูลใน ACK Buffer ไปยังโหนดลูก ซึ่งการทำงานจะมีลำดับการทำงานตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลำดับการทำงานของโปรแกรมหลักในตัว Gateway

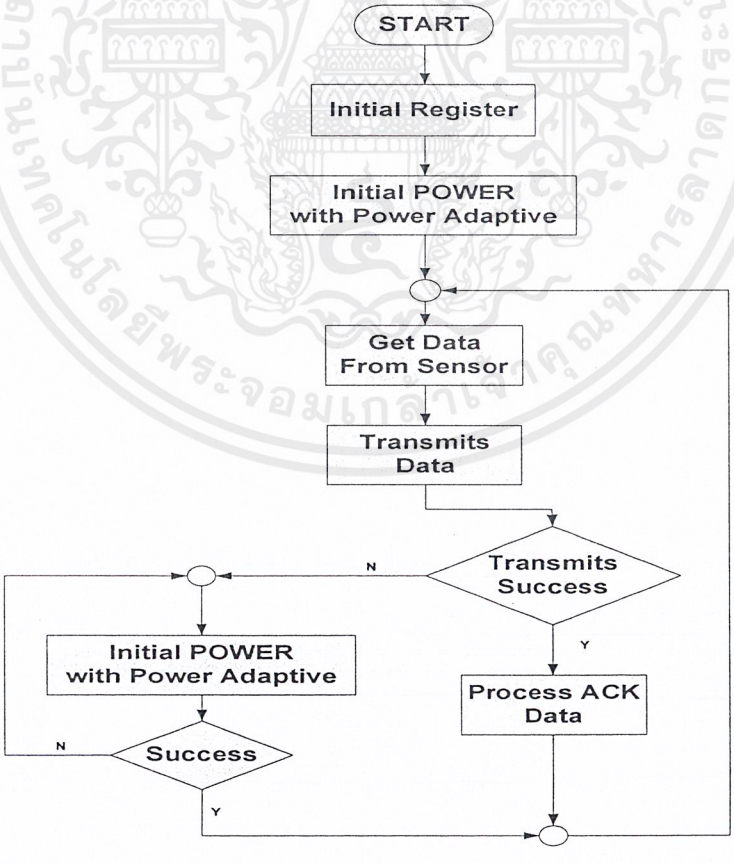
การทำงานในส่วนของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.4 นั้นเป็นการรับค่าจากทางUSART (GetData) ซึ่งเป็นการส่งค่ามาจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS232 ซึ่งเมื่อโปรแกรมจะทำการรับข้อมูล แล้วก็จะทำการเก็บค่าเข้าสู่คิวต่อไป (ENQUEUE Data)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลำดับการทำงานของโปรแกรมในส่วนอินเตอร์รัป

ลำดับการทำงานของโปรแกรมในส่วนของโหนดลูก เริ่มต้นจากการกำหนดค่ารีจีสเตอร์ (Initial Register) และทำการกำหนดกำลังส่งที่เหมาะสม (Initial Power with Power Adaptive) จากนั้นทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์ (Get Data From Sensor) และทำการส่งข้อมูล (Transmits Data) ถ้าการส่งข้อมูลสำเร็จก็จะทำการอ่านค่าจาก ACK Buffer (Process ACK Data) เพื่อที่จะทำการประมวลผลในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ แต่ถ้าส่งไม่สำเร็จจะทำการกำหนดระดับพลังงานในการส่งใหม่ (Initial Power with Power Adaptive) จนกว่าจะมีการส่งค่าที่สมบูรณ์ (Success) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลำดับโปรแกรมหลักของเซ็นเซอร์โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทำงานของ Power Adaptive Algorithm เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่า รีจีสเตอร์ PA ในตัวชิป nrf24l01 ซึ่งเป็นการกำหนดระดับพลังงานในการส่ง แล้วทำการทดลองส่ง Bank Packet ออกไปเพื่อทดสอบการรับส่ง(Send Data PA) ถ้าการส่งสำเร็จ (Receive Packet) ก็จะใช้ระดับพลังงานนั้นในการรับส่ง(Power Setting Success) แต่ถ้าไม่สำเร็จจะทำการปรับค่าระดับพลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

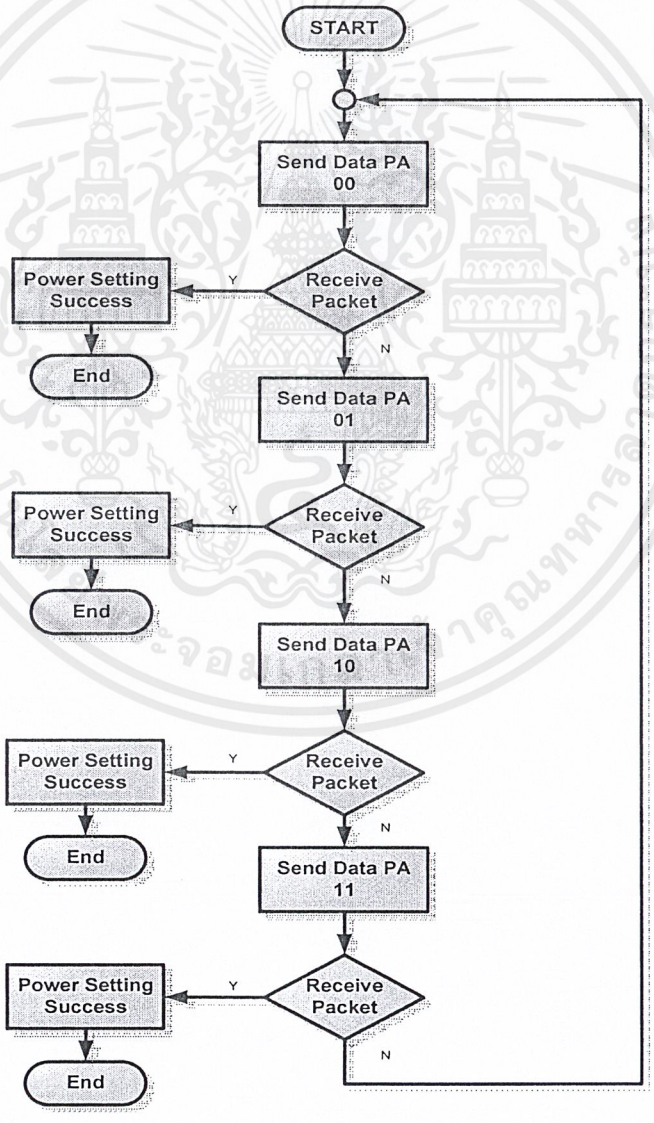
ซึ่งค่าจากในรีจีสเตอร์ PA สามารถกำหนดระดับพลังงานได้ดังนี้

00 คือ กำลังส่งของ wireless ระดับที่ 1 ซึ่งมีค่า -18 dBm

01 คือ กำลังส่งของ wireless ระดับที่ 2 ซึ่งมีค่า -12 dBm

10 คือ กำลังส่งของ wireless ระดับที่ 3 ซึ่งมีค่า -6 dBm

11 คือ กำลังส่งของ wireless ระดับที่ 4 ซึ่งมีค่า 0 dBm



รูปที่ 3.6 Power Adaptive Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 รูปแบบแพคเกจที่ใช้ในการสื่อสารในระดับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์

เป็นแพคเกจขนาด 8 ไบต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

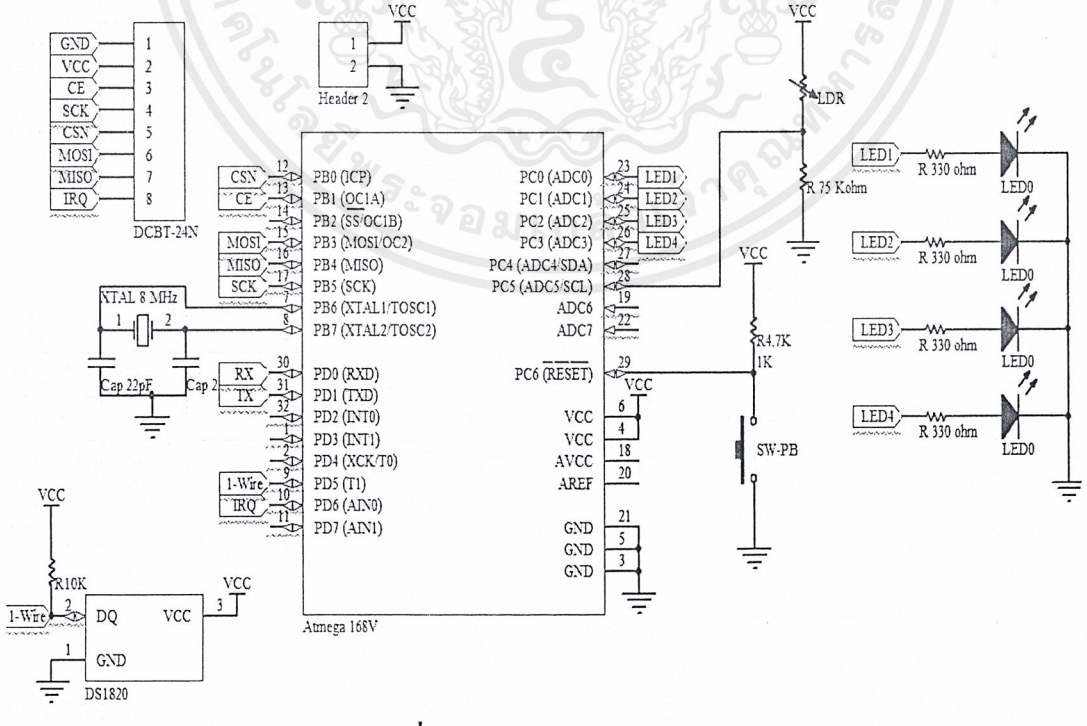
Header 1 Byte	ID 1 Byte	Mode 1 Byte	Temp 1 Byte	Light 1 Byte	Control 2 Byte	CheckSum 1 Byte

รูปที่ 3.7 แสดงรายละเอียดของของแพคเกจขนาด 8 Byte

- Header ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับการทำ Byte Stuffing
- ID ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับระบุที่มาของแพคเกจ
- Mode ขนาด 1 Byte ใช้แบ่งประเภทของแพคเกจ
- Temp ขนาด 1 Byte เก็บข้อมูลของอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์
- Light ขนาด 1 Byte เก็บข้อมูลของแสงจากเซ็นเซอร์
- Control ขนาด 2 Byte ข้อมูลที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ
- Checksum ขนาด 1 Byte เป็นข้อมูลของผล Checksum จาก Byte ที่1-7

3.2.1.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

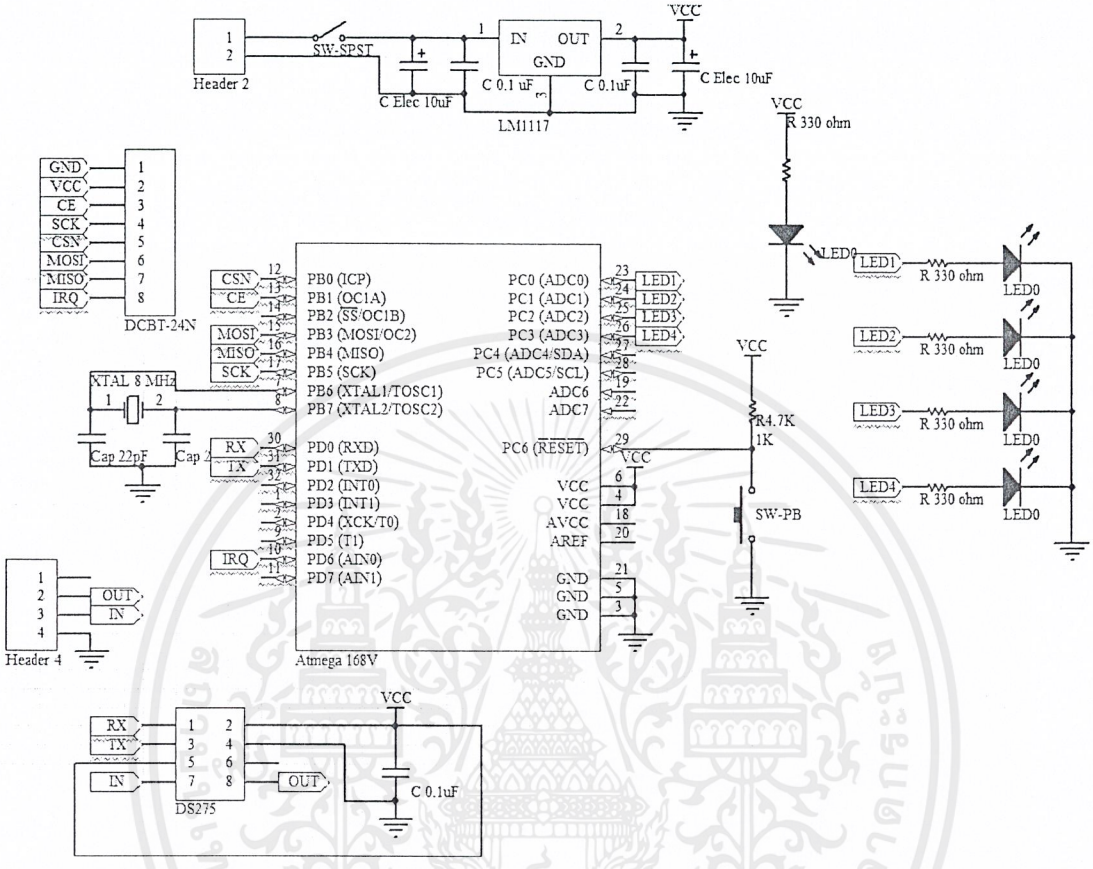
ส่วนของวงจร Node นั้นได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega168V เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์อุณหภูมิ DS1820 และ LDR ซึ่งเป็นตัวรับแสง และใช้โมดูล DCBT24-N เป็นตัวส่ง ซึ่งแสดงวงจรดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรของบอร์ด Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

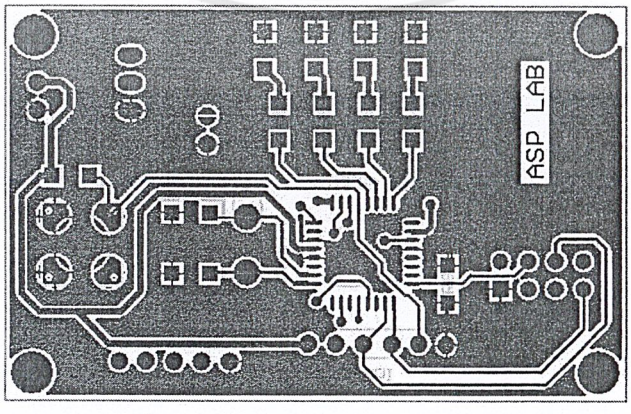
ส่วนของวงจร Gateway ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ Atmega168V เชื่อมต่อกับโมดูล DCBT24-N ซึ่งเป็นตัวส่ง และชิปแปลงระดับสัญญาณ TTL ให้เป็น RS232 พร้อมไฟแสดงสถานะจำนวน 4 ดวงซึ่งวงจรแสดงไว้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรของบอร์ด Gateway

3.2.1.4 ลายวงจร เซ็นเซอร์โหนดที่เสร็จสมบูรณ์

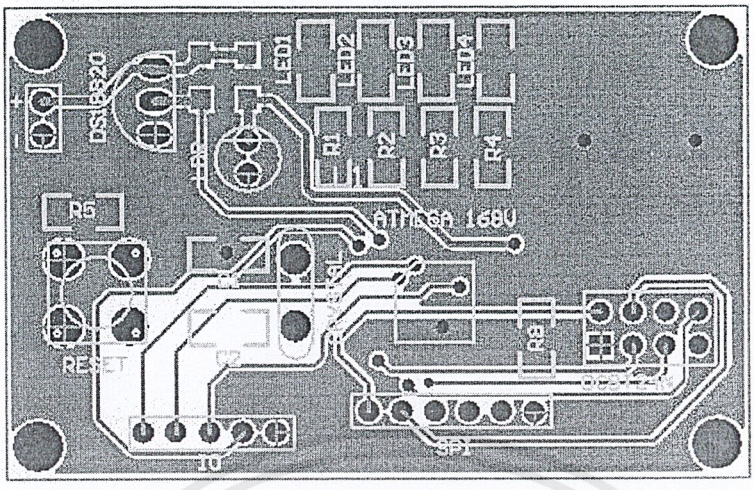
เซ็นเซอร์โหนดมีลายวงจร 2 ส่วน คือ ลายวงจรด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลายวงจรของเซ็นเซอร์โหนดด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

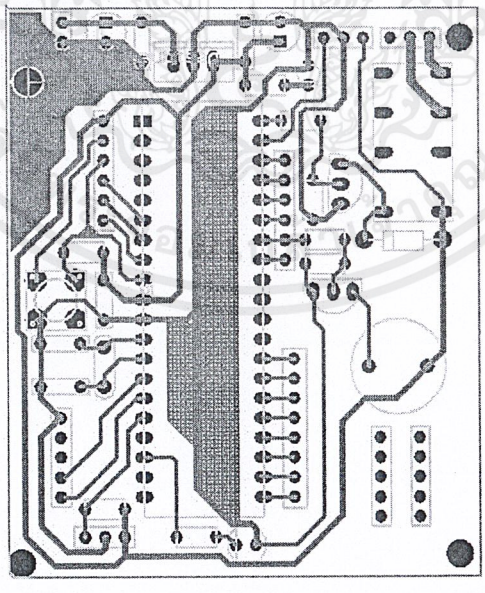
และลายวงจรด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลายวงจรของเซ็นเซอร์โหนดด้านล่าง

3.2.1.5 ลายวงจรของบอร์ดแอปพลิเคชั่น

บอร์ดแอปพลิเคชั่นนั้น คือ ส่วนบอร์ดที่ใช้ในการต่อเซ็นเซอร์เพิ่มเติมจากเซ็นเซอร์โหนด เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส หรือ เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ซึ่งได้มีการออกแบบลายวงจร ดังรูปที่ 3.12

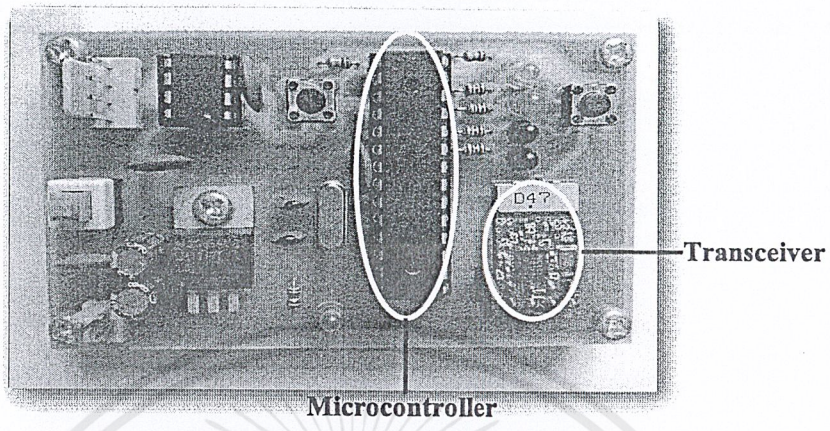


รูปที่ 3.12 ลายวงจรของบอร์ดแอปพลิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

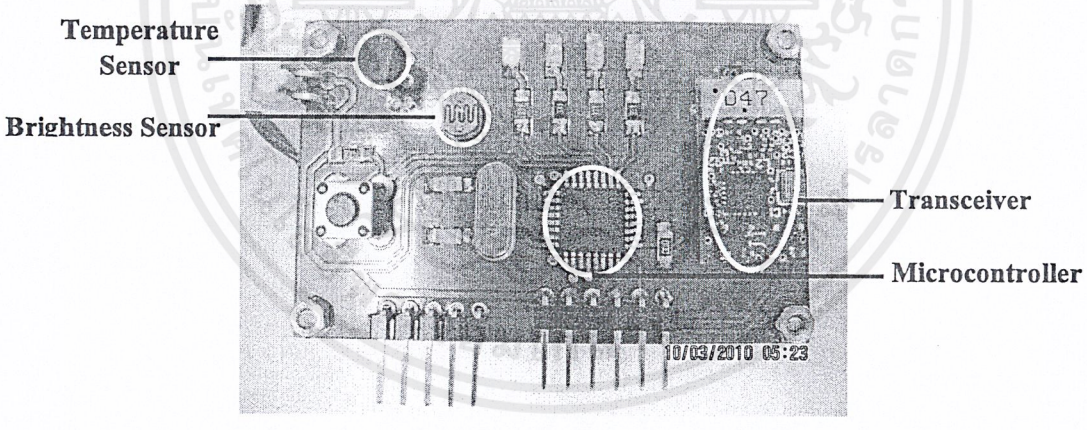
3.2.1.6 ผลสำเร็จจากการออกแบบฮาร์ดแวร์

จากการออกแบบฮาร์ดแวร์สามารถสร้างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ออกมาได้แก่ บอร์ด Gateway ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 บอร์ด Gateway

บอร์ด Node พื้นฐานซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดค่าความสว่าง แสดงดังรูปที่ 3.14

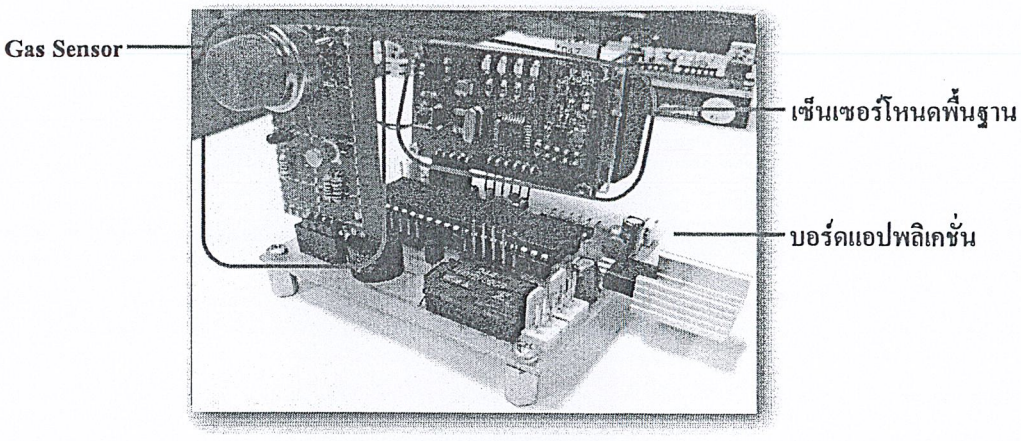


รูปที่ 3.14 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐาน(วัดอุณหภูมิและความสว่าง)

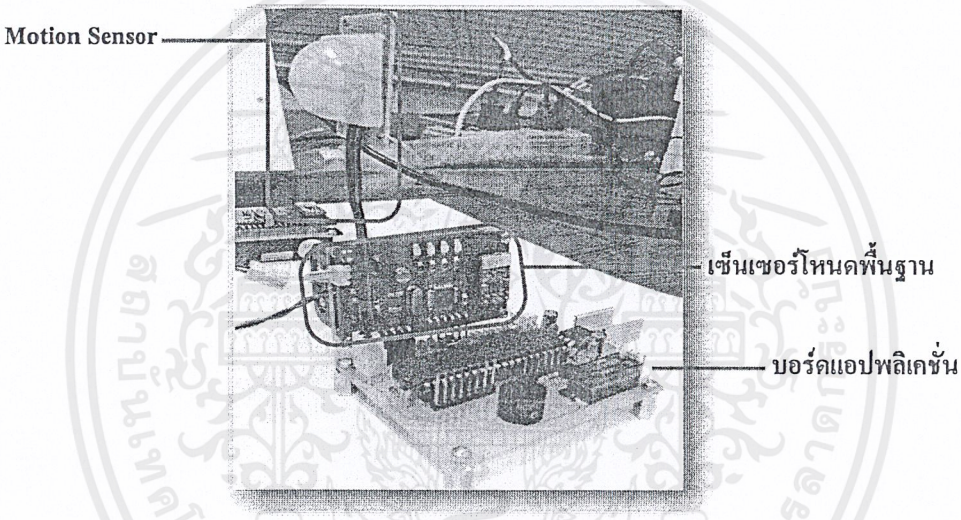
ซึ่งบอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐานนี้เป็นบอร์ดหลักที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตัวอื่นๆเพิ่มโดยใช้บอร์ดแอปพลิเคชั่นที่ได้ทำการออกแบบเป็นบอร์ดเชื่อมส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น การเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส ดังรูปที่ 3.15 หรือการเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ดังรูปที่ 3.16

นอกจากนี้บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในติดตั้งเพื่อการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.17

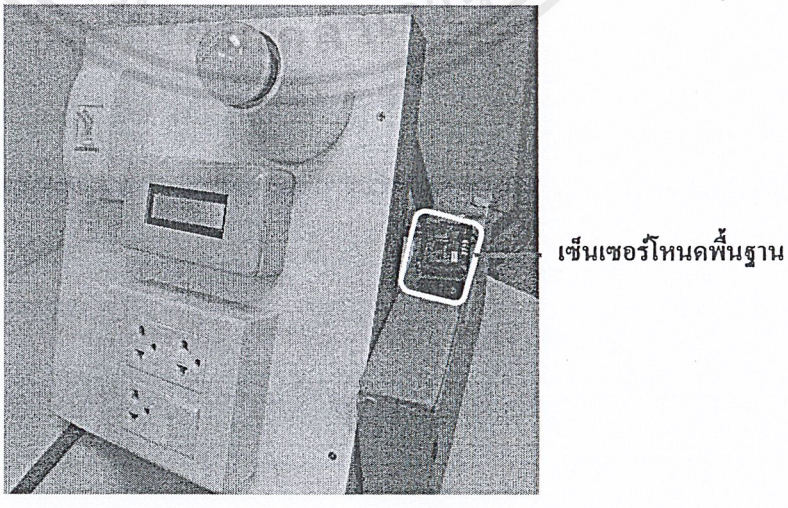
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐานเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณแก๊ส



รูปที่ 3.16 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนดพื้นฐานเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว

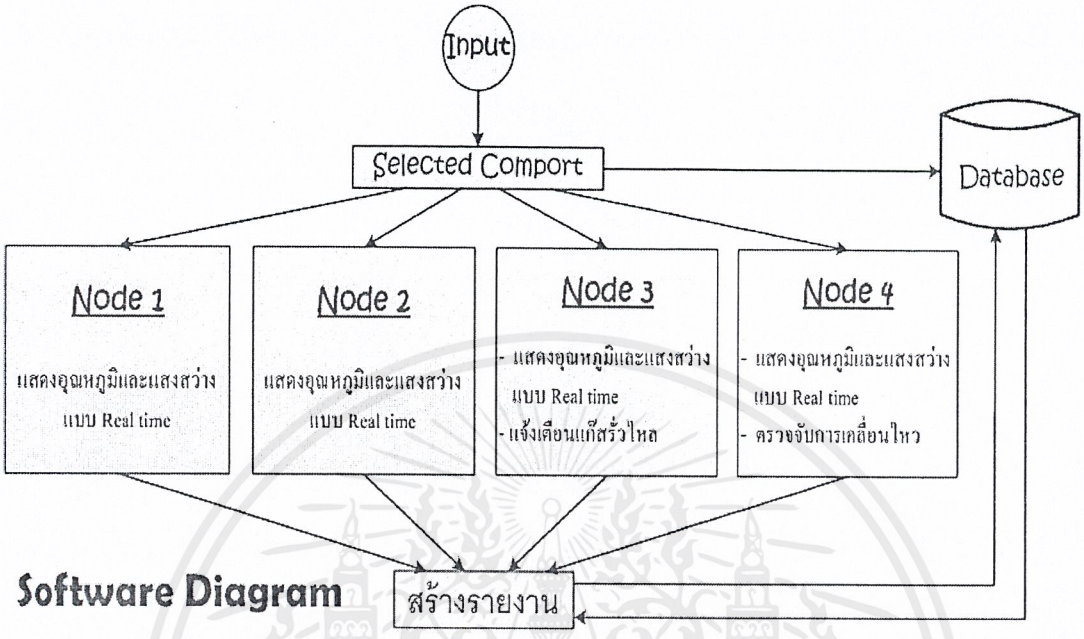


รูปที่ 3.17 เซ็นเซอร์โหนดต่อควบคุมแผงอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนซอฟต์แวร์

ในส่วนซอฟต์แวร์นั้นได้มีการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยเน้นการใช้งานและการจัดการข้อมูลอย่างง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการประมวลผลในขั้นสูง



รูปที่ 3.18 ภาพรวมการออกแบบซอฟต์แวร์

จากภาพรวมการออกแบบซอฟต์แวร์ จะเริ่มต้นด้วยการรับข้อมูล (Input) จากฮาร์ดแวร์ผ่านคอมพอร์ตที่เลือกไว้ (Selected Comport) โดยจะแสดงค่าอุณหภูมิและค่าแสงสว่างแบบ Real time ผ่านหน้าโปรแกรมที่สร้างไว้ ซึ่งก็คือ Node 1, Node 2, Node 3 และ Node 4 ซึ่งค่าที่แสดงแบบ Real time นี้จะถูกนำไปเก็บลงในฐานข้อมูล (Database) ตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ใน Node 3 ได้สร้างการแจ้งเตือนเมื่อมีแก๊สรั่วไหล และใน Node 4 มีการตรวจจับความเคลื่อนไหว อีกทั้งในทุก Node สามารถสร้างรายงานโดยดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมา

การออกแบบซอฟต์แวร์นั้นได้แบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วนได้แก่

3.2.2.1 ซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้

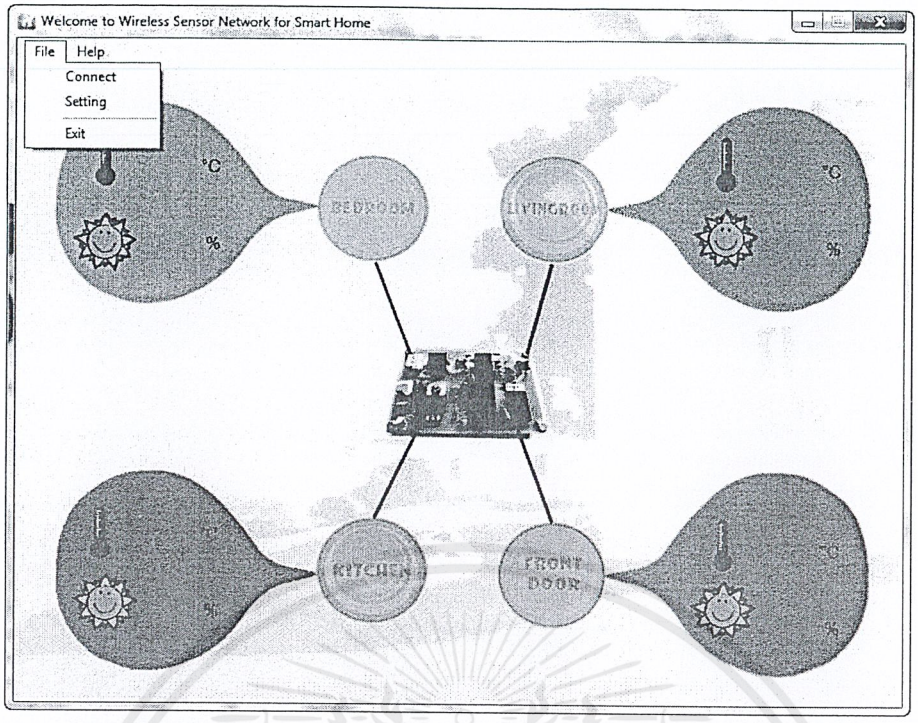
ในส่วนซอฟต์แวร์ส่วนติดต่อผู้ใช้ได้มีการสร้างหน้าโปรแกรมติดต่อกับ Node การทำงาน 4 Node เพื่อสร้างการเชื่อมต่อระหว่างเกตเวย์และคอมพิวเตอร์ ดังรูป 3.19 ซึ่งในโปรแกรมได้จำลองให้ Node 1 ต่ออยู่ในส่วนของห้องนอน (BEDROOM)

Node 2 ต่ออยู่ในส่วนของห้องนั่งเล่น (LIVINGROOM)

Node 3 ต่ออยู่ในส่วนของห้องครัว (KITCHEN)

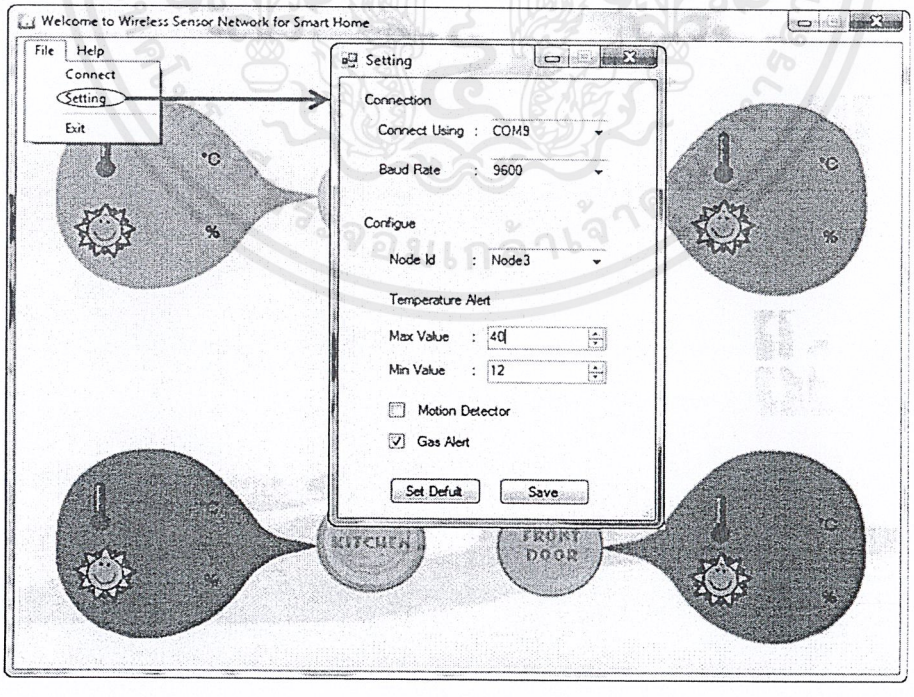
Node 4 ต่ออยู่ในบริเวณประตูหน้าบ้าน (FRONT DOOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 หน้าโปรแกรมติดต่อกับ Node การทำงาน 4 Node (ก่อนการเชื่อมต่อ)

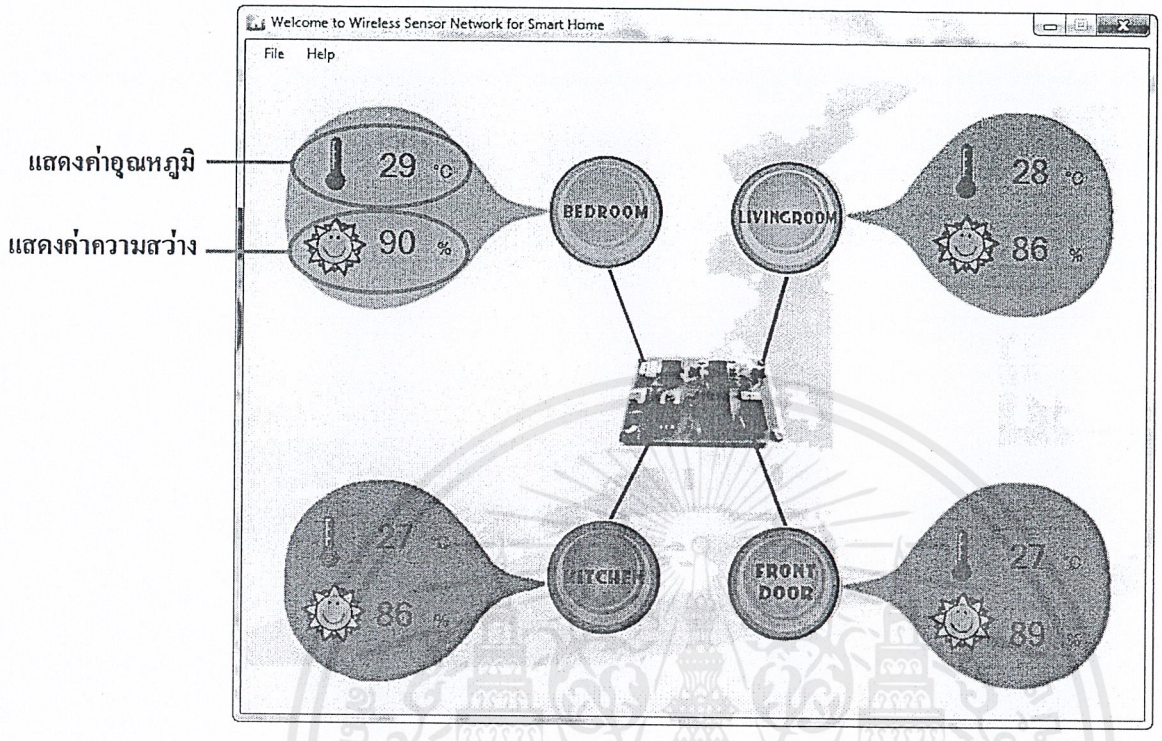
จากหน้าโปรแกรมดังรูปที่ 3.19 เราสามารถตั้งค่าต่างๆให้กับแต่ละ Node เช่น Baud Rate, ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การตั้งค่าต่างๆให้กับแต่ละ Node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.20 เมื่อทำการตั้งค่าต่างๆให้กับแต่ละ Node แล้ว ก็จะทำการเชื่อมต่อ โดยการกด File >> Connect จะได้หน้าโปรแกรมดังรูปที่ 3.21

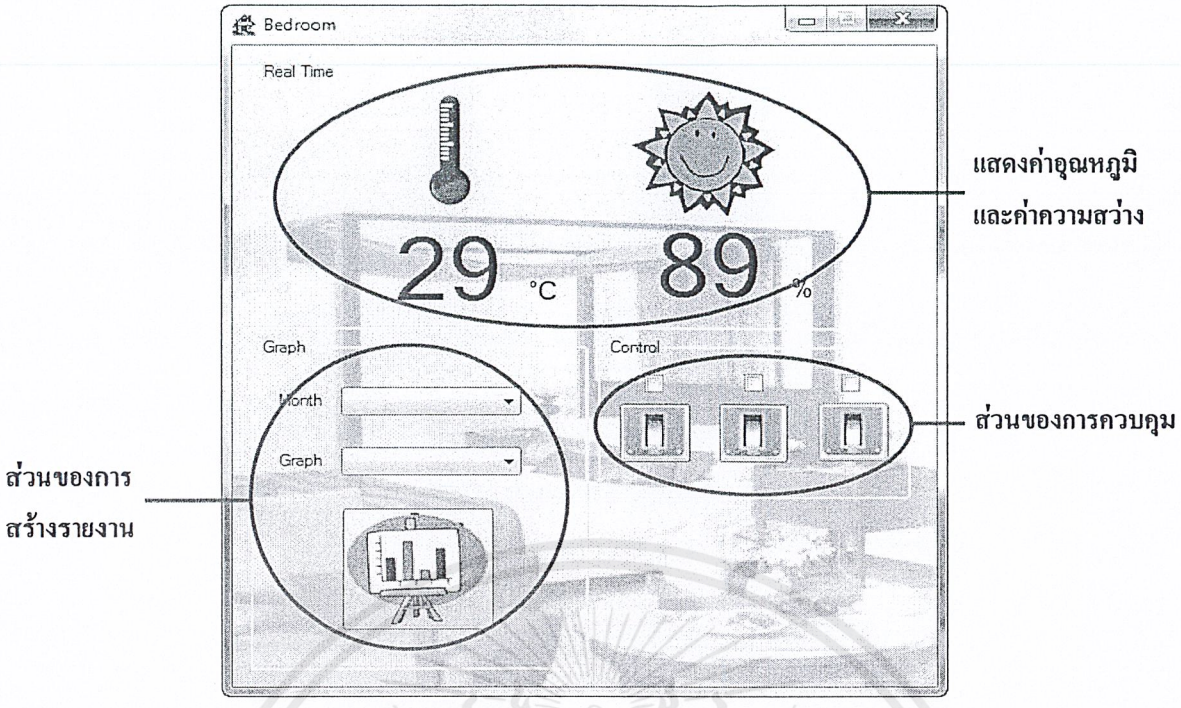


รูปที่ 3.21 หน้าโปรแกรมเมื่อทำการเชื่อมต่อ

จากหน้าโปรแกรมข้างต้นที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับ Node ทั้ง 4 Node แล้วจะเห็นว่าในแต่ละ Node ที่ได้จำลองไว้กับส่วนต่างๆของบ้านนั้นจะแสดงค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสและค่าความสว่างออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ แบบ Real time ซึ่งถ้าค่าอุณหภูมิมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในดังรูปที่ 3.20 ตัวเลขที่แสดงอุณหภูมิจะปรากฏขึ้นเป็นสีแดง

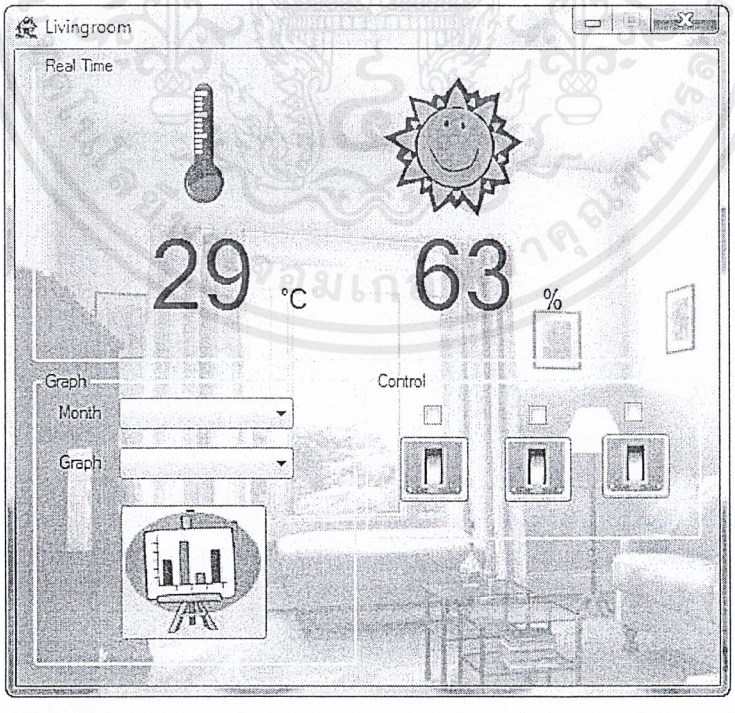
และเมื่อคลิ๊กเข้าไปในส่วนของห้องนอน (BEDROOM) จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.22 ซึ่งได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกแสดงผลแบบ Real time คือ แสดงค่าอุณหภูมิและค่าความสว่าง ส่วนที่สอง คือ ส่วนของการสร้างรายงาน (graph) และส่วนที่สามคือส่วนของการควบคุมอุปกรณ์ที่เราเอา Node ไปติดตั้ง (Control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 หน้าจอแสดงผลในส่วนของห้องนอน

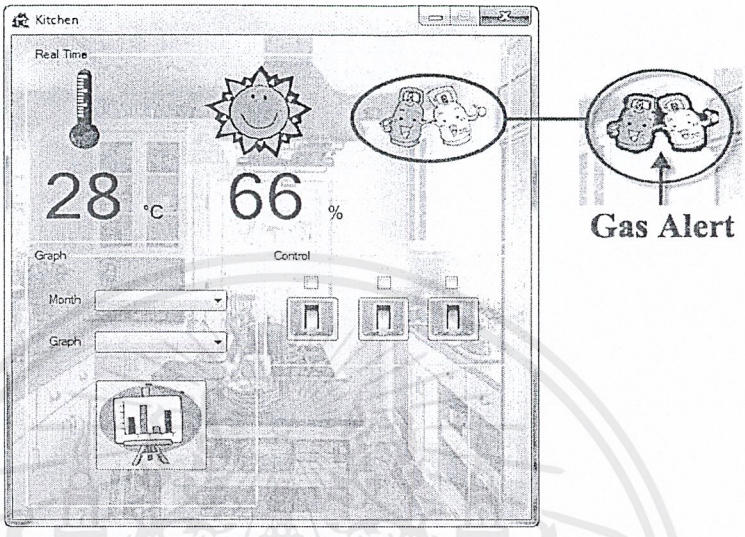
เมื่อทำการคลิ๊กเข้าไปในส่วนของห้องนั่งเล่น (LIVINGROOM) จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.23 ซึ่งมีหลักการทำงานเหมือน Node 1(BEDROOM) รูปที่ 3.22



รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงผลในส่วนของห้องนั่งเล่น

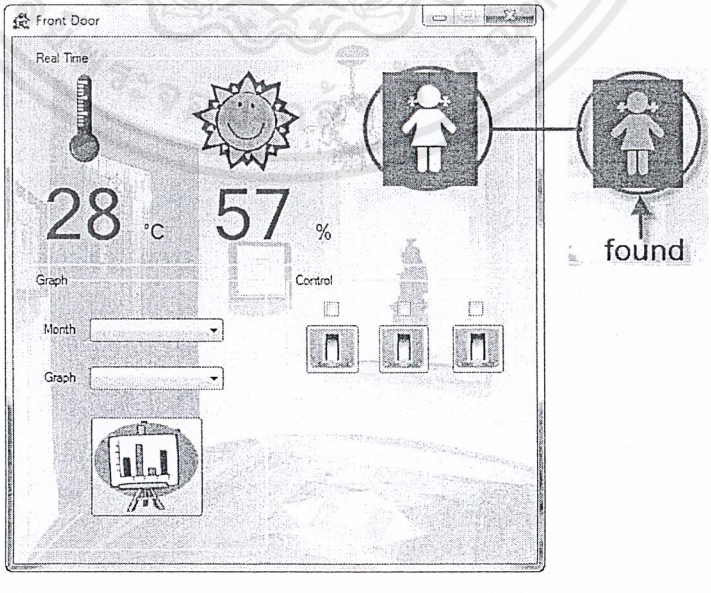
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการคลิ๊กเข้าไปในส่วนของห้องครัว (KITCHEN) จะพบว่าหลักการทำงานก็จะเหมือนกับ 2 Node ข้างต้น แต่จะเพิ่มในส่วนของ Real time คือ การแจ้งเตือนเมื่อมีแก๊สเกินปริมาณที่กำหนด (Gas Alert) โดยเมื่อถ้ามีปริมาณแก๊สเกินกำหนด แล้วบริเวณรอบๆรูปถังแก๊สจะเป็นสีแดง และจะมีเสียงร้องเตือนออกมา ดังแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 หน้าจอแสดงผลส่วนของห้องครัว

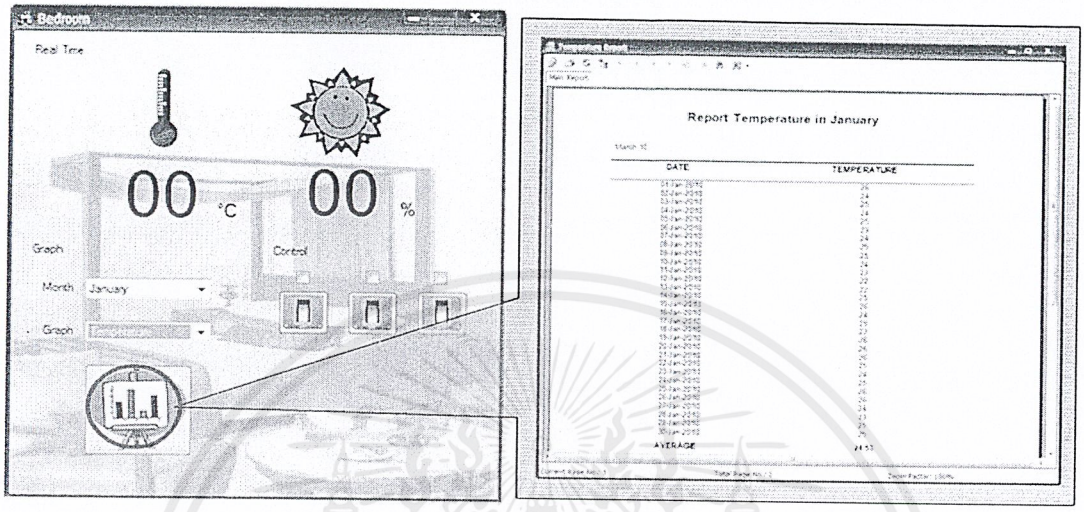
และเมื่อทำการคลิ๊กเข้าไปในส่วนบริเวณหน้าประตู (FRONT DOOR) จะพบว่า การทำงานจะเหมือนกับ 2 Node แรก แต่จะเพิ่มในส่วนของ Real time คือ การตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยถ้าพบการเคลื่อนไหว แล้วภายในตัวหุ่นจะปรากฏเป็นสีเขียว ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 หน้าจอแสดงผลบริเวณหน้าประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้าต้องการสร้างรายงานประจำแต่ละเดือนของแต่ละ Node ให้กดปุ่มที่มีรูปกราฟของ Node นั้นๆ ดังรูปที่ 3.26 จะแสดงรายงาน, ค่าเฉลี่ย (อุณหภูมิ/ความสว่าง) และกราฟ ซึ่งจากรูปส่วนที่เป็นรายงานเราสามารถกดเปลี่ยนไปยังหน้าถัดๆ ไปเพื่อดูค่าทางสถิติ จนกระทั่งสิ้นสุดถึงส่วนที่มีกราฟปรากฏ

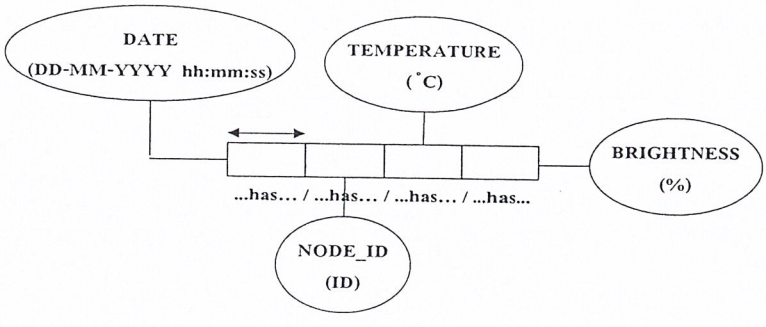


รูปที่ 3.26 หน้าแสดงผลการสร้างรายงาน

3.2.2.2 ซอฟแวร์ส่วนติดต่อฐานข้อมูล

ในส่วนซอฟแวร์ติดต่อฐานข้อมูลนั้น เริ่มแรกได้มีการออกแบบ NI-AM ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.27 เพื่อนำมาสร้างฐานข้อมูลด้วยซอฟแวร์ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการรับค่าจากเซ็นเซอร์ซึ่งส่งผลมาแสดงยังหน้าจอ โดยได้จัดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 4 ข้อมูล ได้แก่

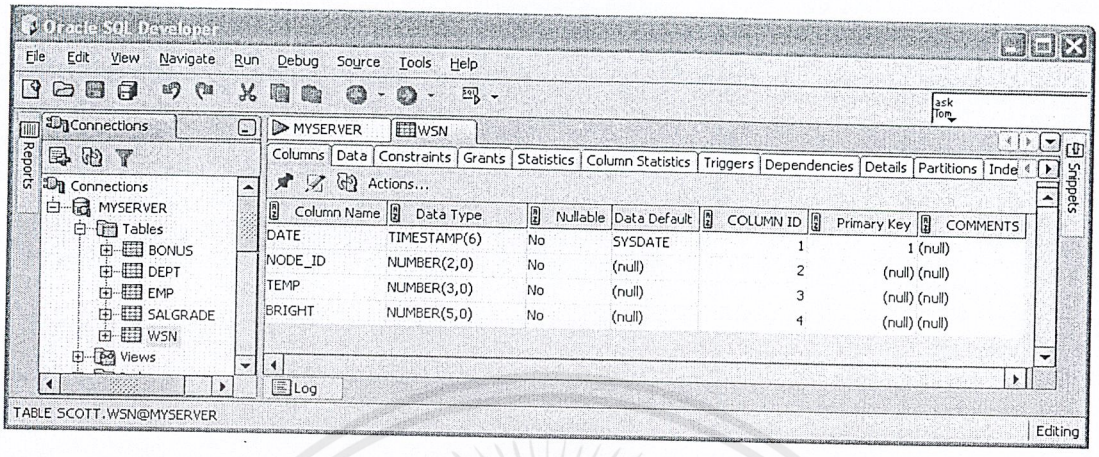
- DATE : วัน เดือน ปี และเวลา ที่ได้ทำการเก็บบันทึกค่าข้อมูลลงในฐานข้อมูล
- NODE_ID : หมายเลข NODE ที่ทำการส่งข้อมูลมาเก็บยังฐานข้อมูล
- TEMPERATURE : อุณหภูมิที่วัดได้ในเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้น
- BRIGHT : ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ในเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลนั้น



รูปที่ 3.27 การออกแบบ NI-AM เพื่อนำมาสร้างฐานข้อมูล

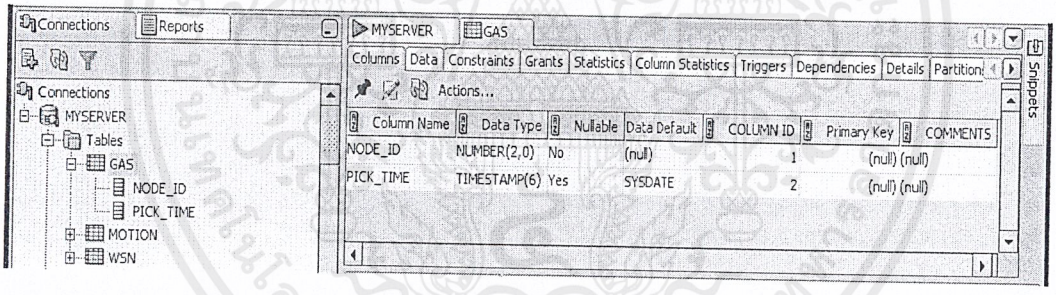
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำ NI-AM ที่ออกแบบมาสร้างฐานข้อมูลด้วย Oracle database11g ซึ่งฐานข้อมูลที่สร้าง แสดงดังรูปที่ 3.28



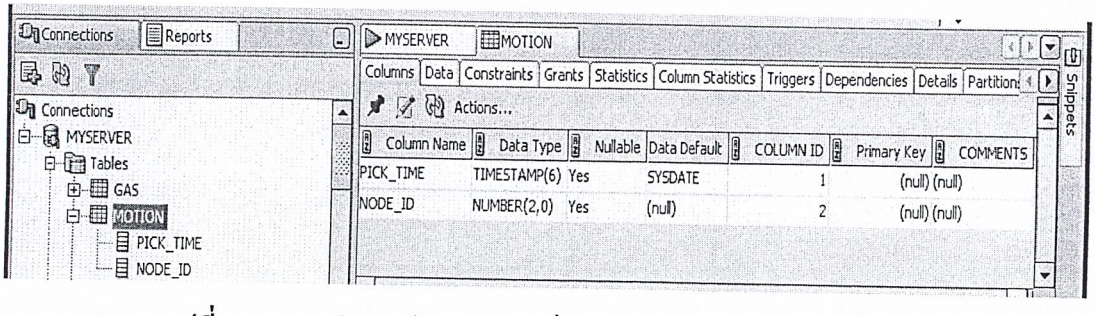
รูปที่ 3.28 การสร้างฐานข้อมูลด้วย Oracle database11g

นอกจากนี้ ได้สร้างฐานข้อมูลในการเก็บช่วงเวลาการเตือนเมื่อมีแก๊สเกินปริมาณที่กำหนด ซึ่งฐานข้อมูลแสดงได้ ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ฐานข้อมูลเก็บช่วงเวลาการเตือนเมื่อมีปริมาณแก๊สเกินกำหนด

และยังได้เพิ่มการสร้างฐานข้อมูลในการจัดเก็บช่วงเวลาเมื่อมีการตรวจพบความเคลื่อนไหว ซึ่งฐานข้อมูลแสดงได้ ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ฐานข้อมูลเก็บช่วงเวลาเมื่อมีการตรวจพบความเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองเรื่องการรับส่งข้อมูลระหว่าง Gateway กับ Node

จุดประสงค์

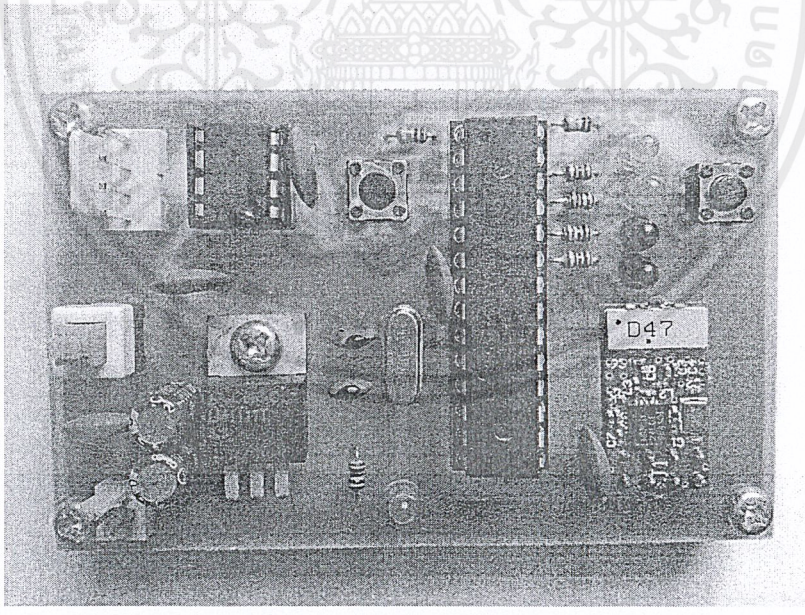
- เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม Power Adaptive ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น
- เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อระดับพลังงานในการรับส่งข้อมูลในพื้นที่ปิด

สมมติฐาน

ระดับพลังงานในการส่งจะแปรผันตรงกับระยะทางในการรับส่ง ซึ่งจะทำให้อัลกอริทึม Power Adaptive นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางในการรับส่ง

อุปกรณ์

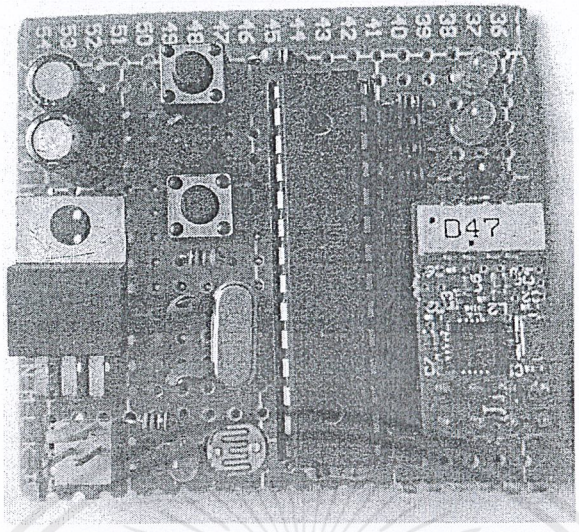
- บอร์ด Gateway



รูปที่ 4.1 บอร์ด Gateway

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

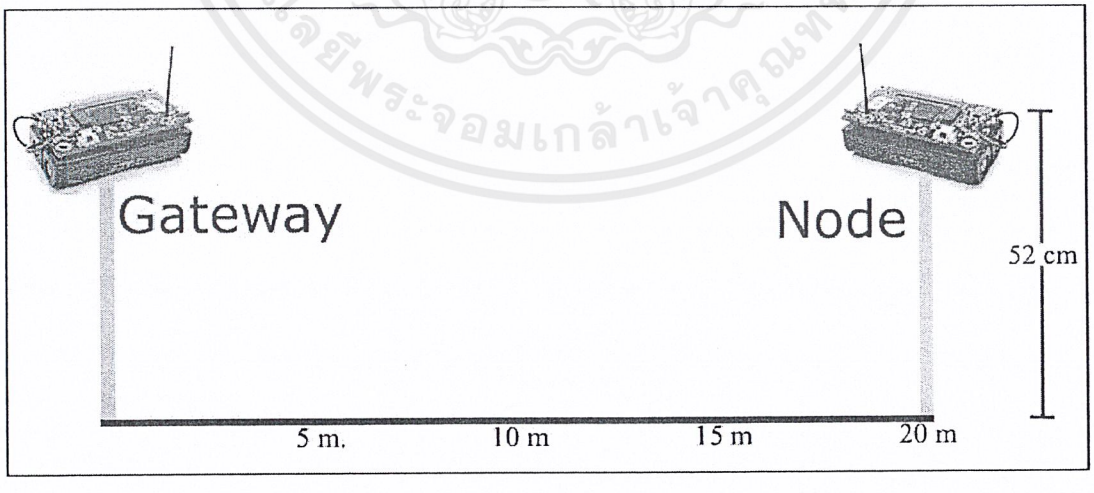
- บอร์ดเซ็นเซอร์โหนด



รูปที่ 4.2 บอร์ดเซ็นเซอร์โหนด

วิธีการทดลอง

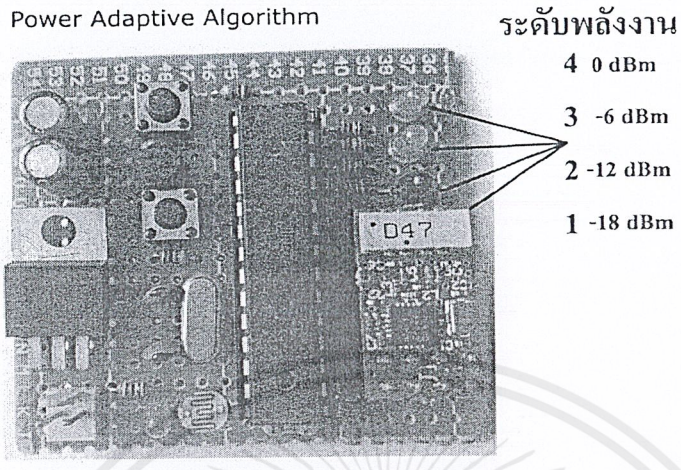
1. เตรียมสถานที่ทำการทดลองเป็นห้องปิดสี่ด้านโดยห้องมีความกว้าง 2.83 เมตร ยาว 35.33 เมตร สูง 2.98 เมตร ตัว Gateway และเซ็นเซอร์โหนดสูงจากพื้น 52 เซนติเมตร และกำหนดระยะทางการทดลองไว้ที่ 20 เมตร และกำหนดระยะบันทึกผลการทดลองทุก 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 ภาพจำลองแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

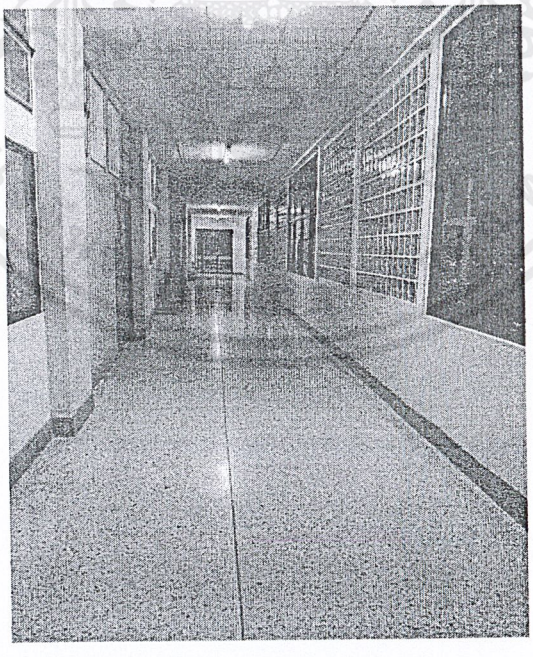
2. ที่ระยะบันทึกผลทำการเปิดตัวเซ็นเซอร์โหนด ตัวเซ็นเซอร์โหนดทำการเริ่มใช้อัลกอรึทึม Power Adaptive แล้วทำการบันทึกผลระดับพลังงานในการส่ง



รูปที่ 4.4 ระดับพลังงานที่แสดงผ่าน LED

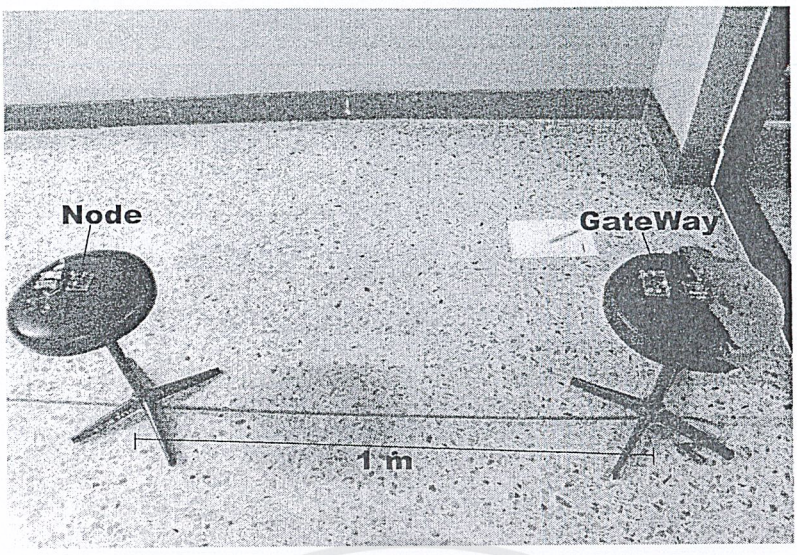
3. ทำการทดลองซ้ำทุกระยะ 50 เซนติเมตร เป็นจำนวน 10 รอบ

สภาพแวดล้อมต่างๆ



รูปที่ 4.5 สถานที่ในการทดลอง

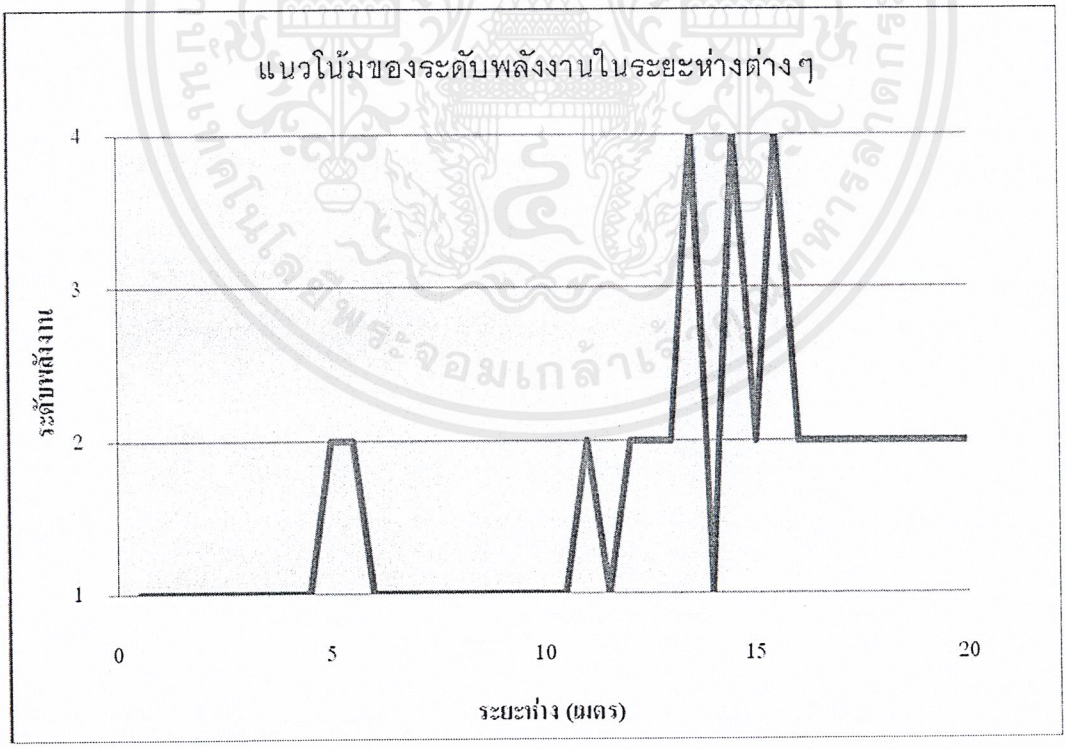
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การทดลองวัดระดับพลังงานในระยะห่างต่างๆ

ผลการทดลอง

จากการทดลองนี้มีตัวแปรที่จะต้องควบคุมได้แก่ จำนวนคนในพื้นที่ทำการทดลอง และระยะทาง ซึ่งระดับพลังงานในการส่งจะแปรผันตามระยะทาง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแนวโน้มของระดับพลังงานในระยะห่างต่างๆ ใน 20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สิ่งที่มีผลกระทบต่อการทดลองคือ สภาพห้องปิด และสิ่งแวดล้อมบางอย่างที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนและจุดอับของสัญญาณ ทำให้กำลังส่งนั้นเปลี่ยนไปมากกว่าระยะที่เป็นจริง สังเกตได้ที่ระยะ 5 เมตร ระดับพลังงานถูกยกให้ไปใช้ในระดับที่ 2 ซึ่งเมื่อมาพิจารณาถึงระยะทางจากกำลังส่งที่แท้จริงแล้ว น่าจะใช้ระดับพลังงานแค่ในระดับที่ 1 เท่านั้น

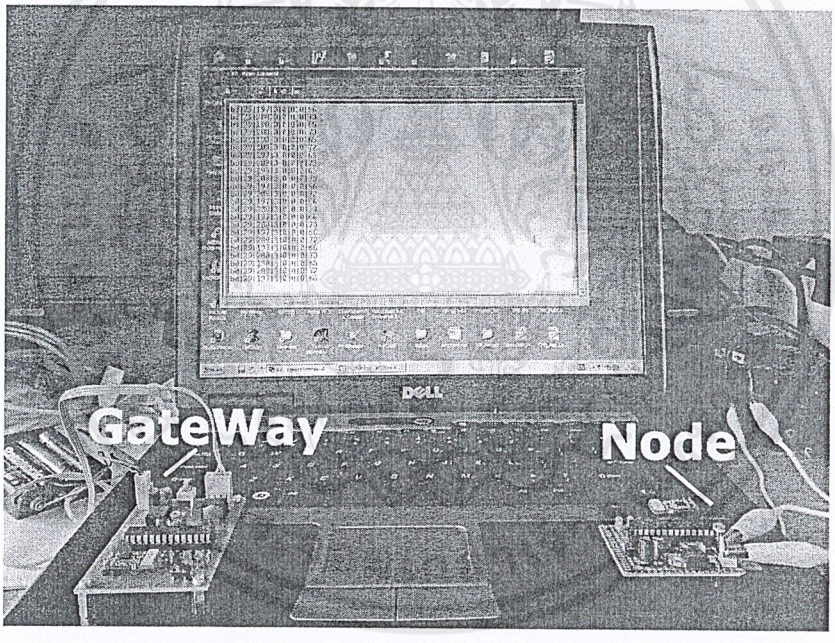
4.2 การทดลองการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์

จุดประสงค์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาในรูปแบบของแพคเกจ

วิธีการทดลอง

1. ทำการจัดอุปกรณ์การทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ไม่กำหนดระยะทางระหว่าง Gateway กับเซ็นเซอร์โหนด



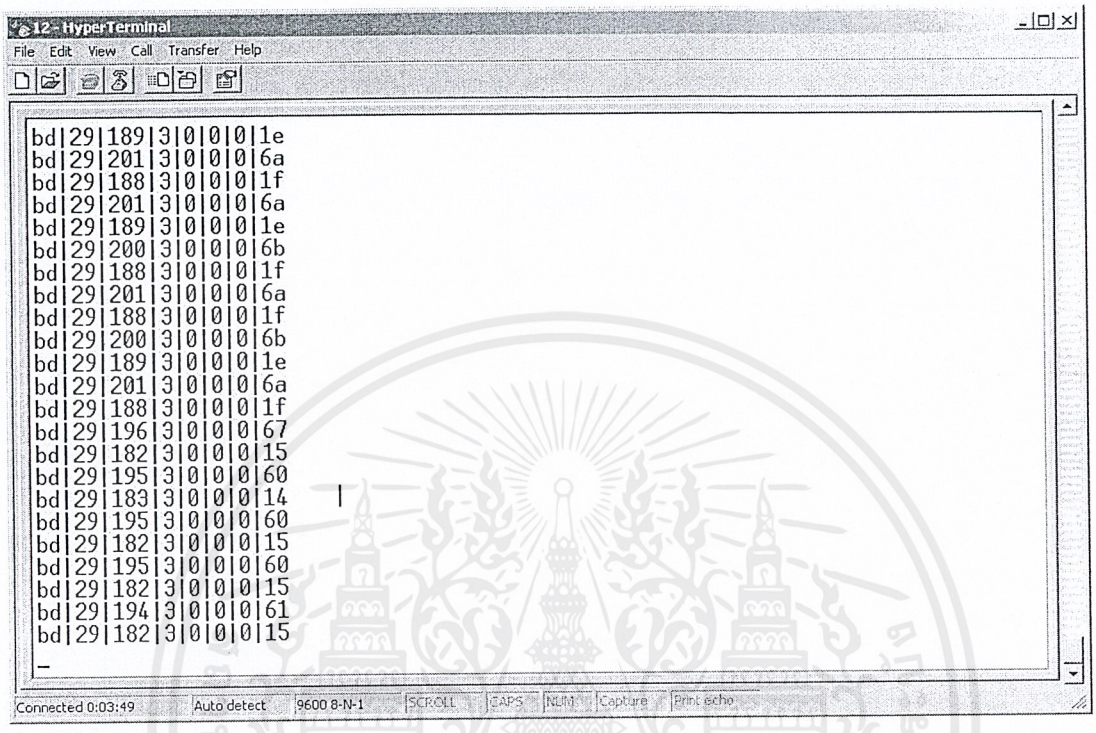
รูปที่ 4.8 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

2. ทำการแสดงค่าข้อมูลที่ได้รับผ่านทาง Hyper Terminal เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ชุดข้อมูลที่ได้ตรงตามรูปแบบของแพคเกจตามที่ออกแบบไว้ซึ่งจะมีการนำไปผูกกับแอปพลิเคชั่นต่อไป



รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงข้อมูลผ่าน Hyper Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

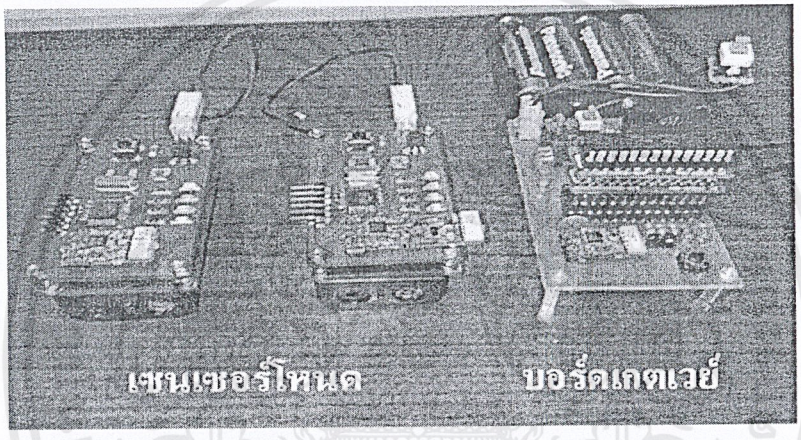
4.3 การทดลองการประเมินการใช้กระแสของระบบ

จุดประสงค์

- เพื่อเป็นการทดสอบการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนดที่ทำการพัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นการประเมินระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่ได้
- เพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องในการออกแบบวงจรใช้พลังงานต่ำ
- เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยทางซอฟต์แวร์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนด

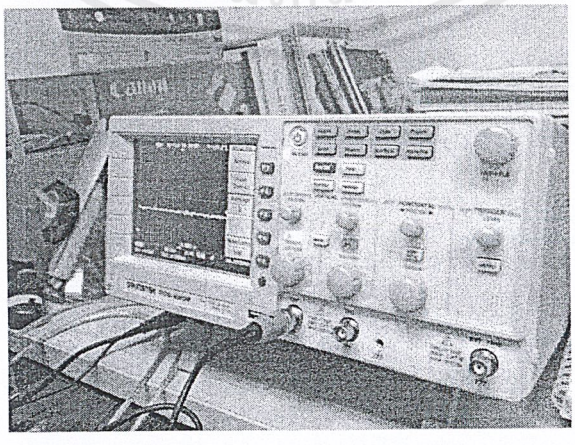
อุปกรณ์

- Gateway และเซ็นเซอร์โหนดที่ทำการพัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ออสซิลโลสโคป

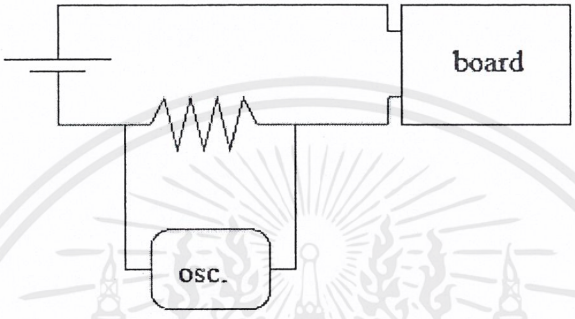


รูปที่ 4.11 ออสซิลโลสโคปที่ใช้ทำการทดลอง

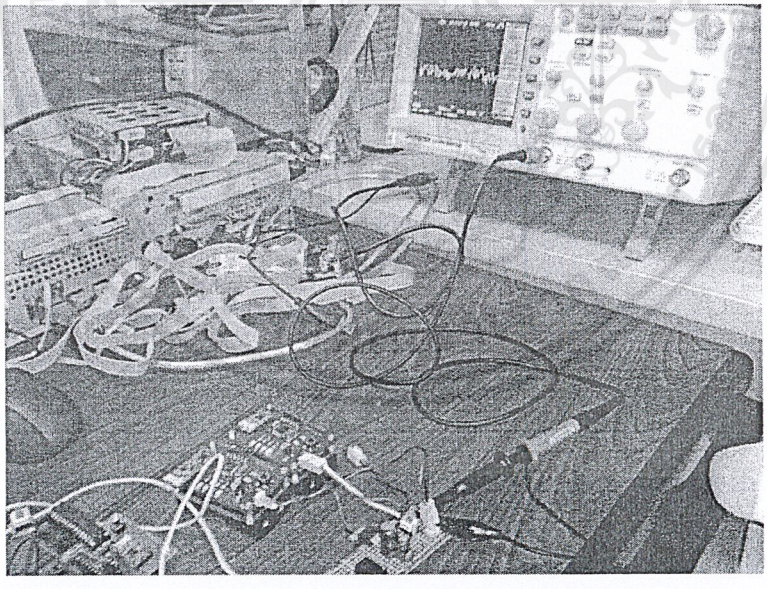
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ทำการกำหนดโปรแกรมในการส่งในรูปแบบของคาบเวลาเพื่อสะดวกในการอ่านค่าในสถานะต่างๆ
2. ทำการต่อวงจรดังรูป โดยเราจะใช้เทคนิคการวัดกระแสโดยใช้กฎของโอห์ม เพื่อดูความต่างศักย์จาก ออสซิลโลสโคป และหากระแสจากความสัมพันธ์จากสูตร V=IR
3. ทำการปรับเปลี่ยนกำลังส่งและรุ่นของโมดูลที่ใช้งานและทำการทดลองซ้ำ



รูปที่ 4.12 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.13 การจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

- ค่าที่ได้จากการคำนวณการใช้พลังงานสูงสุด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดการใช้กระแสของอุปกรณ์บนเซ็นเซอร์โหนด

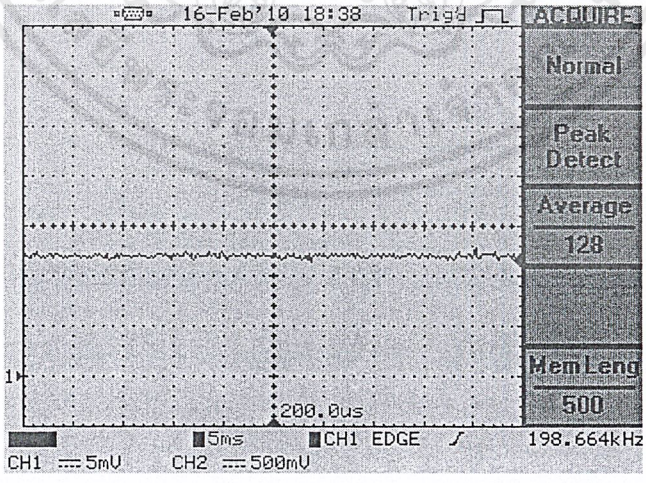
อุปกรณ์	กระแสที่ใช้
1. MCU 8 MHz	500uA
2. NRF24L01 Module (max Current in RXmode)*	11.5mA
3. DS18B20 *	1.5mA
3. Passive Peripheral	200uA
รวม	**13.7mA**

จากค่าของแบตเตอรี่แบบอัลคาไลน์ มีพลังงานสูงสุด 3000 mAh จะได้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในการทำงานบนวงจรเซนเซอร์โหนด คือ 3000 mAh /13.7 mA = 218.97 h(ชั่วโมง)

- ค่าที่ได้จากการทดลอง

  กำหนดให้ ค่า R=0.9 โอห์ม

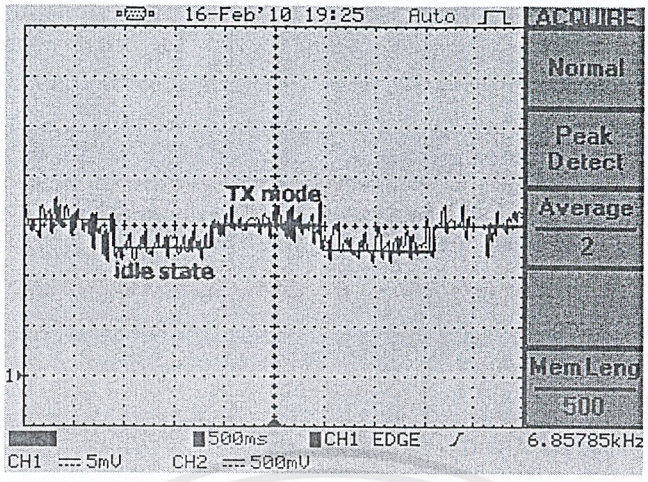
  - สถานะทำงานแบบ idle state ของเซ็นเซอร์โหนด



รูปที่ 4.14 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซ็นเซอร์โหนดในสถานะแบบ idle state

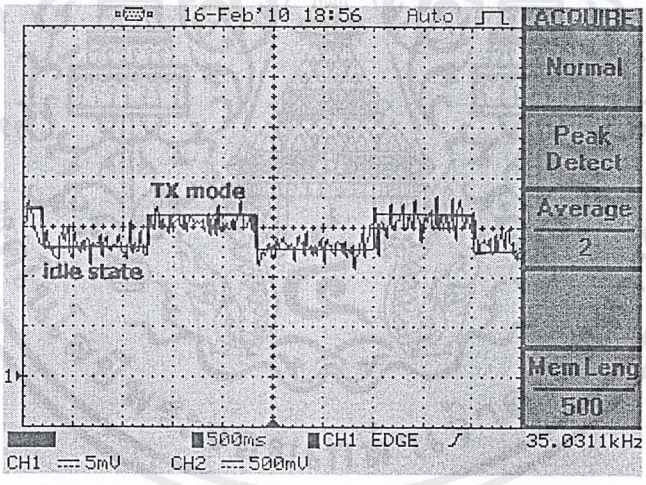
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถานะทำงานแบบ TX mode ของเซ็นเซอร์โหนด ด้วยกำลังส่ง -18 dBm



รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซ็นเซอร์โหนดในสถานะแบบ TX mode ที่กำลังส่ง –18 dBm

- สถานะทำงานแบบ TX mode ของเซ็นเซอร์โหนด ด้วยกำลังส่ง 0 dBm



รูปที่ 4.16 ภาพแสดงการใช้กระแสของเซ็นเซอร์โหนดในสถานะแบบ TX mode ที่กำลังส่ง 0 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **คำนวณจากผลการทดลอง**
  - จากรูปที่ 4.14 จะคำนวณหาระยะเวลาของแบตเตอรี่ได้ดังนี้
    3000 mAh/(0.9*12)mA = 277.77 h (ชั่วโมง)
  - จากรูปที่ 4.15 จะคำนวณหาระยะเวลาของแบตเตอรี่ได้ดังนี้
    3000 mAh/(0.9*14)mA = 238.77 h (ชั่วโมง)
  - จากรูปที่ 4.16 จะคำนวณหาระยะเวลาของแบตเตอรี่ได้ดังนี้
    3000 mAh/(0.9*15)mA = 222.22 h (ชั่วโมง)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเราสามารถที่จะใช้การทดลองนี้ในการประเมินหาปริมาณการใช้พลังงานของระบบได้โดยเปรียบเทียบจากการคำนวณทางทฤษฎี แต่เวลาที่ได้นี้ยังไม่ได้รวมถึงสภาพความเสื่อมตามเวลาของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีเครือข่ายรับรู้ไร้สาย โดยนำทฤษฎีมาปฏิบัติจนสามารถพัฒนาฮาร์ดแวร์ออกมาได้ โดยฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้มีความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิ ค่าความสว่าง ปริมาณแก๊ส และการตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ ต่อมาได้ทดลองนำฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า พบว่าฮาร์ดแวร์ดังกล่าวสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้จริงซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อีกทั้งยังได้มีการเก็บค่าทางสถิติเพื่อการพัฒนาในด้านการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัยต่อไปในอนาคต

และในการพัฒนาฮาร์ดแวร์ขึ้นมานี้ได้มีการทำการทดลองในเรื่องของระยะทางในการรับ-ส่งสัญญาณระหว่าง Node กับ Gateway ในพื้นที่ปิด พบว่าระดับพลังงานในการส่งข้อมูลนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะทางเพียงอย่างเดียว สิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนหรือดูดกลืนคลื่นก็มีผลเช่นเดียวกัน ฉะนั้นระดับพลังงาน ณ ตำแหน่งต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมจริงในเวลานั้น ซึ่งอัลกอริทึม Power Adaptive ที่ได้ทำการออกแบบนั้นช่วยให้การจัดการระดับพลังงานในการส่งมีประสิทธิภาพอย่างสูงสุด

และการทดลองในเรื่องการประเมินการใช้กระแสของระบบ พบว่าสามารถประมาณกระแสที่เซ็นเซอร์โหนดใช้ได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ การใช้กระแสในระดับพลังงานต่างๆ ต่างกันในระดับไมโครแอมป์แปร์ ซึ่งสเกลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความละเอียดไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการใช้กระแสในระดับพลังงานต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาวิเคราะห์ถึงรูปแบบการพัฒนาซอฟแวร์บนเซ็นเซอร์โหนด และถ้ากำหนดให้มีสถานะ Idle state เป็นเวลานาน จะทำให้การใช้กระแสลดต่ำลง แต่สิ่งที่ขาดไปคือการตอบสนองต่อการใช้งานที่รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

ส่วนฮาร์ดแวร์

- ตัวโมดูลของตัวส่งสัญญาณ เกิดความเสียหายได้ง่ายทำให้เกิดความสิ้นเปลือง
- ตัวโมดูลของตัวส่งสัญญาณ มีขีดจำกัดในการทำงานทำให้ต้องนำมาประยุกต์โดยใช้เทคนิคจำนวนมาก
- เมื่อทำการต่อเซ็นเซอร์โหนดพร้อมกันทุกตัวจะพบว่ามีการรบกวนซึ่งกันและกันในการส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์
- ขาดตัวตัดแหล่งจ่ายไฟให้กับเซ็นเซอร์ ทำให้เกิดการใช้พลังงานอยู่ตลอดเวลา ทำให้สถานะของ idle state ของระบบกินพลังงานมากกว่าที่ควรจะเป็น

ส่วนซอฟต์แวร์

- รูปแบบการแสดงผลข้อมูลยังไม่มีรายละเอียดพอ

5.3 สิ่งที่จะนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต

ส่วนฮาร์ดแวร์

- เพิ่มส่วนการทำงานที่เป็นแบบ topology ให้หลากหลายขึ้น เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้

ส่วนซอฟต์แวร์

- เพิ่มส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ
- สามารถรองรับการเพิ่มของอุปกรณ์ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] http://www.thaitelecomkm.org

[2] http://www.atmel.com/dyn/products/datasheets.asp?family_id=607

[3] http://www.nordicsemi.no

[4] Edgar H. Callaway, Jr., Wireless Sensor Networks Architectures and Protocols, AUERBACH PUBLICATIONS, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

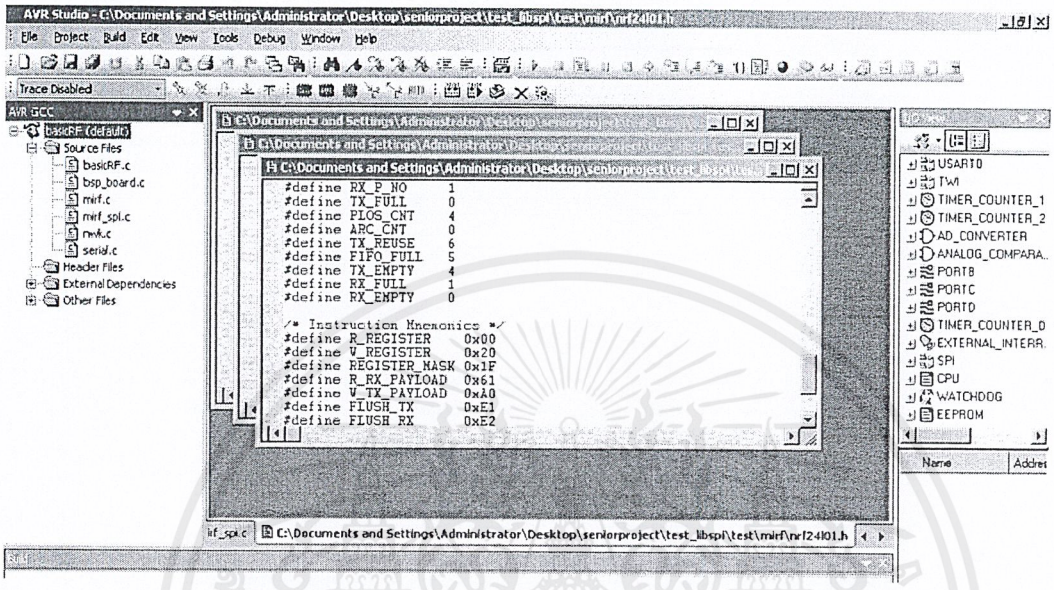
ภาคผนวก ก.

วิธีการพัฒนาระบบชั้น Network Layer บนระบบที่ทำการพัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

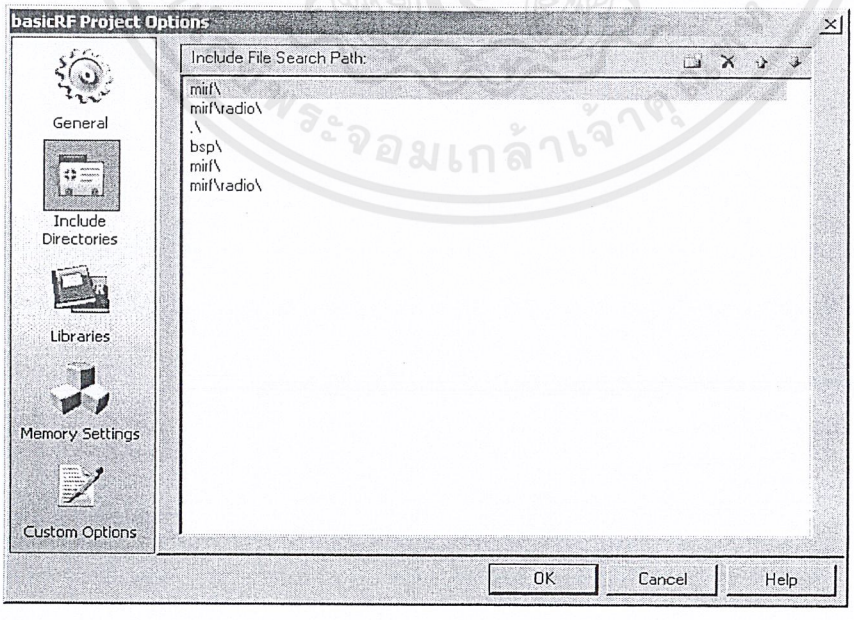
วิธีการพัฒนาระบบชั้น Network Layer บนระบบที่ทำการพัฒนาขึ้น

ใช้ Software AVR Studio + WinAVR ในการพัฒนา สามารถดาวน์โหลดได้จากทางเว็บของบริษัท Atmel ทำการคัดลอกไฟล์ทั้งหมดไปไว้ในพื้นที่ที่ต้องการ จากนั้นทำการเปิดไฟล์โปรเจค จะพบหน้าโปรแกรมดังรูป



รูปที่ ก.1 หน้าต่างโปรแกรม WINAVR Studio

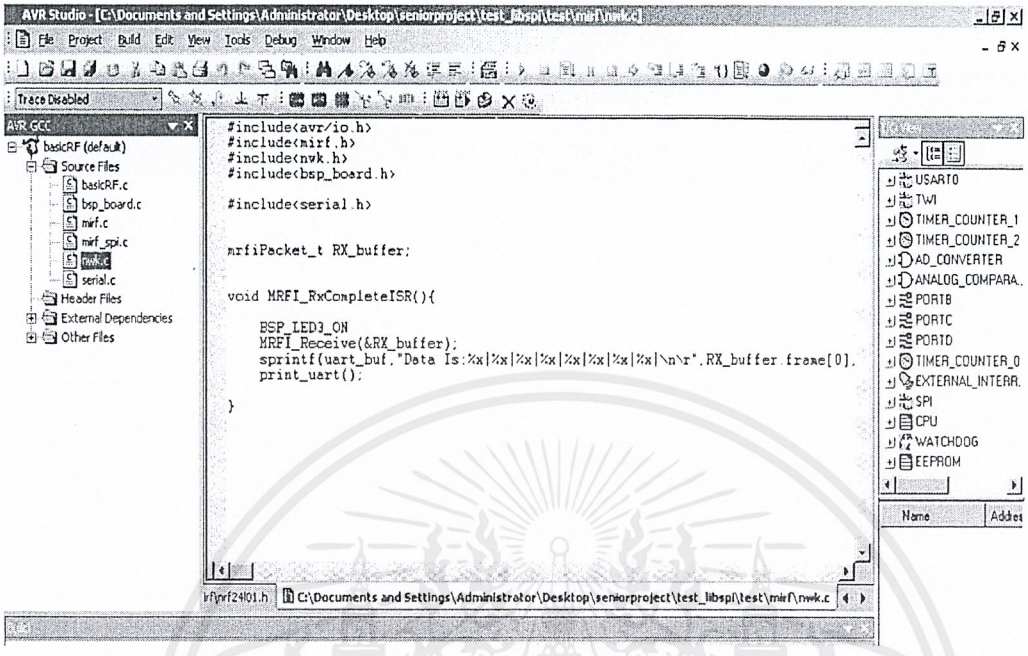
- จากนั้นทำการกำหนดไดเรกทอรี่ในการทำงานให้ครบตามภาพ



รูปที่ ก.2 หน้าต่างการปรับเปลี่ยนไดเรกทอรี่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากนั้นสามารถพัฒนาการสื่อสารเพิ่มเติมได้ในส่วนของฟังก์ชัน MRFI_RxCompleteISR() ซึ่งอยู่ในไฟล์ nwk.c



รูปที่ ก.3 หน้าต่างส่วนของการแก้ไขโปรแกรมในชั้น Network Layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

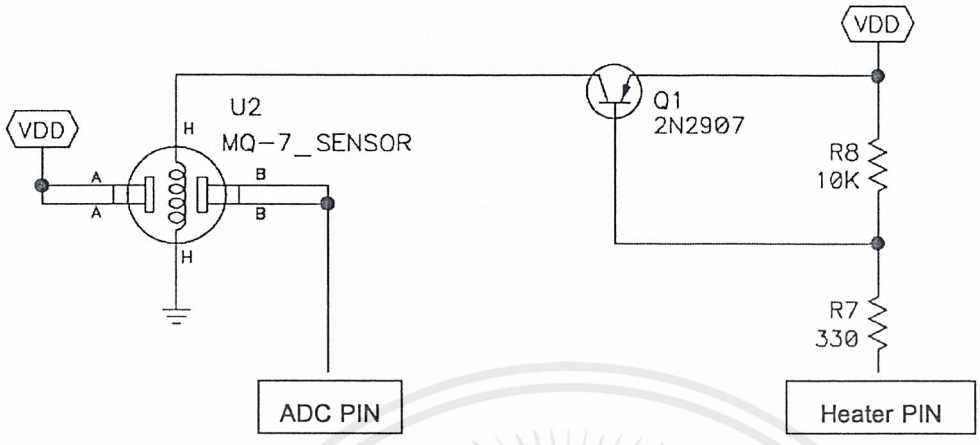
ภาคผนวก ข.

การพัฒนาเซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG รุ่น MQ-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเซนเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG รุ่น MQ-5

ใช้วงจรในการขับเคลื่อนเซนเซอร์ดังนี้



รูปที่ ข.1 วงจรการขับเคลื่อนเซนเซอร์ MQ-5

หลักการทำงานของเซนเซอร์รุ่นนี้ มีความไวต่อแก๊สต่างกันตามสถานะความต้านทานต่างๆ เพื่อเป็นการปรับค่าสถานะของเซนเซอร์ให้มีความไวกับแก๊สLPG จึงต้องมีการปรับการทำงานของ Heater ต่อเวลาซึ่งพิจารณาจากกราฟแสดงข้อมูลจำเพาะของเซนเซอร์ดังนี้

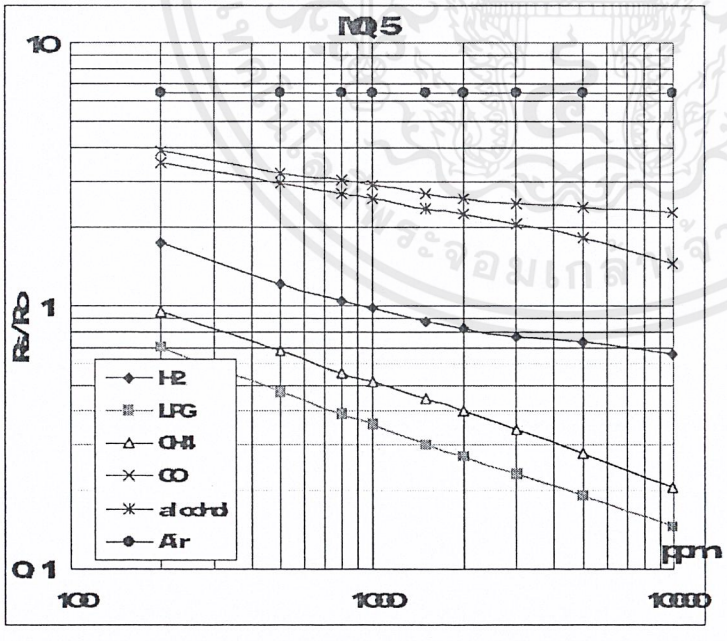


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-5 for several gases.
in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O_2 concentration 21%
RL=20kΩ
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in the clean air.
Rs:sensor resistance at various concentrations of gases.

รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณแก๊สต่อความต้านทานของเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

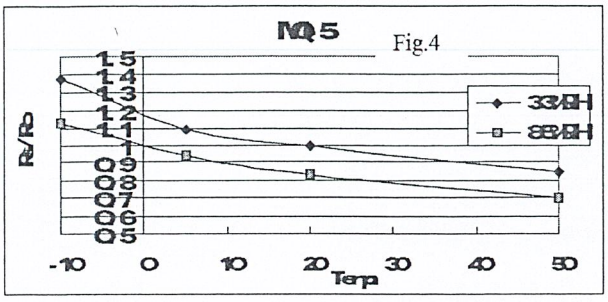


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-5 on temperature and humidity.
Ro: sensor resistance at 1000ppm of H_2 in air at 33%RH and 20 degree.
Rs: sensor resistance at different temperatures and humidities.

รูปที่ ข.3 กราฟแสดงระดับของอุณหภูมิมีผลต่อระดับความต้านทานของเซนเซอร์

จากข้อมูลต่างๆทำให้สามารถกำหนดการทำงานของเซนเซอร์ออกเป็นสองช่วงการทำงานคือ ช่วงทำงานแรกจะจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ เป็นเวลา 1 นาที ในช่วงนี้เป็นการเริ่มต้นระบบของเซนเซอร์ใหม่ ซึ่งจะไม่มีการรับค่าจากเซนเซอร์ หลังจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการทำงานที่สอง จะจ่ายไฟ 1.4 โวลต์ เป็นเวลา 1นาที 30 วินาที ซึ่งในช่วงนี้จะมีการอ่านค่าจากเซนเซอร์ วิธีการที่จะปรับการจ่ายไฟจาก 5 โวลต์ลงเป็น 1.4 โวลต์ จะให้เทคนิค PWM ซึ่งจะทำให้สามารถลดความต่างศักย์ลงได้ ตัวอย่างโปรแกรมมีดังนี้

```
#define Pin PORTC
#define HtPin 1
#define HeaterPin_On Pin&=~(1<<HtPin)
#define HeaterPin_Off Pin|=(1<<HtPin)
Void ReadGas(){
        HeaterPin_On;
        For(i=0;i<59;i++)
        Delay_ms(1000);
        For(i=0;i<1710;i++){
        HeaterPin_On;
        Delay_ms(15);
        HeaterPin_Off;
        Delay_ms(3);
        If(ReadADC()>theshole){
                Alert();
                }
        }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้