

อุปกรณ์ควบคุมระดับความชื้นอัตโนมัติแบบไร้สาย

WIRELESS AUTOMATIC HUMIDITY CONTROL EQUIPMENT



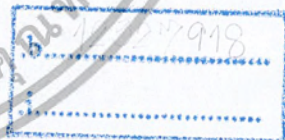
T117533



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 117533

วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

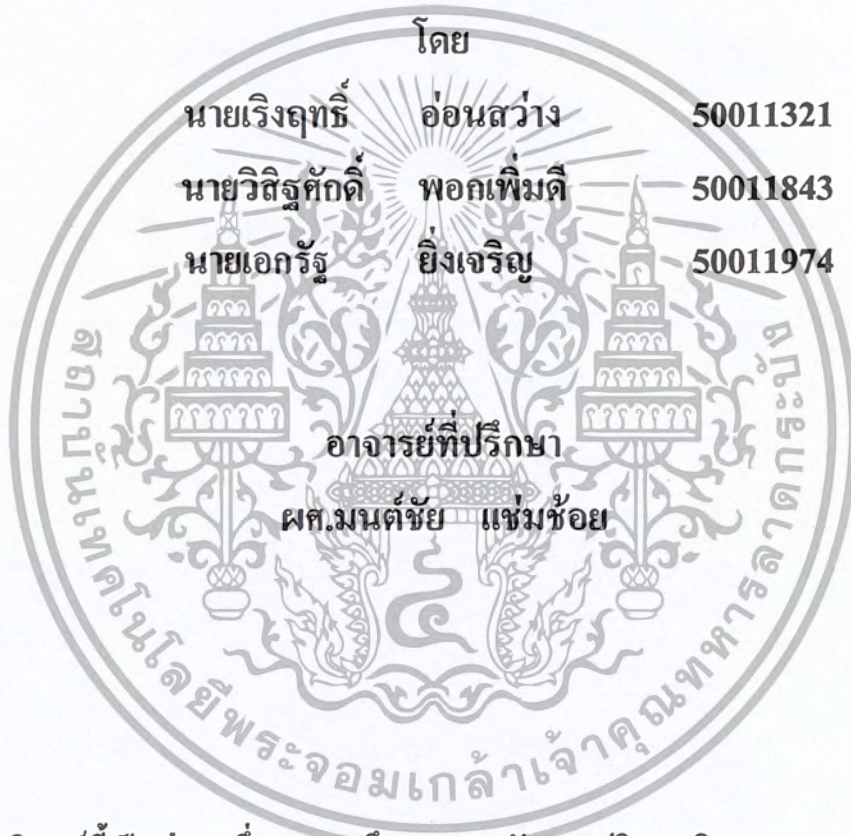
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมระดับความชื้นอัตโนมัติแบบไร้สาย
WIRELESS AUTOMATIC HUMIDITY CONTROL EQUIPMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ควบคุมความระดับความชื้นอัตโนมัติแบบไร้สาย

WIRELESS AUTOMATIC HUMIDITY CONTROL EQUIPMENT

ผู้จัดทำ

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1. นายเรงฤทธิ์ อ่อนสว่าง | รหัสนักศึกษา 50011321 |
| 2. นายวิสิฐศักดิ์ พอกเพิ่มดี | รหัสนักศึกษา 50011843 |
| 3. นายเอกรัฐ ยิ่งเจริญ | รหัสนักศึกษา 50011974 |

(ผศ.มนต์ชัย แซ่ม้อย)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากขาดความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ มากมาย ต้องขอขอบคุณ ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้าย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือชี้แนะแนวทางในการทำงานมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่คอยให้คำแนะนำเทคนิคและวิธีการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดทั้งคำปรึกษาและข้อคิดที่ดีในการทำงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายต้องขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความห่วงใย กำลังใจที่ดีรวมถึงทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้จัดทำ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นสถานที่ศึกษา และอบรมสั่งสอนตลอดสี่ปีที่ผ่านมา

นายเรณูฤทธิ์ อ่อนสว่าง
นายวิสิฐศักดิ์ พอกเพิ่มดี
นายเอกรัฐ ยิ่งเจริญ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ควบคุมระดับความชื้นอัตโนมัติแบบไร้สาย

WIRELESS AUTOMATIC HUMIDITY CONTROL EQUIPMENT

โดย นายเริงฤทธิ์ อ่อนสว่าง 50011321

นายวิสิฐศักดิ์ พอกเพิมดี 50011843

นายเอกรัฐ ยิ่งเจริญ 50011974

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย

และ ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีเซ็นเซอร์วัดความชื้นเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเกษตรกรรมทางกลุ่มผู้จัดทำโครงการจึงคิดที่จะประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นนี้มาทำอุปกรณ์ควบคุมความชื้นอัตโนมัติโดยบอร์ดภาคส่งจะมีเซ็นเซอร์ SHT15 ทำการวัดความชื้นและประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และบอร์ดภาครับจะประมวลผลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้อุปกรณ์ ZigBee เป็นตัวรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยถ้าหากความชื้นตรงกับเงื่อนไขที่เราตั้งค่าไว้จะทำให้โซลินอยด์วาล์วสามารถสั่งงานให้สปริงเกอร์จ่ายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

Humidity sensor technology is receiving particular attention, especially, in agriculture. The group has organized a project idea to apply this to a moisture sensor devices automatically control humidity. We use SHT15 sensor to moisture the humidity. The microcontroller is used to process and transfer data via ZigBee network. Finally, if the moisture meets certain conditions that we set. The solenoid valve will be controlled by The microcontroller to irrigate efficiently.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	2
2.1.1 ความหมายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks)	2
2.1.2 อุปกรณ์พื้นฐานของ WSN	2
2.1.3 วิวัฒนาการของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย	3
2.1.4 เครือข่ายเซนเซอร์ยุคปี พ.ศ. 2550	4
2.2 ZigBee	4
2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4	5
2.2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4 Physical Layer	6
2.2.1.2 IEEE 802.15.4 MAC Layer	7
2.2.2 ชนิดอุปกรณ์ของ ZigBee	8
2.2.2.1 ZigBee แบบ Physical Device	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.2 ZigBee แบบ Logical Device	9
2.2.3 เครือข่าย Protocol ZigBee	10
2.2.3.1 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network)	10
2.2.3.2 เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree)	11
2.2.3.3 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)	11
2.2.4 ขั้นตอนการทำงานของ โปรโตคอล ZigBee	11
2.2.4.1 ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee Coordinator	11
2.2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee end – device	12
2.2.5 ZigBee กับมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สายอื่นๆ	12
2.2.6 การประยุกต์การใช้งาน ZigBee	12
2.3 XBee	13
2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของ XBee และ XBee Pro	13
2.3.2 ตารางกำหนดค่าของ XBee และ XBee Pro	16
2.3.3 การทำงานของ XBee	17
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR	18
2.4.1 คุณสมบัติของบอร์ด	18
2.4.2 รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR Atmega128 และ ATmega16	20
2.4.3 ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต Microcontroller AVR	22
2.4.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	25
2.5 เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น	26
2.5.1 รายละเอียดขาต่าง ๆ	26
2.5.2 หลักการทำงานของ SHT15	26
2.5.3 Measurement sequence (T and RH)	27
2.5.4 การเปลี่ยนข้อมูลดิจิตอล	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3

2.6 จอ LCD แสดงผล	29
2.7 คีย์แป้น	30
การออกแบบและพัฒนา	32
3.1 หลักการทำงานของระบบ	32
3.1.1 Flow chart การทำงานของภาคส่ง	33
3.1.2 Flow chart การทำงานของภาครับ	34
3.2 การออกแบบวงจรภาคส่ง	35
3.2.1 วงจรป้อนไฟเลี้ยงโมดูล ZigBee	35
3.2.2 วงจรภาคส่ง	35
3.2.3 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SHT15	37
3.2.4 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 กับ โมดูล ZigBee	37
3.3 การออกแบบวงจรภาครับ	38
3.3.1 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับ LCD	40
3.3.2 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับ โมดูล ZigBee	40
3.3.3 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับ คีย์แป้น	41
3.3.4 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับ วงจรรีเลย์	41
3.4 วงจรป้อนไฟให้กับบอร์ดและอุปกรณ์ต่างๆ	42
3.5 วงจร MAX232	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4	ผลการทดลอง	43
	4.1 การทดลอง	43
	4.1.1 แผงวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	43
	4.1.2 แผงวงจรภาครับ	44
	4.1.3 ผลการทดลองแผงวงจรภาคส่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และ ความชื้นสัมพัทธ์	45
	4.1.4 การส่งข้อมูลระหว่างภาคส่งและภาครับ	47
	4.1.5 การทดลองวัดระยะการส่ง	48
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	50
	5.1 สรุปผลการทดลอง	50
	5.2 ปัญหาที่พบ	50
	5.3 แนวทางการแก้ไข้ปัญหาและพัฒนา	50
บรรณานุกรม		51
ภาคผนวก		52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โปรโตคอลของ ZigBee	6
2.2	ชนิดของเครือข่าย ZigBee	10
2.3	การทำงานของ โมดูล XBee	17
2.4	บล็อกไดอะแกรม AVR Atmega128	20
2.5	บล็อกไดอะแกรม AVR Atmega16	21
2.6	ขาพอร์ตของ ATmega128	22
2.7	ขาพอร์ตของ ATmega16	24
2.8	ขาต่างๆ ของ SHT15	26
2.9	การอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์	26
2.10	พัลส์ของสัญญาณการอ่านค่าความชื้นและอุณหภูมิจาก SHT15	27
2.11	จอ LCD ชนิด 16x2	29
2.12	คีย์แป้นชนิด 4x3	31
3.1	บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ	32
3.2	Flowchart ของภาคส่ง	33
3.3	Flowchart ของภาครับ	34
3.4	วงจรป้อนไฟเลี้ยง โมดูล ZigBee	35
3.5	วงจรรวมของภาคส่ง	35
3.6	แผงวงจรภาคส่ง	36
3.7	วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SHT15	37
3.8	วงจรภาครับ	38
3.9	แผงวงจรภาครับ	40
3.10	วงจรเรกูเลเตอร์ LM2575	42
3.11	วงจร MAX232	42
4.1	แผงวงจรแสดงวงจรภาคส่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น	43
4.2	รูปสัญญาณภาคส่งเมื่อวัดสัญญาณจากขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	แพลงจอร์แสดงวงจรภาครับ	44
4.4	รูปสัญญาณภาครับเมื่อวัดสัญญาณจากขา Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์	45
4.5	การแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านหน้าจอ LCD ของภาครับ	46
4.6	รูปสัญญาณในการส่งข้อมูล ระหว่างภาคส่งและภาครับ	46
4.7	การเซตค่าให้พัลสมหรือโซลินอยด์ว่าทำงาน	47
4.8	พัลสมจะทำงานเมื่อถึงความชื้นที่กำหนดไว้	47
4.9	โซลินอยด์ว่าทำงานเมื่อถึงความชื้นที่กำหนดไว้	48

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	IEEE 802.15.4 Frequency bands and data transfer rates	7
2.2	ZigBee แบบ Physical Device	9
2.3	ZigBee แบบ Logical Device	9
2.4	การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สาย	12
2.5	คุณสมบัติทั่วไปของ XBee และ XBee pro	15
2.6	ตารางกำหนดค่าของ XBee และ XBee-pro	16
2.7	การหาค่า Temperature	28
2.8	ค่าคงที่ของการหาค่า Humidity	29
2.9	ตำแหน่งของขาและหน้าที่การใช้งานของ LCD โมดูล	30
2.10	คำอธิบายของคีย์แปด	31
4.1	ผลการทดลองวัดระยะทางกับการส่งข้อมูลในที่ร่ม (XBee)	49
4.2	ผลการทดลองวัดระยะทางกับการส่งข้อมูลในที่ร่ม (XBee-pro)	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทมากในทุก ๆ อย่าง ไม่เว้นแต่การเกษตรเอง ได้นำเอาเทคโนโลยีมาใช้ เพื่อความสะดวก รวมถึงคุณภาพผลผลิตที่จะได้ เพราะเทคโนโลยีมีความเป็นมาตรฐาน ลดต้นทุนของการผลิต ซึ่งจะใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยใช้โปรโตคอล ZigBee รับส่งข้อมูล ควบคุมอุปกรณ์รักษาระดับความชื้นอัตโนมัติ เหมาะกับการผลิตที่มีจำนวนมากเพราะไม่ต้องใช้แรงงานคนในการดูแล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเซนเซอร์วัดความชื้นให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น
2. เพื่อพัฒนาเซนเซอร์วัดความชื้นมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

1. สามารถวิเคราะห์และออกแบบระบบที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ ZigBee
2. สามารถทำการเชื่อมต่อและรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ ZigBee ได้
3. สามารถควบคุมความชื้นให้ตรงตามที่กำหนดได้
4. สามารถนำมาใช้งานได้จริง

1.4 ผลลัพธ์สุดท้ายที่จะได้

1. มีความรู้ความเข้าใจในเซนเซอร์วัดความชื้น
2. เซนเซอร์วัดความชื้นที่ประยุกต์ขึ้นสามารถนำมาใช้ในทางเกษตรกรรมได้
3. สามารถควบคุมความชื้นที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย(Wireless Sensor Network: WSN)

2.1.1 ความหมายของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย(Wireless Sensor Network)

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) คือการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์เล็กๆจำนวนมากเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้น เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเราหรือตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ WSN เกิดขึ้นจากการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีสมองกลฝังตัวและการสื่อสารไร้สาย ที่ส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซนเซอร์โหนดด้วยรูปแบบเครือข่ายแบบ Ad-hoc จุดเด่นของเครือข่ายเซนเซอร์ที่อาศัยโปรโตคอลแบบ Ad-hoc คือ ไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับเครือข่ายเช่นเดียวกับเครือข่ายแบบ WLAN หรือ GSM นอกจากนี้การออกแบบเซนเซอร์โหนดให้มีขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อยทำให้สามารถติดตั้งได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์จึงได้ถูกคาดการณ์ว่าจะเป็นเทคโนโลยีหลักในการขับเคลื่อนสู่ยุคคอมพิวเตอร์ทุกแห่งหน(Ubiquitous pervasive computing) ด้วยการสร้างสภาพแวดล้อมประดิษฐ์ในรอบๆตัวของเราทุกคน

2.1.2 อุปกรณ์พื้นฐานของ WSN

WSN ประกอบด้วยเซนเซอร์ขนาดเล็กมากเรียกว่า Mote ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากบริษัท Intel และ University of California(UC) at Berkeley ตัว Mote เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กสำหรับวัดอุณหภูมิความชื้นหรือสภาวะแวดล้อมอื่นๆซึ่งทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ธรรมดาและสื่อสารกับ

Mote ตัวอื่นที่อยู่ใกล้เคียงโดยใช้ Ad - hoc เครือข่ายไร้สายซึ่งข้อมูลจะถูกส่งผ่านระหว่าง Mote ด้วยกันเองจนกระทั่งถึงจุดหมายซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆสำหรับรวบรวมข้อมูลที่วัดได้ในงานที่ Mote เอง ซึ่งมีอยู่จำกัด ด้วยเหตุนี้ผู้พัฒนา Mote จึงต้องออกแบบระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์รวมถึงระบบการสื่อสารของ Mote ให้ทำงานโดยใช้พลังงานน้อยที่สุดนอกจากนี้ในแง่ของการใช้งาน ผู้พัฒนา WSN ต้องสร้างเครื่องมือที่ทำให้ผู้ใช้ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สามารถใช้งานและประยุกต์ใช้ WSN ได้โดยง่ายด้วย

การออกแบบและใช้งาน Mote นั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานแต่ไม่ว่าเราจะนำมันไปใช้งานรูปแบบใดก็ตามมันก็ยังต้องมีข้อจำกัดในการใช้งานซึ่ง Mote จำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างประหยัดเพื่อยืดอายุการใช้งานของมันให้ยาวนานที่สุด โดยทั่วไปแล้ว Mote ควรจะมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 1 ปีต่อพลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด AA สองก้อน อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานของ Mote นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการรับ-ส่งข้อมูลในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ นั้นเอง

WSN ทำให้เกิด Computing diagram แบบใหม่เรียกว่า Proactive computing ซึ่งแทนที่คอมพิวเตอร์จะรับคำสั่งจากมนุษย์ปกติ Interactive คอมพิวเตอร์ในระบบ Proactive computing จะคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่มนุษย์ต้องการและสามารถดำเนินการล่วงหน้าแทนมนุษย์ในกรณีที่เป็น Proactive computing เกิดขึ้นได้เนื่องจาก WSN ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ข้อมูลข้อมูลโลกแห่งความจริงได้อย่างละเอียดและรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องมีมนุษย์มาป้อนข้อมูลให้ Proactive คอมพิวเตอร์ปฏิบัติการทันทีเมื่อสถานะแวดล้อม เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้โดยไม่ต้องรอคำสั่งงานคอมพิวเตอร์ เหมือนกับในระบบ Interactive

2.1.3 วิวัฒนาการของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซนเซอร์ในยุคแรก พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการสงคราม ในช่วงสงครามเย็น Sound Surveillance System (SOSUS) ใช้ในมหาสมุทรเพื่อตรวจจับเรือดำน้ำของสหภาพโซเวียต โดยใช้ระบบแถวเซนเซอร์ไฮโดรโฟน (Hydrophone array) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้น้ำ ในช่วงเวลาเดียวกันระบบเครือข่ายเรดาร์ทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Networks of air defense radars) ได้รับการพัฒนาเพื่อป้องกันภาคพื้นสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ในยุคแรกระบบเครือข่ายมีรูปแบบเป็นลำดับชั้น (Hierarchical) การประมวลผลจะทำตามลำดับชั้นและใช้มนุษย์เป็นหลักในการประมวลผลและทำงาน

ยุคสองเกิดขึ้นหลังจากการพัฒนาอินเทอร์เน็ตประมาณ พ.ศ. 2523 เป็นยุคของการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์แบบกระจายตัว(Distributed Sensor Network) เป็นโครงการวิจัยของ Defense Advanced Research Project Agency(DARPA) โดยเน้นที่การพัฒนาการประมวลผลข้อมูลแบบกระจายตัว การประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ในการติดตามวัตถุ เครือข่ายใช้โปรโตคอลสื่อสารระดับสูง แต่ด้วยเทคโนโลยียุคนั้นทำให้หน่วยร่วมเซนเซอร์มีขนาดใหญ่และถูกออกแบบให้เป็นรถเซนเซอร์เพื่อให้เป็นหน่วยร่วมเซนเซอร์แบบเคลื่อนที่ได้

2.1.4 เครือข่ายเซนเซอร์ยุคปี พ.ศ. 2550

เทคโนโลยีการผลิตไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาถึงระดับที่สามารถผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก และประหยัดพลังงาน ซึ่งเหมาะสำหรับสร้างหน่วยประมวลผล และหน่วยส่งข้อมูลของเซนเซอร์ไร้สาย และเทคโนโลยีด้วยเทคโนโลยีระบบเครื่องจักรการสร้างเซนเซอร์ขนาดเล็กและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กขึ้นได้จริง ทำให้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายยุคนี้เข้าใกล้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในจินตนาการของนักวิจัยยุคก่อนๆอย่างไ้ก็ตามเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้ยังมีการวิจัยต่อเนื่องไป

2.2 ZigBee

ZigBee เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซนเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากพันๆ หมื่นๆ ชิ้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือ แม้แต่ในบ้าน การทำงานของมันจะเป็นการรับ – ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านชิปขนาดเล็กนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆจนถึงปลายทางที่ต้องการดาวโหลดข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้ อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษทางอากาศ ปริมาณน้ำ ท่อแก๊สโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมาก จึงสามารถทิ้งไว้ได้เป็น 10 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ากันว่าเทคโนโลยี ZigBee นี้จะช่วยทำให้บริษัทที่เกี่ยวข้องกับการส่งพลังงานเช่น น้ำมัน ประปา น้ำในเขื่อน ท่อแก๊ส สามารถประหยัดการสูญเสียได้อย่างน้อย 10 – 15% และในอนาคตอันใกล้นี้เมื่อเทคโนโลยีนาโนก้าวหน้ามากขึ้น เซนเซอร์ ZigBee จะมีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุด สามารถฝังได้แม้กับร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้

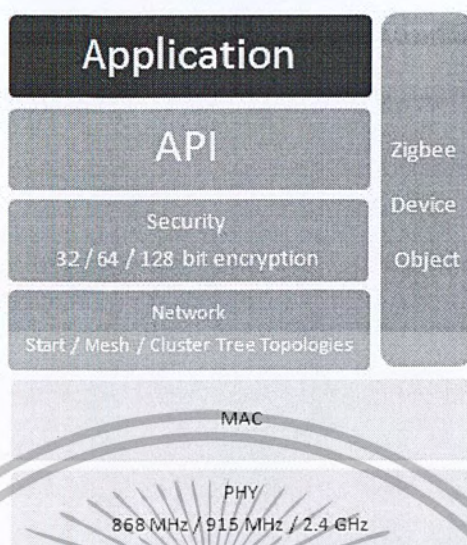
ชื่อ ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะให้ข้อมูลระหว่างข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน ที่เกี่ยวกับตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล(WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้

ลักษณะของ ZigBee คือมีทางเข้าช่องสัญญาณโดยใช้การ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA – CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันระยะทางโดยทั่วไปประมาณ 50 เมตร มี topology แบบ Star, Peer-to-peer, Mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรสที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์)

2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

เครือข่ายเซนเซอร์ ZigBee ถูกออกแบบภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งประกอบด้วยชั้นกายภาพ(Physical layer) และชั้น MAC layer ดังรูป



รูปที่ 2.1 โปรโตคอลของ ZigBee[2]

2.2.1.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4 Physical layer มีอยู่ 3 ความถี่คือ

1. 2.4-2.4835 GHz bit rate 250kb/s มีอยู่ 16 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 11 – 16 ใช้งานได้ทั่วโลก
2. 868 – 870 MHz bit rate 20 kb/s มีอยู่ 1 ช่องสัญญาณคือช่องสัญญาณที่ 0
3. 902 – 928 MHz bit rate 40 kb/s มีอยู่ 10 ช่องสัญญาณคือ ช่องสัญญาณที่ 1 – 10 ใช้งานได้ในพื้นที่อเมริกาเหนือ, ยุโรป, ออสเตรเลีย และ นิวซีแลนด์

ระยะทางในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 10 – 75 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังและสิ่งแวดล้อมในชั้นนี้จะใช้วิธี Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) โดยย่านความถี่ 2.4 GHz ใช้การมอดูเลชันแบบ O- QPSK ความกว้างของช่องสัญญาณ 2 – 5 MHz ส่วนย่านความถี่ 868-900 MHz ใช้การมอดูเลชันแบบ BPSK กลไกในการเข้าถึงสัญญาณทั้งสองอยู่ในมาตรฐาน 802.15.4 สำหรับเครือข่าย Non-beacon ซึ่งเป็นมาตรฐาน ALOHA CSMA-CA เป็นการสื่อสารที่มีการแจ้งเมื่อได้รับข้อมูล ในเครือข่าย Beacon-enable โครงสร้างของ Super frame ใช้สำหรับควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ ซึ่งตั้งขึ้นโดย Network coordinator เพื่อใช้ในการส่ง Beacon เพื่อใช้ในการช่วงชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเข้าถึงสัญญาณในแต่ละ Time slot อย่างไรก็ตาม Network coordinator สามารถบอกได้มากถึง 7 time slot ในแต่ละช่วงเวลาของ Beacon เพื่อคุณภาพของการให้บริการ

ตารางที่ 2.1 IEEE 802.15.4 Frequency bands and data transfer rates

Band (MHz)	Frequency Band (MHz)	Bit Rate (Kbps)	Symbol Rate (Kbps)	DSS Spreading Parameters	
				Modulation Techniques	Chip Rate (Mbps)
868	868.0-868.6	20	20	BPSK	0.3
915	902.0-928.0	40	40	BPSK	0.2
2400	2400-2483.5	250	62.5	O-QPSK	2

2.2.1.2 IEEE 802.15.4 MAC layer

ในชั้น MAC สามารถรองรับขนาดของแพ็คเกจได้สูงสุด 128 ไบต์ ภายในประกอบด้วย Payload 104 ไบต์ มีแอดเดรสของแต่ละ Node ที่มีความยาว 64 บิต และ 16 บิต (65,000 โหนด) ทั้งนี้ในชั้น MAC จะมีทั้งส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายและส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายที่มี Beacons ในโครงสร้างของ Super frame สำหรับการซิงโครไนซ์และยังมีกลไกแบบ GTS (Guaranteed Time Slot) สำหรับการสื่อสารที่มีความสำคัญสูง ส่วนการเข้าช่องสัญญาณจะใช้วิธี Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA-CA)

ใน MAC sub layer จะทำหน้าที่ 2 อย่างคือ MAC data service และ MAC management service โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

- Beacon management
- Channel access
- GTS management
- Frame validation
- Acknowledgement frame delivery
- Association and Disassociation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเน็ตเวิร์ก แบบ LR-WPAN สามารถที่จะเลือกใช้ Super frame Structure ได้โดยรูปแบบของ Super frame จะถูกกำหนดโดย PAN Coordinator

Super frame จะถูกแบ่งออกเป็น 16 slots ซึ่งในการส่ง Beacon จะส่งไปในเฟรมแรกของ Super frame นี้และหาก Coordinator ไม่ต้องการใช้ Super frame structure coordinator จะไม่ทำการส่ง Beacon มาในเฟรมแรก

Beacon จะใช้ในการ Synchronize ตัวอุปกรณ์อื่นๆใช้ในการระบุ PAN และใช้อธิบายโครงสร้างของ Super frame การทำงานโดยใช้ Super frame นั้นจะมี 2 สถานะคือ Active และ Inactive ในการทำงานแบบ Inactive นั้น Coordinator จะไม่ติดต่อกับ PAN และจะปรับตัวเองเข้าสู่ Low-Power mode ส่วนในสถานะ Active นั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ Contention Access Period (CAP) และ Contention Free Period (CFP)

2.2.2 ชนิดอุปกรณ์ของ ZigBee

อุปกรณ์ของ ZigBee มีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบ Physical Device และ Logical Device

2.2.2.1 ZigBee แบบ Physical Device มี 2 ประเภทคือ

1. Full Function Device: FFD เราเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

2. Reduced Function Device: RFD เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ Star

ตารางที่2.2 ZigBee แบบ Physical Device

Device Type	Services Offered	Typical Power Source	Typical Receiver Configuration
Full Function Device(FFD)	Most of all	Main	On when idle
Reduced Function Device (RFD)	Limited	Battery	On when idle

2.2.2.2 ZigBee แบบLogical Device มี 3 ประเภท คือ

1. ZigBeeCoordinators เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่าย
2. ZigBeeRouters ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ
3. ZigBeeEnd Devices เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งานโดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD

ตารางที่2.3 ZigBee แบบ Logical Device [5]

ZigBee Protocol Devices	IEEE Device Type	Typical Function
Coordinators	FFD	Once per network , Forms the network, Allocates network address
Routers	FFD	Optional. Extends the physical range of the network. Allow more node s to join the network. May also perform monitoring and/or control functions.
End	FFD or RFD	Performs monitoring and/or control functions.

2.2.3 เครือข่ายโปรโตคอล ZigBee

เครือข่ายไร้สายโดยใช้โปรโตคอล ZigBee สามารถตั้งค่าได้หลายแบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นหมวดหมู่ใหญ่ๆ ได้ 2 แบบ คือ จุดเชื่อมต่อและอุปกรณ์ปลายทาง อุปกรณ์เชื่อมต่อของโปรโตคอล ZigBee เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD ที่รวมการทำงานของโปรโตคอล ZigBee ไว้เป็นจำนวนมาก ส่วนอุปกรณ์ปลายทางสามารถเป็นได้ทั้ง RFD ซึ่ง RFD เป็นอุปกรณ์ที่เล็กและง่ายที่สุดของโปรโตคอล ZigBee ที่มีการทำงานของโปรโตคอล ZigBee น้อยมาก



2.2.3.1 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network)

ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล ZigBee 1 จุด และอุปกรณ์ปลายทางหลายๆ ชิ้นในเครือข่ายแบบสตาร์ อุปกรณ์ปลายทางทั้งหมดจะสื่อสารกับอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้น ถ้าอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆ ต้องส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ที่ส่งข้อมูลไปยังผู้รับ

2.2.3.2 เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree)

ในเครือข่ายนี้ อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือ ZigBee โปรโตคอลร้ําเตอร้ําทำหน้าที่ 2 ประเภท คือ เพิ่มจำนวนโหนดที่สามารถเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่าย และขยายขนาดของเครือข่าย เนื่องจากร้ําเตอร้ําจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังจุดต่างๆของเครือข่ายได้ โดยที่ อุปกรณ์ปลายทางไม่จำเป็นต้องอยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ

2.2.3.3 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)

เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรงไม่ต้องผ่าน โครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องทำการต่อผ่าน อุปกรณ์ RFD ก่อนหน้า ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้ คือ ช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่ง และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมช มีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-Hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (Single-Hop) เครือข่าย โปรโตคอล ZigBeeเป็น เครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกัน ซึ่งหมายความว่า จุดเชื่อมต่อในเครือข่ายทุกจุดมี สิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่าๆกันมีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อม กัน 2 วิธี ได้แก่ Beacon และ Non-Beacon การเชื่อมต่อแบบ Non-Beaconทุกจุดเชื่อมต่อใน เครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ในเครือข่ายแบบ Beacon จุดเชื่อมต่อจะ สามารถส่งข้อมูลได้ในเวลาที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

2.2.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลของ ZigBee

2.2.4.1 ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee coordinator

จะเริ่มต้นเครือข่าย โดยการตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณวิทยุภายในบริเวณรอบๆ ถ้ามี ช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้โดยCoordinator ตัวอื่น ก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ หลังจากนั้น Coordinator ก็จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย รองรับารเข้าร่วมเครือข่ายของ ZigBee end-device และรองรับการร้องขออื่นๆ ตามมาตรฐานด้วยเช่นกัน ในโครงงานนี้ Coordinator รองรับารเข้าร่วมเครือข่าย การออกจากเครือข่าย และการร้องขอการ Binding เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee end-device

ZigBee end-device จะเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายไปยัง Coordinator ประจำเครือข่านั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ว่า Coordinator ใช้ช่องสัญญาณได้อยู่เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว End device จึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่านทาง Coordinator ได้ เช่น การส่งข้อความทั่วไป (Message), การร้องขอการ Binding (Binding request), การขอยกออกจากเครือข่าย

2.2.5 ZigBeeกับมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สายอื่นๆ

ZigBee เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานระบบสื่อสารต่างๆ แสดงดังตาราง จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีของ Wi-Fi และ Bluetooth นั้นกินพลังงานสูง จึงไม่เหมาะนำมาใช้งานกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ ซึ่งอัตราการการส่งข้อมูลไม่เยอะ และไม่จำเป็นต้องเร็วมากเพราะมีการเรียกข้อมูลเป็นคาบเวลา

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สาย

มาตรฐาน	ZigBee 802.15.4	WIFI 802.11b	Bluetooth 802.15.1
ช่วงการส่ง (m)	1-100	1-100	1-10
อายุการใช้งาน(วัน)	100-1000	0.5-5	1-7
ขนาดเครือข่าย(ต่อ โหนด)	มากกว่า 64,000	32	7
Application	Monitoring&Control	Web,E-mail,VDO	Cable replacement
ขนาด Stack(Kbyte)	4-32	1000	250
Throughput (Kbps)	20-250	11,000	720

2.2.6 การประยุกต์การใช้งาน ZigBee

การประยุกต์การใช้งาน ZigBee นั้นจะแบ่งตามประเภทของข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่ 3 แบบ

1. ข้อมูลแบบ Periodic ข้อมูลแบ่งออกเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับ เซนเซอร์ และมีเตอร์ต่าง ๆ

2. ข้อมูลแบบ Intermittent เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งานเช่นสวิตช์ไฟ
3. ข้อมูลแบบ Repetitive low latency ใช้ในงานที่ต้องการ Latency น้อยๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่วงเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS(Guarantee Time Slot)เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการนำไปใช้ในงาน

2.3 XBee

บริษัท Maxstream ได้ผลิต XBee ซึ่งอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ให้รองรับกับอุปกรณ์ Wireless Sensor Network ที่มีราคาถูก ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ และสามารถ ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องครบถ้วน เป็น โมดูลสื่อสารอนุกรมไร้สายที่ใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz

2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของ XBee และ XBee Pro

- ความถี่ในการทำงาน 2.4 GHz
- ระยะการทำงานในร่มสูงสุดประมาณ 100 เมตร
- ระยะการทำงานกลางแจ้งสูงสุดประมาณ 1,500 เมตร
- ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ใช้ไฟเลี้ยง 2.7-3.4 V
- ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ
- อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE802.15.4

ตารางที่ 2.5คุณสมบัติทั่วไปของ XBeeและ XBee pro [4]

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) International variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Japan	R201WW07215214	R201WW08215111" (Max. 10 dBm transmit power output)**
Australia	C-Tick	C-Tick

2.3.2 ขาต่างๆของXBee และ XBee-Pro

ตารางที่ 2.6ขาของ XBeeและ XBee-Pro [4]

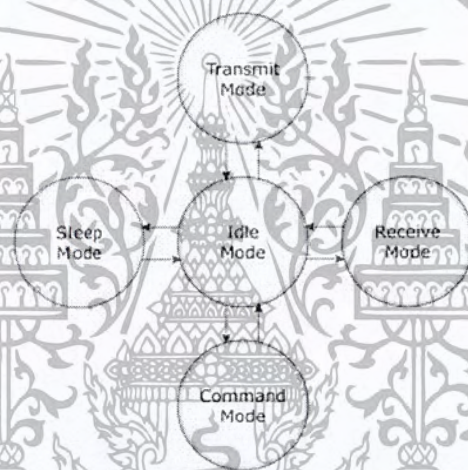
Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

			Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

2.3.3 การทำงานของ XBee

การทำงานของ XBee แบ่งออกได้เป็น 5 โหมด ดังนี้



รูปที่ 2.3 การทำงานของโมดูล XBee [4]

1. Idle Mode เป็นโหมดที่ไม่มีการรับ – ส่งข้อมูล และเป็นโหมดกลางที่สามารถเปลี่ยนไปยังโหมดต่าง ๆ ได้
2. Transmit Mode มีการส่งข้อมูลได้สองวิธี
 Direct Transmission ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยัง Destination Address ทันที
 Indirect Transmission จะถูกเก็บไว้จนกว่าจะถึงเวลาส่งเท่านั้นและจะส่งไปยังที่มีการตอบรับมา (Source Address = Destination Address)
3. Receive Mode ข้อมูล RF จะถูกรับทางสายอากาศ
4. Sleep Mode RF อยู่ในสถานะที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ หรือไม่มีการใช้ การเข้ามาอยู่ในโหมดนี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้อย่างน้อยหนึ่งอย่าง (ค่าของ

ตัวแปร SM ต้องไม่เป็น 0) มีการใช้งานที่ Sleep RQ (pin9) อยู่โหมด Idle (ไม่มีการรับ – ส่งข้อมูล) เป็นเวลานานมากกว่าที่กำหนดไว้ที่ตัวแปร ST (Time Before Sleep)

5. Command Mode เป็นโหมดคำสั่งโดยจะใช้ลำดับเป็นสำคัญ

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEAL (ผู้นำทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51) AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEAL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC architecture) คือหนึ่งคำสั่งทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (Instructions in a single clock cycle) ซึ่งเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่ใช้ 1 คำสั่ง ต่อ 12 Machine cycle เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงความมีประสิทธิภาพที่เท่ากัน โดยในการโครงการนี้ได้ใช้ AVR เบอร์ ATmega128 และ ATmega16

2.4.1 คุณสมบัติของบอร์ด

1. สถาปัตยกรรมภายในแบบ Advanced RISC (Reduced Instruction Set Computer)
2. มีคำสั่งควบคุมการทำงานมากกว่า 10 คำสั่ง โดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1 MIP/ 1 MHz)
3. มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว (ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C เป็นอย่างมาก)
4. ความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 16 MHz (ความสามารถในการใช้งานความถี่สัญญาณนาฬิกาขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน)
5. หน่วยความจำ ROM แบบ Flash (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 512 ไบต์ (เขียน/ลบ 100,000 ครั้ง)
6. หน่วยความจำแบบ SRAM 1 กิโลไบต์

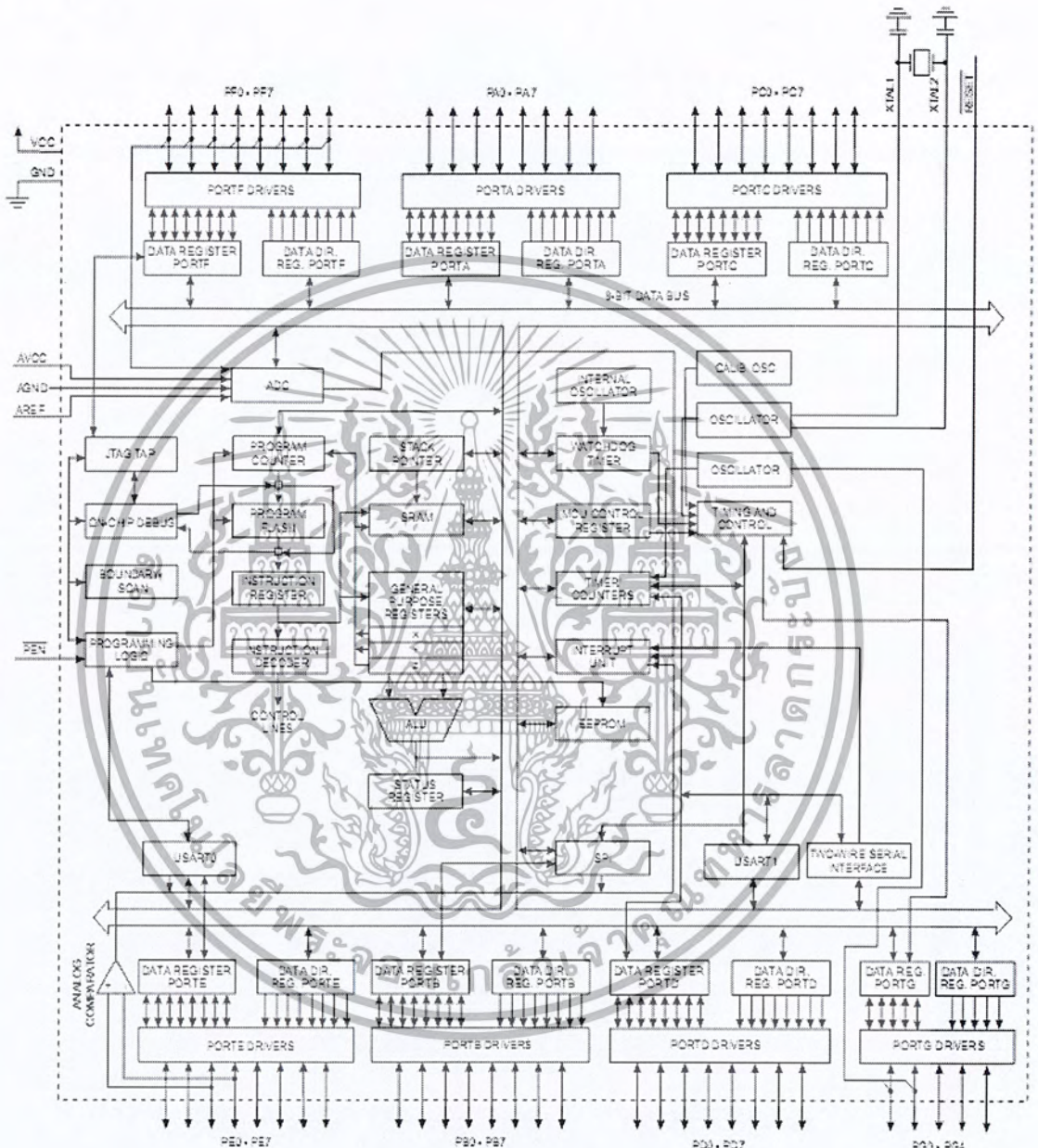
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไทม์เมอร์/เคาเตอร์ ทั้งแบบ 8 บิต และ 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์
8. มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์(Watching Timer with On-Clip Oscillator)
9. โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse with Modulator) จำนวน 4 ช่อง
10. มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง
11. โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก (Analog Comparator)
12. การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบ RS232, SPI (Serial Peripheral Interface) และแบบ I²C
13. พอร์ตอินพุตเอาต์พุตขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งานมีตั้งแต่ 8 ขาจนมากกว่า 100 ขาพอร์ต (ATmega16 มีขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 32 ขา



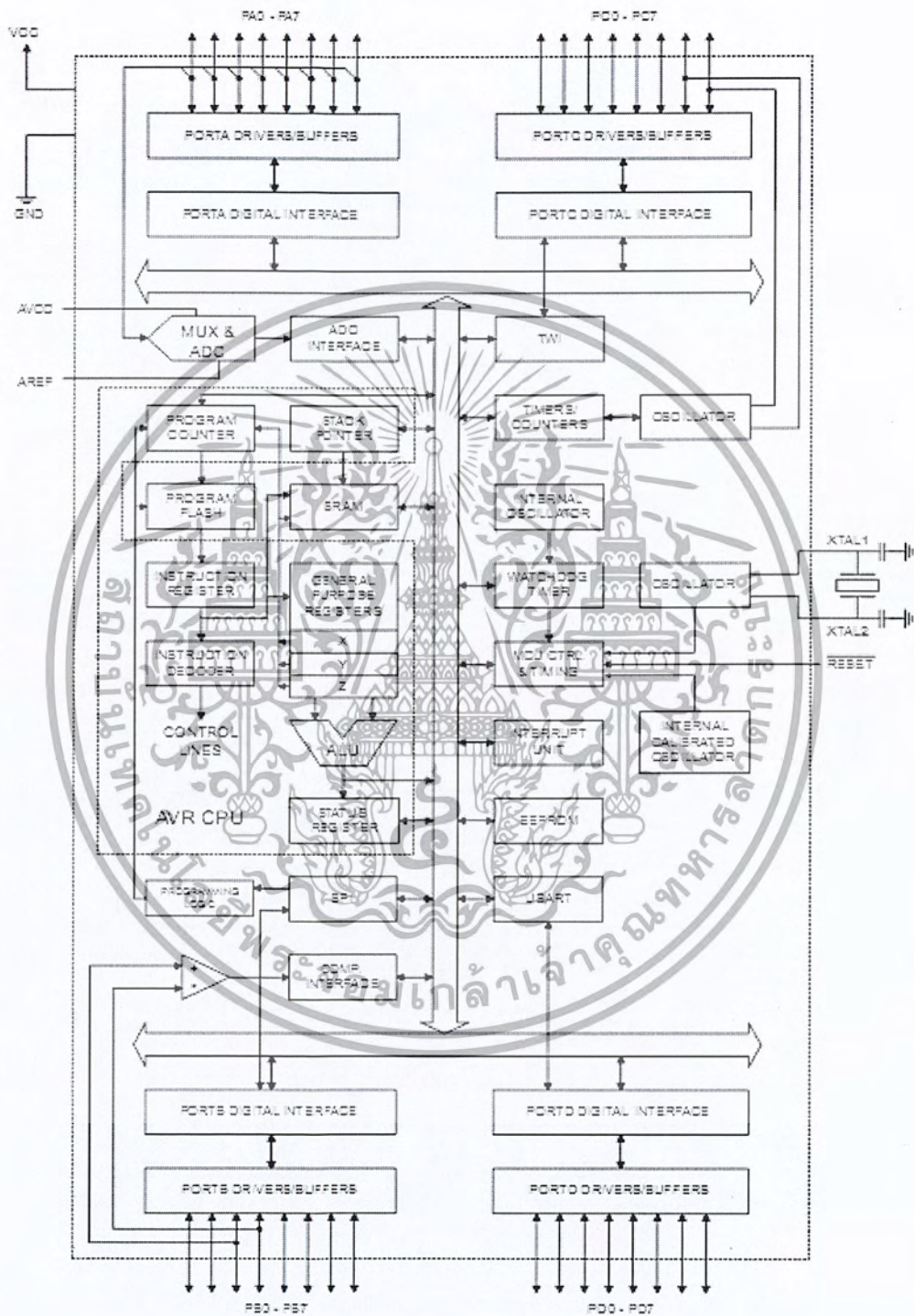
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 และ ATmega16



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรม AVR ATmega128 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

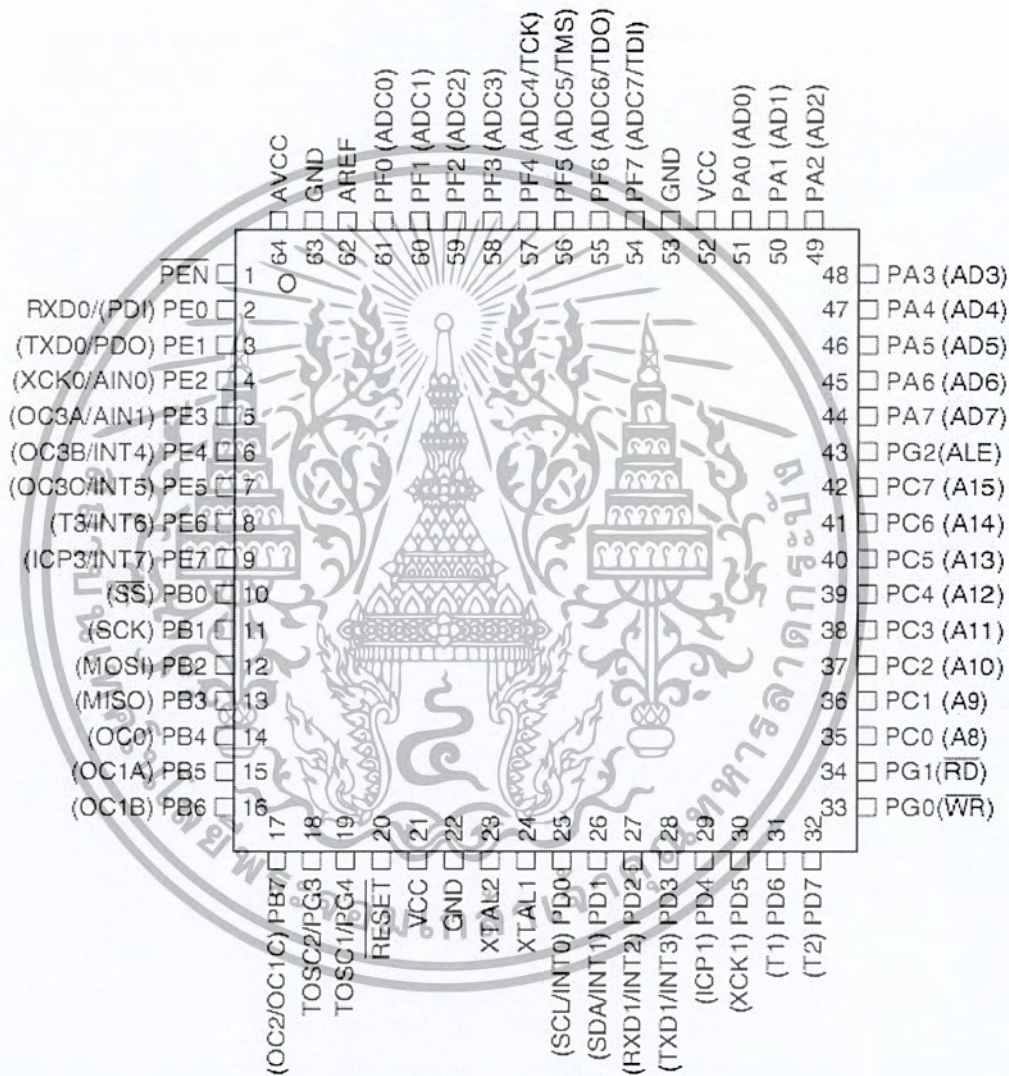


รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรม AVR ATmega16 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 และ ATmega16

ขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega128 มีจำนวน 64 ขาประกอบไปด้วย



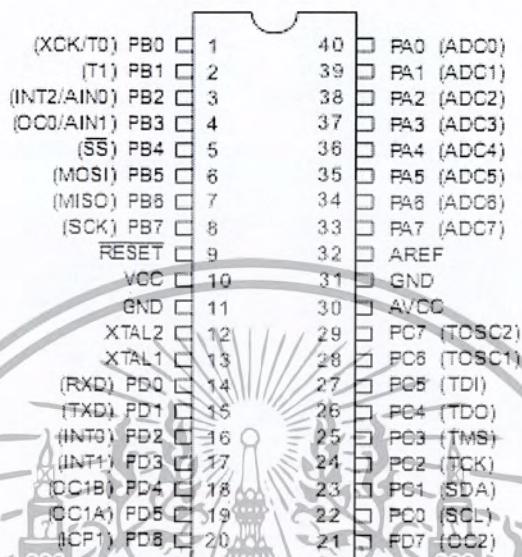
รูปที่ 2.6ขาพอร์ตของ ATmega128 [5]

- VCC ขาสำหรับจ่ายไฟ
- GND ขากราวด์
- Port A (PA7..PA0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port B (PB7..PB0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port C (PC7..PC0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port D (PD7..PD0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port E (PE7..PE0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port F (PF7..PF0)ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตอะนาล็อกเพื่อที่จะแปลงเป็นดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และยังเป็นพอร์ตพิเศษทำหน้าที่เชื่อมต่อกับคัมบิก และ โปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น
- RESETขารีเซ็ตวงจร
- XTAL1ขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต
- XTAL2ขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ช่องที่ 2 ด้านเอาต์พุต
- AVCCขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล
- AREFขาแรงดันอนาล็อกอ้างอิงสำหรับ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล
- PEN เป็นขาสำหรับโปรแกรมกับ SPI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 16 มีจำนวน 40ขาประกอบไปด้วย

PDIP



รูปที่ 2.7ขาพอร์ตของ ATmega16 [6]

- VCC ขาแรงดันไฟตรง
- GND ขากราวด์
- Port A (PA0..PA7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register)
- Port B (PB0..PB7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาสำหรับการ โปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น
- Port C (PC0..PC7) นอกจากขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) แล้วยังเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาเชื่อมต่อกับดีบั๊ก และโปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น
- Port D (PD0..PD7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีก เช่น ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ขาอินเตอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RESET ขารีเซตวงจร
- XTAL1 ขาต่อคริสตัลอสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต
- XTAL2 ขาต่อคริสตัลอสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 2 ด้านเอาต์พุต
- AVCC ขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล
- AREF แรงดันอนาล็อกอ้างอิงสำหรับ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

2.4.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น โมดูลพอร์ต ทำหน้าที่เกี่ยวกับ อินพุตเอาต์พุตพอร์ตโมดูลไทม์เมอร์ เกี่ยวกับการนับเวลาหรือการจับเวลา

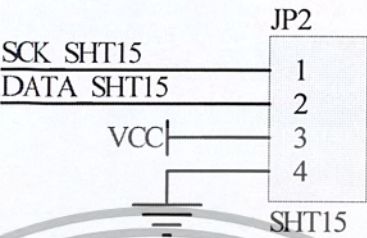
เมื่อเข้าใจการทำงานของโมดูลที่ต้องการใช้งานแล้ว ให้ศึกษาและทำความเข้าใจกับ รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ โมดูลนั้นๆ เนื่องจากรีจิสเตอร์เปรียบเสมือนสวิตช์เปิดปิด การใช้งาน โมดูลนั้นๆ เมื่อกำหนดสวิตช์เปิดปิด เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงาน ตามที่ได้กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ไว้ในรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องทันที (ตามสวิตช์ที่ได้กำหนดไว้)

รีจิสเตอร์ในบางโมดูลจะมีบิตเฉพาะ สำหรับใช้ในการเปิดปิดการใช้งาน หรืออาจเรียกว่าสวิตช์หลัก แต่บางโมดูลจะไม่มี เพียงกำหนดรีจิสเตอร์ที่จะใช้งานก็เริ่มทำงานได้ทันที

บางโมดูลที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์ ต้องมีการกำหนดฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับอินเตอร์รัปต์ของโมดูลที่ใช้งานด้วยหลังจากที่กำหนดค่าบิตในรีจิสเตอร์ที่ใช้งานโมดูลแล้ว การเขียนโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานการเขียนโปรแกรมของแต่ละบุคคล รวมถึงพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หากมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมให้ทำงานได้เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เลย ผลลัพธ์การทำงานของโปรแกรมที่ได้อาจไม่ถูกต้อง เนื่องจากวงจรการใช้งานที่ผิดพลาดดังนั้นการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงต้องมีพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์บ้าง ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรม และใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปตามความต้องการมากขึ้น

2.5 เซนเซอร์วัดความชื้น

การใช้งาน SHT15 Sensor Probe วัดความชื้นและอุณหภูมิ

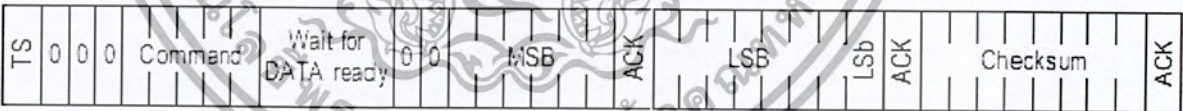


รูปที่ 2.8ขาต่างๆ ของ SHT15

2.5.1 รายละเอียดขาต่างๆ

- VDD ขาต่อไฟ
- GND ขากราวด์
- DATA ขาต่อ Serial Data
- SCK ขาต่อ Serial Clock

2.5.2 หลักการทำงานของ SHT15

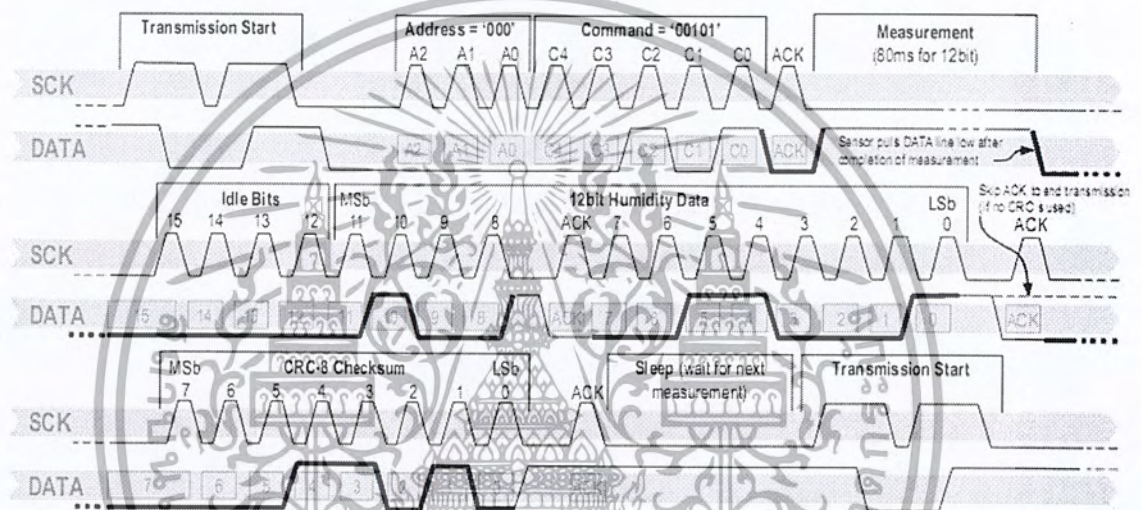


รูปที่ 2.9การอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ [7]

เมื่อจ่ายไฟให้กับตัวเซนเซอร์ เซนเซอร์จะทำงานด้วยชุดคำสั่ง Transmission Start + Address + Command

2.5.3 Measurement sequence (T and RH)

ค่าของการอุณหภูมิและความชื้นจะแสดงดังรูป โดยการอ่านค่าจากตัวอย่างเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านค่า Humidity จากเซนเซอร์ ซึ่งจะมี Address = 000 และคำสั่ง = 00101 และเมื่ออ่านค่าเสร็จแล้ว จะทำการส่ง Acknowledge (ACK) ด้วยการดึงพัลซ์เป็น low



รูปที่ 2.10 พัลซ์ของสัญญาณการอ่านค่าความชื้นและอุณหภูมิจาก SHT15 [7]

ข้อมูลของอุณหภูมิมีขนาด 14 bit และ Humidity มีขนาด 12 bit (สามารถเปลี่ยนได้เป็น 12 และ 8 bit โดย status register) เมื่อได้รับ Acknowledge แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รอเพื่อให้เซนเซอร์พร้อมทำงานอีกครั้ง แล้วจึงส่งสัญญาณ SCK ต่อไปอีก 2 bytes สำหรับรับข้อมูล และ 1 byte สำหรับข้อมูลตรวจสอบความผิดพลาด (CRC)

จากตัวอย่าง จะสามารถอ่านข้อมูล 12 bit Humidity (4 bit แรกเป็น 0 เสมอ) เป็น
 0000010000110001 = 1073 (Decimal) = 35.50 %RH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4การเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัล

การเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นข้อมูลอุณหภูมิค่าของข้อมูลอุณหภูมิมีลักษณะเป็นเชิงเส้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

Temperature = d₁ +d₂ *SO_T (2.1)

เมื่อ SO_T = Serial Output Temperature d₁, d₂ เป็น ค่าคงที่เชิงเส้น

ตารางที่ 2.7 การหาค่าTemperature [7]

SO _T	Celsius		Fahrenheit	
	d ₁	d ₂	d ₁	d ₂
14bit 5V	-40	0.01	-40	0.018
12bit 5V	-40	0.04	-40	0.072
14bit 3V	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12bit 3V	-38.4	0.0392	-37.1	0.0704

เช่นอ่านข้อมูลดิจิทัลขนาด14 bit ได้ SO_T = 011010 1111 1111 = 06911 ที่แรงดัน 5 V เมื่อต้องการอ่านค่าเป็นองศาเซลเซียสจะได้ค่า d₁ = -40,d₂ = 0.01 ผลการคำนวณTemperature = 29.11C การเปลี่ยนข้อมูล Digital เป็นข้อมูล Humidityค่าของข้อมูล Humidity มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น สามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

คำนวณหา RH-Linear โดยใช้สูตร

RH_{linear} = c₁+c₂ • SO_{RH} + c₃ • SO_{RH}² (2.2)

เมื่อ RH_{linear} = Serial Output humidity แบบ Linearและ c₁, c₂, c₃มีค่าดังตาราง

ตารางที่ 2.8 ค่าคงที่ของการหาค่าHumidity

for 12 bit SO _{RH}	c ₁ = -4	c ₂ = 0.0405	c ₃ = -2.8*10 ⁻⁶
for 8 bit SO _{RH}	c ₁ = -4	c ₂ = 0.648	c ₃ = -7.2*10 ⁻⁴

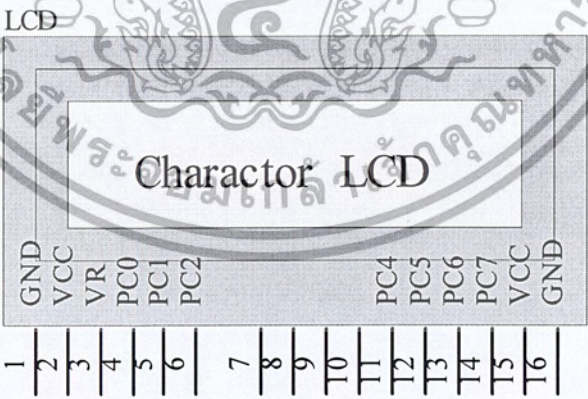
เมื่อได้ค่า RH-linear และอุณหภูมิแล้ว หาค่า RH_{true} โดยใช้สูตร

$$RH_{true} = (T_c - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$
 (2.3)

$$t_1 = 0.01 ; t_2 = 0.00008 ; t_3 = 0.00128 \text{ for 8 bit } SO_{RH}$$

เช่นอ่านข้อมูลดิจิตอลขนาด 12 bit ได้ RH-linear = 0110 11111111 =1791 ที่แรงดัน 5 โวลต์อ่านค่าT_c = 29.11C เมื่อต้องการหาค่าHumidity จะได้ค่า c1= -4, c2 = 0.0405, c3= - 0.0000028 ผลการคำนวณ ค่าHumidity = 60.18%

2.6 จอ LCD แสดงผล



รูปที่ 2.11 จอ LCD ชนิด 16x2

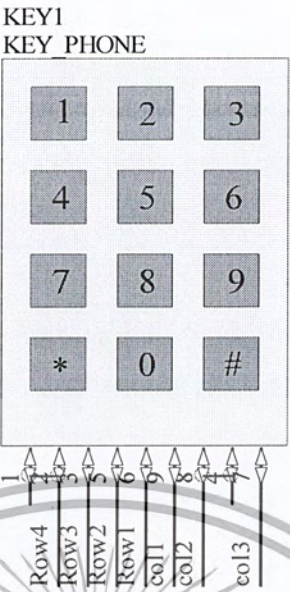
ตารางที่ 2.9 ตำแหน่งของขาและหน้าที่การใช้งานของ LCD โมดูล

Pin No.	Symbol	Description	Level	Function	
1,16	VSS	Ground	-	0V	Ground
2,15	VCC	Power Supply	-	+5V	ต่อกับแรงดันไฟเลี้ยง +5V
3	VR	LCD Ctrl	-	-	ต่อกับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล
4	RS	Register Select	H/L	RS = 0 หมายถึงต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) RS = 1 หมายถึงต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register)	
5	R/W	Read/Write	H/L	R/W = 0 หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังLCD โมดูล R/W = 1 หมายถึงต้องการอ่านข้อมูลจากLCD โมดูล	
6	EN	Enable	H, H->L	Enable Signal	
7 - 14	DB0-DB7	Data Bus	H/L	Data Bus Line	

2.7 คีย์แพ็ค

การทำงานของคีย์แพ็ค จะมีปุ่มสำหรับกด 12 ปุ่มโดยแบ่งเป็น 4 แถว กับ 3 หลัก ซึ่งจะรับค่าเมื่อมีการกดปุ่มบนคีย์แพ็ค ส่วนแถวของคีย์แพ็คจะเชื่อมเอาต์พุตสัญญาณของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนหลักของคีย์แพ็คจะเชื่อมอินพุตสัญญาณไปต่อยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำการเช็คจาก หลักที่ 1 ถึง 3 และทางบอร์ดก็จะเช็คจากแถวที่ 1 ถึง 4 ถ้ามีการกดปุ่มจะมีค่าลอจิก “0” ดูได้จากตารางที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 คีย์แปดชนิด 4x3

ตารางที่ 2.10 ค่าลอจิกของคีย์แปด

Column			Row				Key	
Col1	Col2	Col3	Row1	Row2	Row3	Row4	Character	Binary code
0	0	0	1	1	1	1	(none)	1111
0	1	1	0	1	1	1	1	0001
1	0	1	0	1	1	1	2	0010
1	1	0	0	1	1	1	3	0011
0	1	1	1	0	1	1	4	0100
1	0	1	1	0	1	1	5	0101
1	1	0	1	0	1	1	6	0110
0	1	1	1	1	0	1	7	0111
1	0	1	1	1	0	1	8	1000
1	1	0	1	1	0	1	9	1001
0	1	1	1	1	1	0	*	1010
1	0	1	1	1	1	0	0	0000
1	1	0	1	1	1	0	#	1011

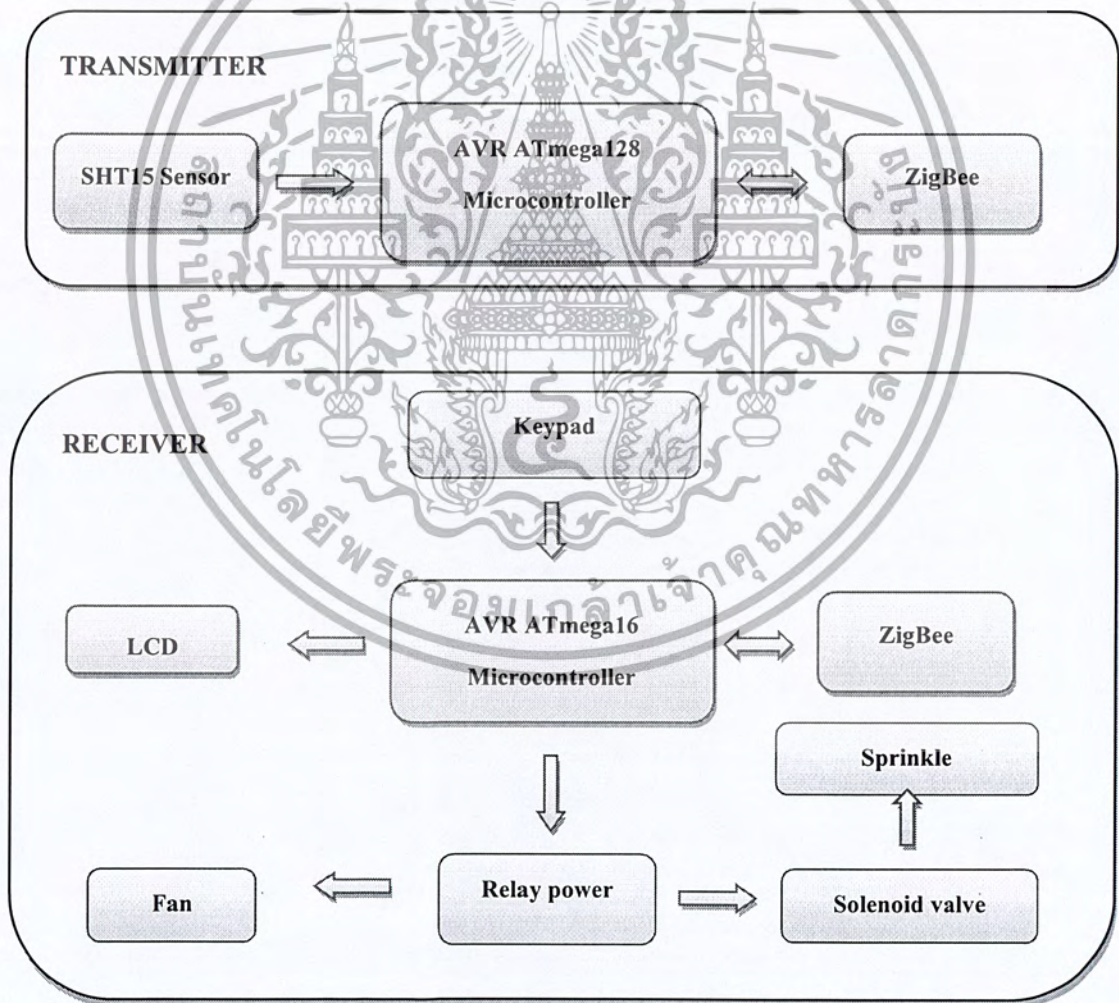
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบ

3.1 หลักการทำงานของระบบ

จากภาคส่งเมื่อเซนเซอร์ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์จะส่งค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR จะส่งผลไปให้ ZigBee และ ZigBee จะส่งค่าที่ได้ไปให้ ZigBee ภาครับเพื่อนำค่าที่วัดได้มาแสดงบนจอ LCD จากนั้นจะมีวงจรรีเลย์เป็นเหมือนสวิตช์คอยสั่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ให้พัดลมหรือโซลินอยด์ทำงานโดยมีคีย์แพดไว้เซตค่าความชื้น



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 Flowchart การทำงานของภาคส่ง



รูปที่ 3.2 Flowchart ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Flowchart การทำงานของภาครับ

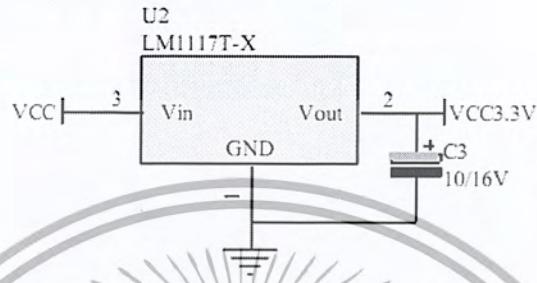


รูปที่ 3.3 Flowchart ของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรภาคส่ง

3.2.1 วงจรป้อนไฟเลี้ยงโมดูล ZigBee

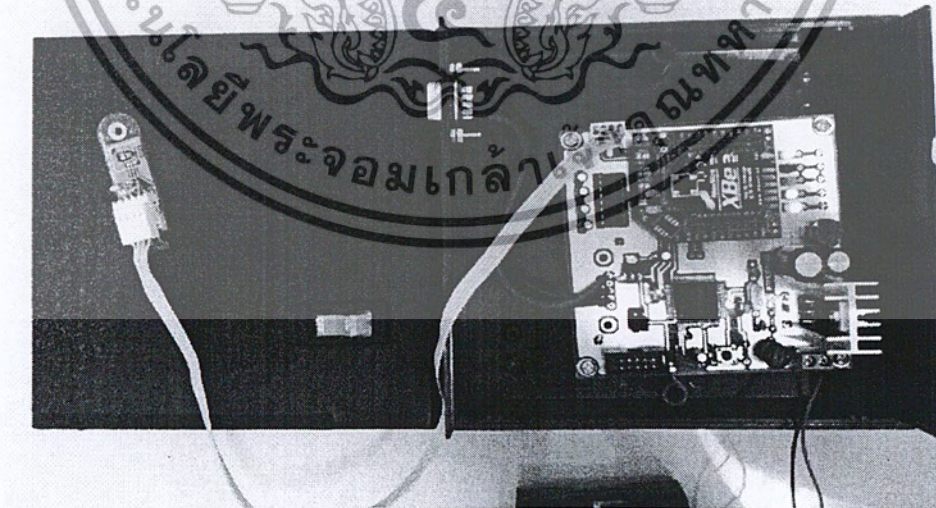


รูปที่ 3.4 วงจรป้อนไฟเลี้ยงโมดูล ZigBee

การทำงานของวงจรเริ่มจากการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ให้วงจร จากนั้นใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ LM1117 เพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 3.3 โวลต์เพื่อป้อนไฟเลี้ยงให้กับ โมดูล ZigBee ซึ่งแรงดันจะถูกตัวเก็บประจุ (C) กรองให้เรียบยิ่งขึ้นเพื่อความเหมาะสมกับไอซี

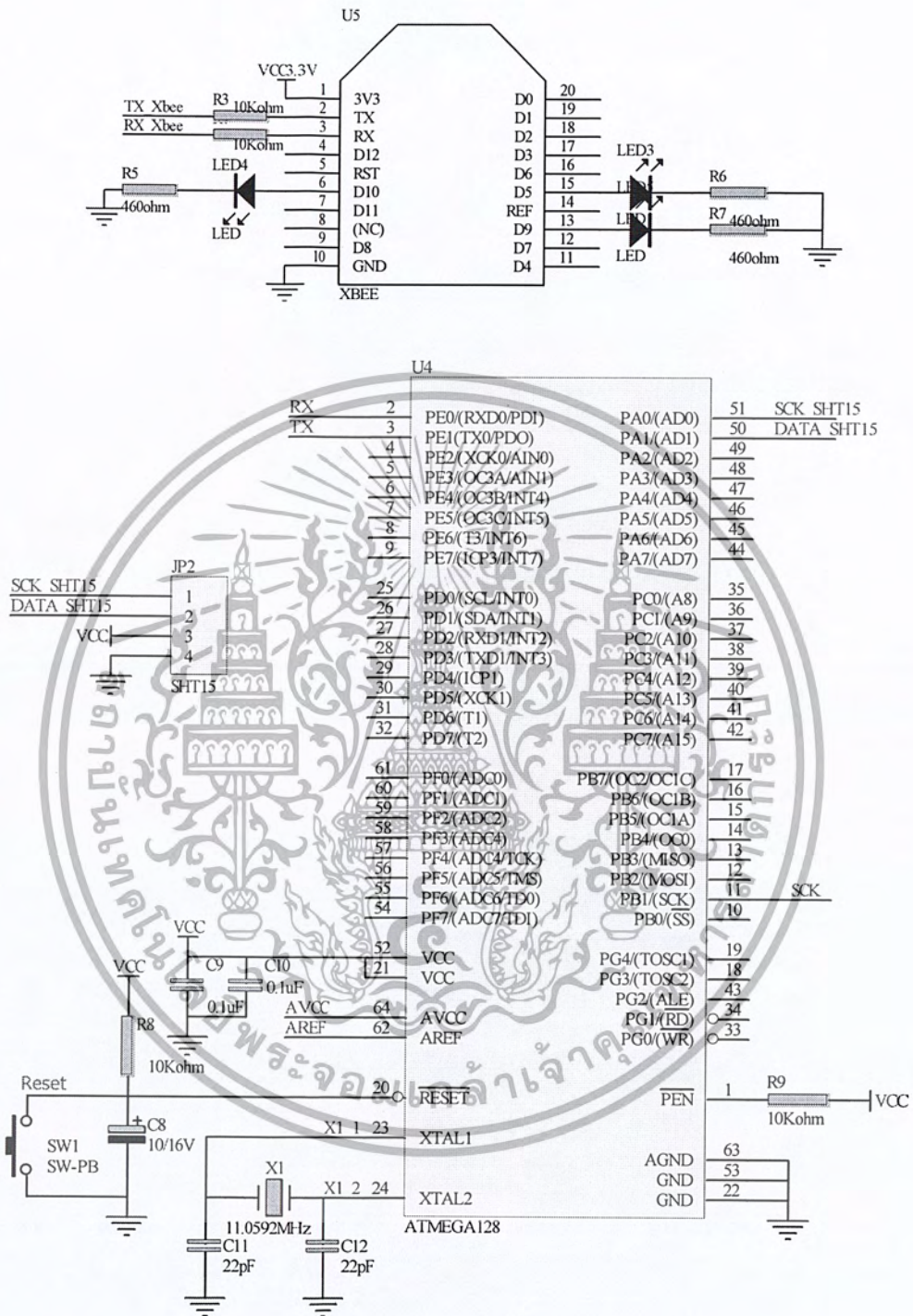
3.2.2 วงจรภาคส่ง

จะประกอบด้วย ZigBee, Sensor SHT15 , AVR ATmega128



รูปที่ 3.5 วงจรรวมของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

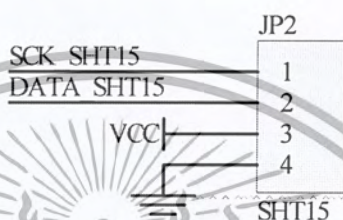


รูปที่ 3.6 แผงวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SHT15

การเชื่อมต่อขาของเซนเซอร์จะมี 4 ขา จะมีขาที่สี่เป็นกราวด์ ขาที่สองจะเป็นขาของข้อมูล (Data) ซึ่งจะต่อเข้ากับพอร์ต PA1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขาที่หนึ่งจะเป็นขา รับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ต่อเข้ากับพอร์ต PA0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และขาที่สามจะเป็นขาที่รับไฟเลี้ยงขนาด 5 โวลต์



รูปที่ 3.7 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ SHT15

3.2.4 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 กับ โมดูล ZigBee

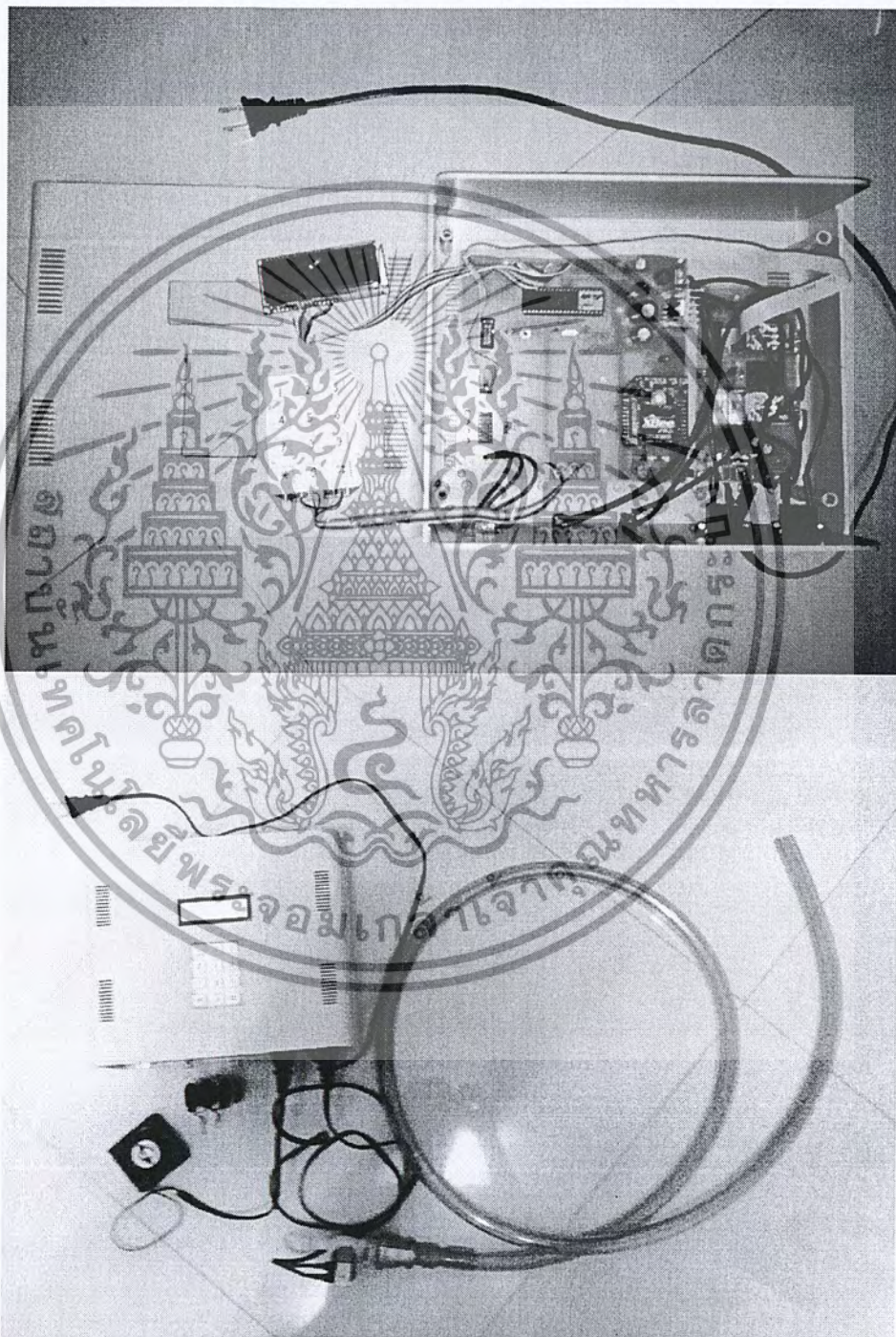
การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโมดูล ZigBee นั้น จะทำการติดต่อสื่อสารกันผ่านทางพอร์ตอนุกรม USART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 โดยการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์กระทำดังนี้

- VCC ขาแรงดันไฟตรง
- GND ขากราวด์
- Port B (PB0...PB7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาสำหรับการโปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น
- Port C (PC0...PC5) นอกจากขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอลกำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) แล้วยังเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาเชื่อมต่อกับคีย์บอร์ด และ โปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น
- PC6/RESET ขารีสตาร์ท
- Port D (PD0...PD7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ขาอินเตอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น
- AVCC ขาแรงดันไฟให้ A/D Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรภาครับ

วงจรภาครับจะประกอบด้วย AVR ATmega16, LCD, Keypad, Relay power, Fan, Solenoid valve



รูปที่ 3.8 งจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Port D (PD0..PD7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (Internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีก เช่น ขาเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม ขาอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกเป็นต้น
- RESET ขารีเซตวงจร
- XTAL1 ขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต
- XTAL2 ขาต่อคริสตัลลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 2 ด้านเอาต์พุต
- AVCC ขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และ โมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล
- AREF แรงดันอะนาล็อกอ้างอิงสำหรับ โมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

3.3.3 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับคีย์แปด

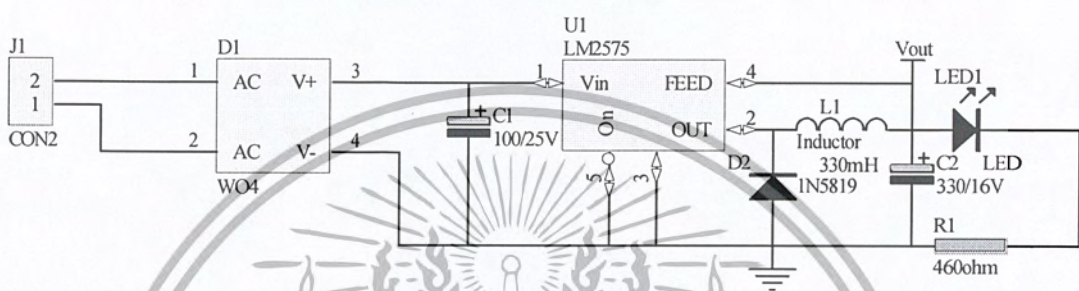
คีย์แปดแบบ 4x3 จะต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขาพอร์ต PC0 – PC7 การทำงานของคีย์แปด จะมีปุ่มสำหรับกด 12 ปุ่ม โดยแบ่งเป็น 4 แถว กับ 3 หลัก ซึ่งจะรับค่าเมื่อมีการกดปุ่มบนคีย์แปด ส่วนแถวของคีย์แปดจะเชื่อมเอาต์พุตสัญญาณของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนหลักของคีย์แปดจะเชื่อมอินพุตสัญญาณไปต่อยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้ามีการกดปุ่มใดสัญญาณไฟฟ้าจะเชื่อมต่อถึงกัน

3.3.4 วงจรเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16 กับ วงจรรีเลย์

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับปิด – เปิด วงจรเช่นเดียวกับสวิตช์ แต่การทำงานของรีเลย์ทำงานด้วยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดของรีเลย์ ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดูดขั้วโลหะของรีเลย์ติดหรือขาดออกจากกัน ทำให้วงจรต่อกันหรือขาดออกจากกันเหมือนการปิดเปิดวงจรด้วยสวิตช์ โดยต่อกับขา PB0 และ PB1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4วงจรป้อนไฟให้กับบอร์ดและอุปกรณ์ต่างๆ

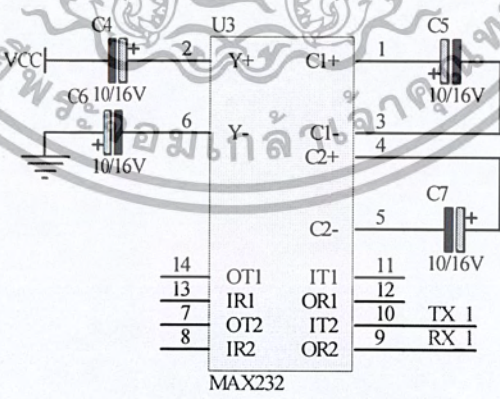
เป็นวงจรที่ใช้ไอซี LM2575 การทำงานของวงจรเริ่มจากทำการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงขนาด12โวลต์ให้วงจร เพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 5 โวลต์เพื่อป้อนไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆภายในบอร์ด



รูปที่ 3.10วงจรเรกูเลเตอร์ LM2575

3.5วงจร MAX232

เป็นตัวแปลงสัญญาณไปมาระหว่างมาตรฐาน RS-232 กับ TTL Logic ตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม



รูปที่3.11วงจรMAX232 [8]

บทที่ 4

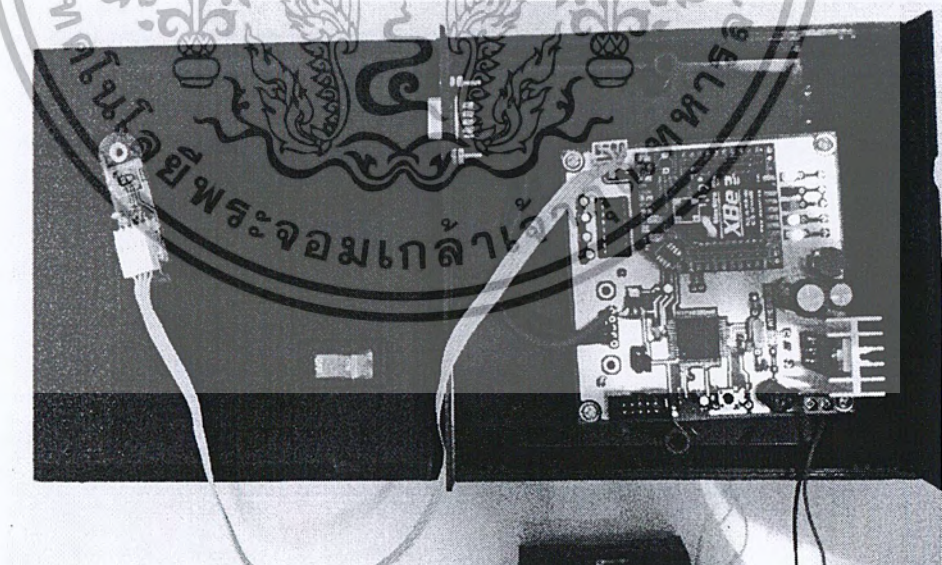
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

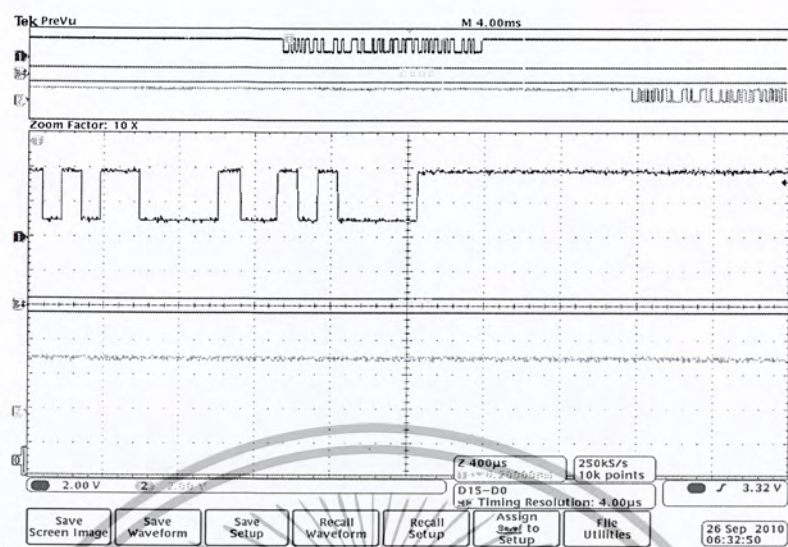
ในส่วนของการทดลองได้มีการสร้างวงจร 2 วงจร คือ มีการสร้างวงจรภาคส่งของวงจร เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น ส่วนของวงจรภาครับสามารถควบคุมขึ้นได้โดยมีคีย์แป้นตั้งค่า ความชื้นที่ต้องการโดยจะแสดงผลออกทาง LCD และส่งงานไปยังตัววงจรรีเลย์โดยใช้โมดูล ZigBee ในการเชื่อมต่อภาคส่งและภาครับ

4.1.1 แผงวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

ในส่วนของการสร้างวงจรภาคส่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เมื่อมีการจ่ายไฟ ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น จากนั้นจะทำการส่งไปยังภาครับโดยผ่าน โมดูล ZigBee ซึ่งเป็นโมดูลในการเชื่อมต่อไร้สาย



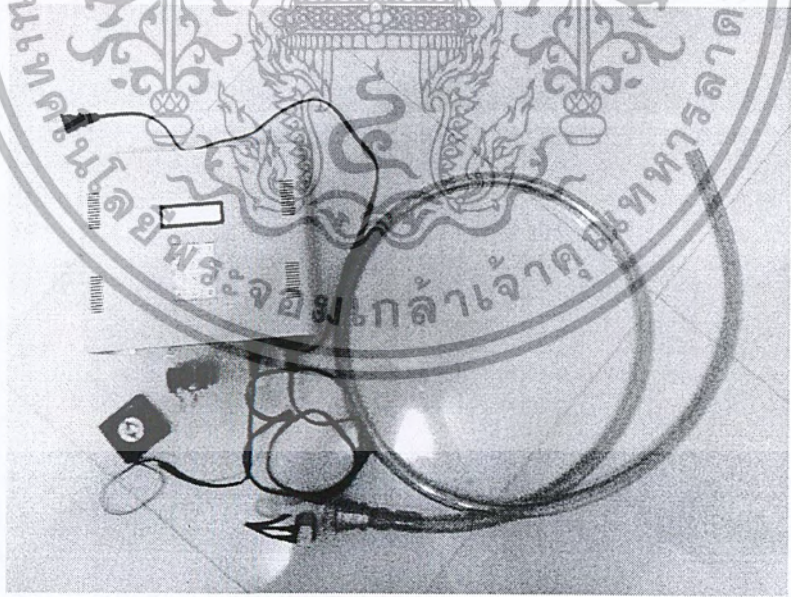
รูปที่ 4.1 วงจรภาคส่งของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น



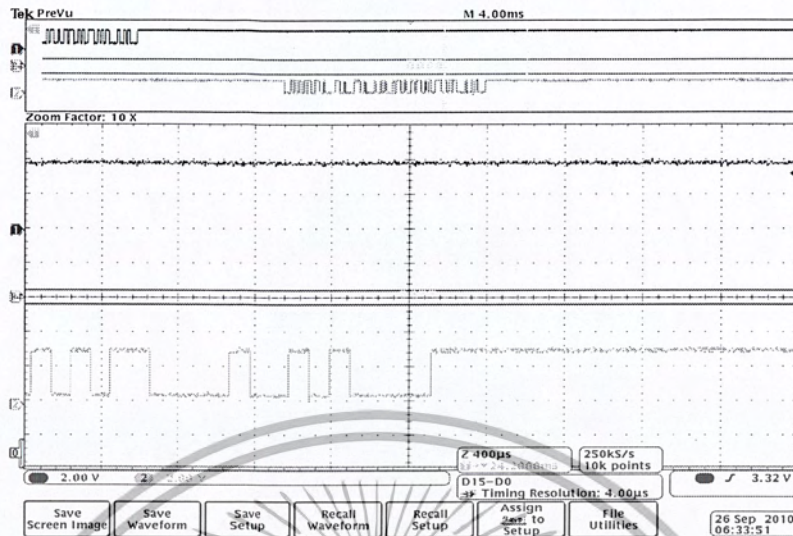
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณภาคส่งเมื่อวัดสัญญาณจากขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.2 แผงวงจรภาครับ

วงจรภาครับ จะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูล ZigBee วงจรรีเลย์ ก็ยี่เพ็ด และจอแสดงผล LCD โดยที่จอแสดงผลนั้น จะแสดงทั้งอุณหภูมิ และความชื้นจากภาคส่งและโดยใช้โมดูล ZigBee ในเป็นตัวรับข้อมูลจากวงจรภาคส่ง



รูปที่ 4.3 วงจรภาครับ



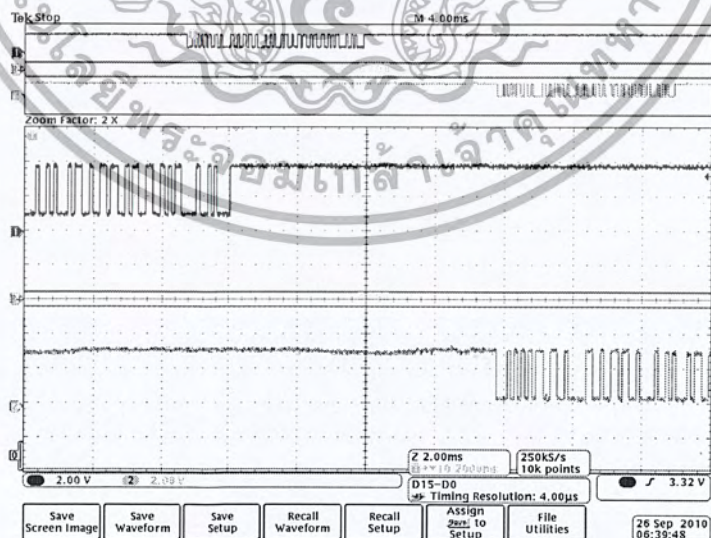
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณภาครับเมื่อวัดสัญญาณจากขา Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์

4.1.3 ผลการทดลองแผงวงจรภาคส่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

จากการทดลองนี้ เมื่อเซนเซอร์ภาคส่งทำการวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการอ่านค่าและแปลงค่าแล้ว ก็จะส่งค่านั้นผ่าน โมดูล ZigBee ไปยังภาครับ ภาครับจะแสดงผลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ผ่านจอแสดงผล LCD



รูปที่ 4.5 ผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านหน้าจอ LCD ของภาครับ



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณในการส่งข้อมูล ระหว่างภาคส่งและภาครับ

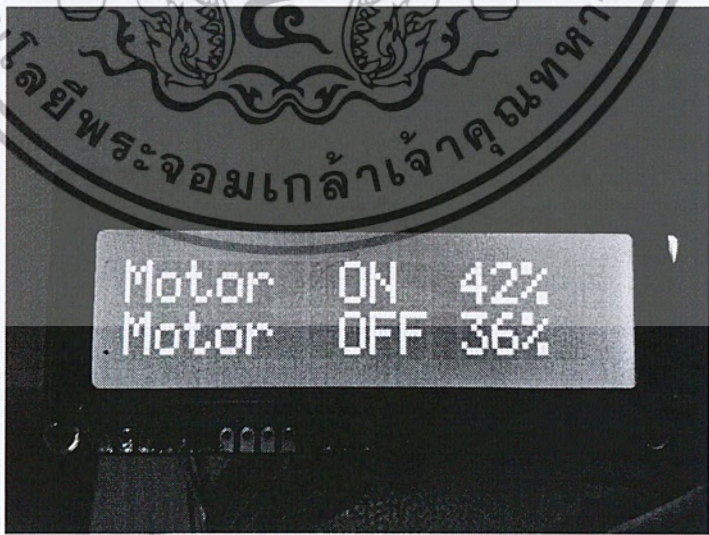
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการทดลองแผงวงจรภาครับ

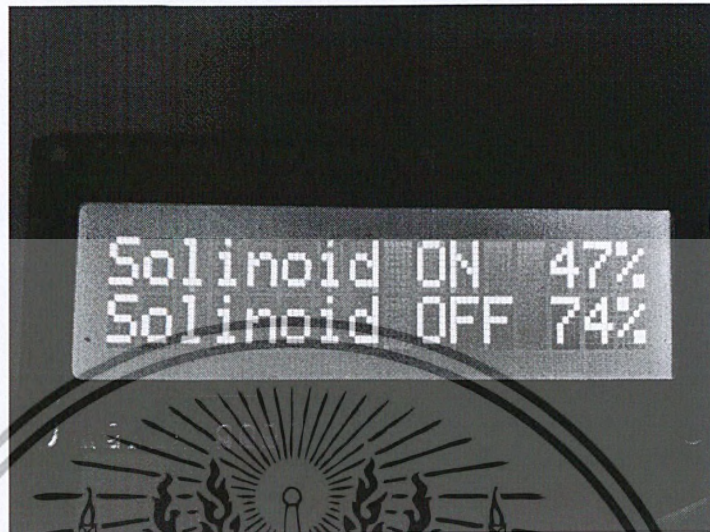
การทดลองนี้จะทำการเซตค่าจากคีย์แพ็ค ตั้งความถี่ขึ้นสัมพันธ์ที่ต้องการซึ่งเมื่อถึงความถี่ที่กำหนดไว้ ตัวรีเลย์จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์เปิดปิดพัลลมหรือโซลินอยด์วาล์ว โดยการกด “ * ” ตามด้วยการกด 1 เป็นการเซตค่าเปิดปิดการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว และ กด 2 เป็นของมอเตอร์พัลลม



รูปที่ 4.7 การเซตค่าให้พัลลมหรือโซลินอยด์วาล์วทำงาน



รูปที่ 4.8 พัลลมจะทำงานเมื่อถึงความถี่ที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.9 โซลินอยด์จะทำงานเมื่อถึงความชื้นที่กำหนดไว้

4.1.5 ทดลองวัดระยะการส่ง

เมื่อสามารถรับ-ส่งข้อมูลไร้สายได้แล้ว ในการใช้งานจริงจะมีปัจจัยสำคัญที่ทำให้การส่งข้อมูลเกิดความผิดพลาด นั่นคือระยะในการส่งที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งตามความเป็นจริงการตรวจวัดภายในโรงงาน หรือสถานที่ใดๆ ตัวรับและตัวส่ง ไม่ได้ส่งข้อมูลเป็นแบบเส้นตรง แต่อาจจะอยู่ในที่ทึบและมีสิ่งกีดขวางอย่างเช่น เครื่องจักร วัตถุ ที่สัญญาณไม่สามารถทะลุผ่านได้

เราจึงทำการทดลองวัดระยะที่สามารถส่งข้อมูลได้ในที่ภายในอาคาร โดยการวัดค่าในระยะที่ต่าง ๆ กันตามคุณสมบัติของ XBee-Pro ที่สามารถส่งได้สูงสุดประมาณ 100 เมตร ระยะทำการในร่ม โดยมีสิ่งกีดขวางเป็นผนังห้องที่ทำจากปูน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

จากการทดลองพบว่า

ระยะที่เริ่มมีความผิดพลาด (รับข้อมูลได้ช้าลง เกิดการดีเลย์) = 20 เมตร

ระยะสูงสุดที่สามารถส่งข้อมูลได้จริง = 25 เมตร

ทั้งนี้ผลที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดระยะทางกับการส่งข้อมูลในอาคาร (XBee)

ระยะทาง (เมตร)	การรับส่งข้อมูล
10	ปกติ
15	ปกติ
20	ปกติ
25	ปกติ
30	ขาดการส่งข้อมูลเป็นระยะ
35	ข้อมูลส่งมาได้บ่อยครั้ง ขาดการติดต่อเป็นเวลานาน
40	ไม่สามารถติดต่อได้
50	ไม่สามารถติดต่อได้
60	ไม่สามารถติดต่อได้
70	ไม่สามารถติดต่อได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดระยะทางกับการส่งข้อมูลในอาคาร (XBee-pro)

ระยะทาง (เมตร)	การรับส่งข้อมูล
10	ปกติ
15	ปกติ
20	ปกติ
25	ปกติ
30	ปกติ
35	ปกติ
40	เริ่มเกิดการตีเลย
50	ขาดการส่งข้อมูลเป็นระยะ
60	ข้อมูลส่งมาได้บ่อยครั้ง ขาดการติดต่อเป็นเวลานาน
70	ส่งข้อมูลได้เป็นบางครั้ง ขาดการติดต่อนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 สามารถวัดค่าจากเซนเซอร์ในบอร์ดภาคส่ง และส่งค่าที่วัดได้มาที่บอร์ดภาครับ เพื่อแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD ของภาครับได้ผ่าน โมดูล ZigBee

5.1.2 ระยะส่งข้อมูลของ โมดูล XBee-PRO ในการใช้งานจริง อาจจะส่งได้ไม่ถึงระยะการส่งสูงสุดตามคุณสมบัติ เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมภายนอก เช่น ผนังห้อง ตัวอาคาร หรือ สิ่งกีดขวางอื่นๆ เป็นต้น

5.1.3 สามารถกำหนดค่าความถี่จากคีย์แป้นเพื่อส่งตัววงจรรีเลย์จ่ายไฟให้กับโซลินอยด์ วาล์วหรือพัดลมให้ทำงานได้

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ปัญหาความไม่คงทนและชำรุดได้ง่ายของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อทำการทดลองหลายๆ ทำให้เสียเวลาซ่อมแซมและจัดหาอุปกรณ์ใหม่

5.2.2 เนื่องจากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไอซี และอุปกรณ์บางชนิดหาได้ยาก จึงทำให้เสียเวลาในการจัดซื้อและจัดหา

5.2.3 เนื่องจากในส่วนของการเขียนโปรแกรมการทำงานรับส่งไมโครคอนโทรลเลอร์ทางผู้จัดทำได้ใช้เวลาศึกษา จึงทำให้เสียเวลาในการศึกษาและทำการทดสอบเป็นเวลานาน

5.3 แนวทางการแก้ไขและพัฒนา

5.3.1 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเซนเซอร์ชนิดอื่นๆ ได้ โดยใช้เทคโนโลยี ZigBee ในการเชื่อมโยงข้อมูลติดต่อสื่อสารกัน

5.3.2 พัฒนาโปรแกรมแอปพลิเคชันให้สามารถตรวจสอบได้ว่าค่าจากตัวเซนเซอร์เกินกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ได้ รวมถึงแจ้งเตือนหรือควบคุมค่าปัจจัยต่างๆ ต่อไปในอนาคตได้

บรรณานุกรม

- [1] Farahani, Shahin, “*ZigBee wireless networks and transceivers*”, Oxford, UK , : Elsevier Ltd. , 2008
- [2] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7118>
- [3] <http://www.microwatt.co.uk/services/wireless/>
- [4] <http://mobliezigbee.blogspot.com/2007/08/xbee.html>
- [5] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2467S.pdf
- [6] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf
- [7] http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf
- [8] <http://www.thaimicrotron.com/CCS-628/Reference/MAX232.htm>
- [9] ประจัน พลังสันติกุล, การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR (C Compiler), บริษัท แอพซอพต์เทค จำกัด กรุงเทพฯ, 2549
- [10] ประจัน พลังสันติกุล, การประยุกต์ใช้งานภาษา C กับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR (Apply C Programming for AVR Microcontroller Book 2), บริษัท แอพซอพต์เทค จำกัด กรุงเทพฯ , 2549
- [11] <http://www.yupparaj.ac.th/CAI/ASCIIcode/ascii.htm>
- [12] <http://www.thaiembedded.com/blog/?p=201>



ภาคผนวก ก.

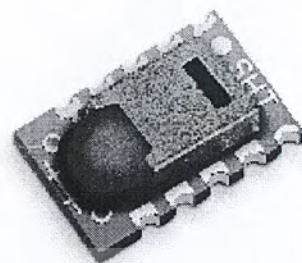
เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้น SHT 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)

Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated
- Digital output
- Low power consumption
- Excellent long term stability
- SMD type package – reflow solderable



Product Summary

SHT1x (including SHT10, SHT11 and SHT15) is Sensirion's family of surface mountable relative humidity and temperature sensors. The sensors integrate sensor elements plus signal processing on a tiny foot print and provide a fully calibrated digital output. A unique capacitive sensor element is used for measuring relative humidity while temperature is measured by a band-gap sensor. The applied CMOSens® technology guarantees excellent reliability and long term stability. Both sensors are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC).

Each SHT1x is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into an OTP memory on the chip. These coefficients are used to internally calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows for easy and fast system integration. The tiny size and low power consumption makes SHT1x the ultimate choice for even the most demanding applications.

SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) which is approved for standard reflow soldering processes. The same sensor is also available with pins (SHT7x) or on flex print (SHTA1).

Dimensions

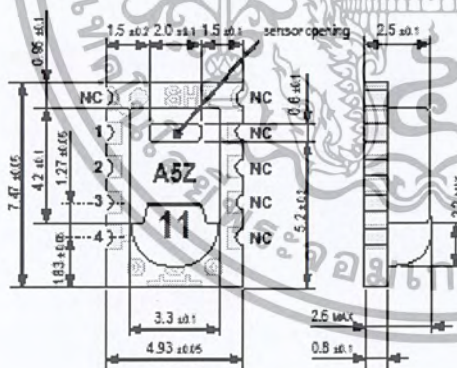


Figure 1: Drawing of SHT1x sensor packaging, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). Sensor label gives "11" for SHT11 as an example. Contacts are assigned as follows: 1:GND, 2:DATA, 3:SCK, 4:VDD.

Sensor Chip

SHT1x V4 – for which this datasheet applies – features a version 4 Silicon sensor chip. Besides a humidity and a temperature sensor the chip contains an amplifier, AD converter, OTP memory and a digital interface. V4 sensors can be identified by the alpha-numeric traceability code on the sensor cap – see example "A5Z" code on Figure 1.

Material Contents

While the sensor is made of a CMOS chip the sensor housing consists of an LCP cap with epoxy glob top on an FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant, thus it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

Evaluation Kits

For sensor trial measurements, for qualification of the sensor or even experimental application of the sensor there is an evaluation kit EK-H2 available including sensor, hard and software to interface with a computer.

For more sophisticated and demanding measurements a multi port evaluation kit EK-H3 is available which allows for parallel application of up to 20 sensors.

Sensor Performance

Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy ² SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Replacement		fully interchangeable			
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time ³ τ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift ⁴	normal		< 0.5		%RH/yr

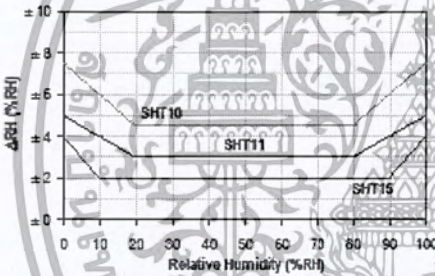


Figure 2: Maximal RH-accuracy at 25°C per sensor type.

Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution ¹		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy ² SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy ² SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Replacement		fully interchangeable			
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time ⁵ τ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

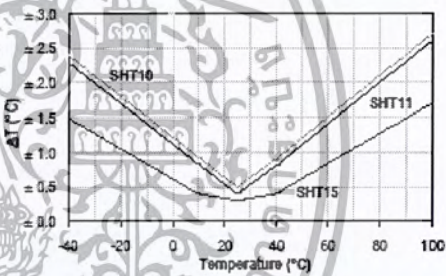


Figure 3: Maximal T-accuracy per sensor type.

Electrical and General Items

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Source Voltage		2.4	3.3	5.5	V
Power Consumption ⁵	sleep		2	5	µW
	measuring		3		mW
	average		150		µW
Communication	digital 2-wire interface, see Communication				
Storage	10 – 50°C (0 – 125°C peak); 20 – 60%RH				

Packaging Information

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
	Tape & Reel	100	1-100051-04
SHT11	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

¹ The default measurement resolution of is 14bit for temperature and 12bit for humidity. It can be reduced to 12/8bit by command to status register.
² Accuracies are tested at Outgoing Quality Control at 25°C (77°F) and 3.3V. Values exclude hysteresis and non-linearity.
³ Time for reaching 63% of a step function, valid at 25°C and 1 m/s airflow.

⁴ Value may be higher in environments with high contents of volatile organic compounds. See Section 1.3 of Users Guide.
⁵ Values for VDD=5.5V at 25°C, average value at one 12bit measurement per second.
⁶ Response time depends on heat capacity of and thermal resistance to sensor substrate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Capacitor should be placed as close to the sensor as possible. Please see the Application Note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

1.10 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$ according to JEDEC78A. See Application Note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

2 Interface Specifications

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

Table 1: SHT1x pin assignment. NC remain floating.

2.1 Power Pins (VDD, GND)

The supply voltage of SHT1x must be in the range of 2.4 – 5.5V, recommended supply voltage is 3.3V. Power supply pins Supply Voltage (VDD) and Ground (GND) must be decoupled with a 100 nF capacitor – see Figure 10.

The serial interface of the SHT1x is optimized for sensor readout and effective power consumption. The sensor cannot be addressed by I²C protocol, however, the sensor can be connected to an I²C bus without interference with other devices connected to the bus. The controller must switch between the protocols.

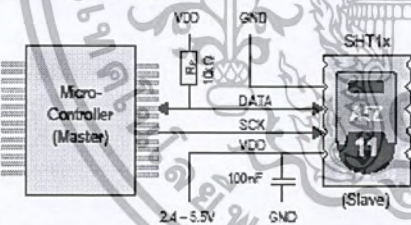


Figure 10: Typical application circuit, including pull up resistor R_p and decoupling of VDD and GND by a capacitor.

2.2 Serial clock input (SCK)

SCK is used to synchronize the communication between microcontroller and SHT1x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.3 Serial data (DATA)

The DATA tri-state pin is used to transfer data in and out of the sensor. For sending a command to the sensor, DATA is valid on the rising edge of the serial clock (SCK) and must remain stable while SCK is high. After the falling edge of SCK DATA may be changed. For safe communication DATA valid shall be extended T_{su} and T_{ho} before the rising and after the falling edge of SCK, respectively – see Figure 11. For reading data from the sensor, DATA is valid T_v after SCK has gone low and remains valid until the next falling edge of SCK.

To avoid signal contention the microcontroller must only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10k Ω) is required to pull the signal high – it should be noted that pull-up resistors may be included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 2 for detailed I/O characteristic of the sensor.

2.4 Electrical Characteristics

The electrical characteristics such as power consumption, low and high level, input and output voltages depend on the supply voltage. Table 2 gives electrical characteristics of SHT1x with the assumption of 5V supply voltage if not stated otherwise. For proper communication with the sensor it is essential to make sure that signal design is strictly within the limits given in Table 3 and Figure 11.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
Supply current	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	$I_{OL} < 4$ mA	0		250	mV
High level output voltage	$R_p < 25$ k Ω	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

Table 2: SHT1x DC characteristics. R_p stands for pull up resistor, while I_{OL} is low level output current.

¹⁰ Recommended voltage supply for highest accuracy is 3.3V, due to sensor calibration.
¹¹ Minimum value with one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second, typical value with one measurement of 12bit accuracy per second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

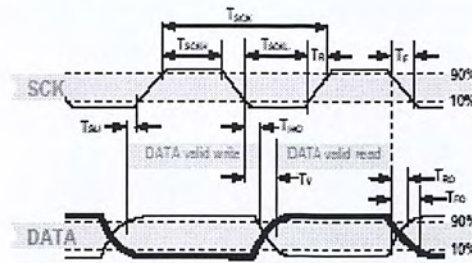


Figure 11: Timing Diagram, abbreviations are explained in Table 3. Bold DATA line is controlled by the sensor, plain DATA line is controlled by the micro-controller. Both valid times refer to the left SCK toggle.

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
F_{SCK} SCK Frequency	$VDD > 4.5V$	0	0.1	5	MHz
	$VDD < 4.5V$	0	0.1	1	MHz
T_{SCK} SCK hi/low time		100			ns
$T_{R/TF}$ SCK rise/fall time		1	200		ns
T_{FO} DATA fall time	$OL = 5pF$	3.5	10	20	ns
	$OL = 100pF$	30	40	200	ns
T_{RO} DATA rise time		**	**	**	ns
T_V DATA valid time		200	250	***	ns
T_{SU} DATA setup time		100	150	***	ns
T_{HO} DATA hold time		10	15	****	ns

* $T_{R,max} + T_{F,max} = (F_{SCK})^{-1} - T_{SCK} - T_{SO}$

** T_{RO} is determined by the $R_{OL}C_{OL}$ time constant of DATA line

*** $T_{V,max}$ and $T_{SU,max}$ depend on external pull-up resistor (R_U) and total bus line capacitance (C_{BUS}) of DATA line

**** $T_{HO,max} = T_V - min(T_{SU}, T_{RO})$

Table 3: SHT1x I/O signal characteristics, OL stands for Output Load, entities are displayed in Figure 11.

3 Communication with Sensor

3.1 Start up Sensor

As a first step the sensor is powered up to chosen supply voltage VDD. The slew rate during power up shall not fall below 1V/ms. After power-up the sensor needs 11ms to get to Sleep State. No commands must be sent before that time.

3.2 Sending a Command

To initiate a transmission, a Transmission Start sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high – see Figure 12.

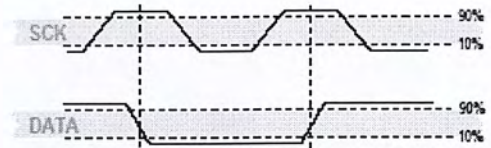


Figure 12: "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only '000' is supported) and five command bits. The SHT1x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Relative Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values. Wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 4: SHT1x list of commands

3.3 Measurement of RH and T

After issuing a measurement command ('00000101' for relative humidity, '00000011' for temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes a maximum of 20/80/320 ms for a 8/12/14bit measurement. The time varies with the speed of the internal oscillator and can be lower by up to 30%. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls data line low and enters Idle Mode. The controller must wait for this Data Ready signal before restarting SCK to readout the data. Measurement data is stored until readout, therefore the controller can continue with other tasks and readout at its convenience.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum (optional) will then be transmitted. The micro controller must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used).

Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ACK high. The device automatically returns to Sleep Mode after measurement and communication are completed.

Important: To keep self heating below 0.1°C , SHT1x should not be active for more than 10% of the time – e.g. maximum one measurement per second at 12bit accuracy shall be made.

3.4 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset the serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK nine or more times – see Figure 13. This must be followed by a Transmission Start sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

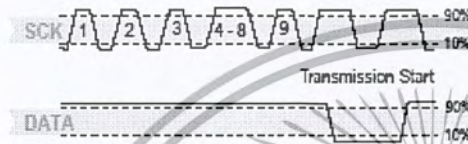


Figure 13: Connection Reset Sequence

3.5 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by an 8bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated. As described above this is an additional feature of which may be used or abandoned.

Please consult Application Note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

Status Register

Some of the advanced functions of the SHT1x such as selecting measurement resolution, end of battery notice or using the heater may be activated by sending a command to the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the Application Note "Status Register".

After the command Status Register Read or Status Register Write – see Table 4 – the content of 8 bits of the status register may be read out or written. For the communication compare Figures 16 and 17 – the assignation of the bits is displayed in Table 5.

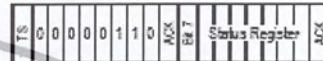


Figure 14: Status Register Write



Figure 15: Status Register Read

Examples of full communication cycle are displayed in Figures 16 and 16.

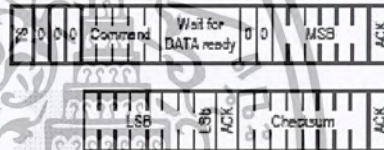


Figure 16: Overview of Measurement Sequence. TS = Transmission Start, MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSB = Last Significant Bit.

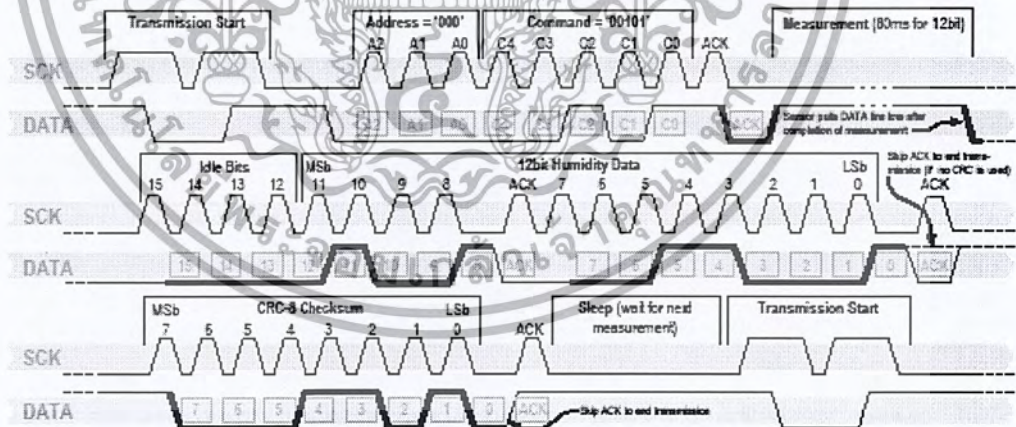


Figure 17: Example RH measurement sequence for value '0000'1001'0011'0001' = 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation). DATA valid times are given and referenced in boxes on DATA line. Bold DATA lines are controlled by sensor while plain lines are controlled by the micro-controller.

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for VDD > 2.47 '1' for VDD < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temp. resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temp. resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 5: Status Register Bits

Measurement resolution: The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

End of Battery function detects and notifies VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ± 0.05 V.

Heater: An on chip heating element can be addressed by writing a command into status register. The heater may increase the temperature of the sensor by $5 - 10^{\circ}\text{C}$ beyond ambient temperature. The heater draws roughly 8mA @ 5V supply voltage.

For example the heater can be helpful for functionality analysis: Humidity and temperature readings before and after applying the heater are compared. Temperature shall increase while relative humidity decreases at the same time. Dew point shall remain the same.

Please note: The temperature reading will display the temperature of the heated sensor element and not ambient temperature. Furthermore, the sensor is not qualified for continuous application of the heater.

4 Conversion of Signal Output

4.1 Relative Humidity

For compensating non-linearity of the humidity sensor – see Figure 18 – and for obtaining the full accuracy of the sensor it is recommended to convert the humidity readout (SO_{RH}) with the following formula with coefficients given in Table 6:

$$\text{RH}_{\text{linear}} = c_1 + c_2 \cdot \text{SO}_{\text{RH}} + c_3 \cdot \text{SO}_{\text{RH}}^2 \quad (\% \text{RH})$$

¹² Corresponds to $9 - 15^{\circ}\text{F}$

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4

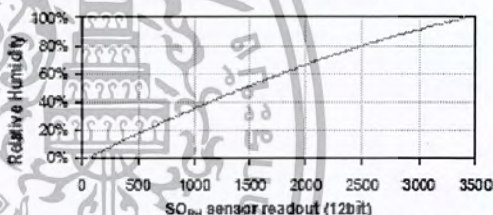
Table 6: Optimized V4 humidity conversion coefficients

The values given in Table 6 are newly introduced and provide optimized accuracy for V4 sensors along the full measurement range. The parameter set c_i^* , which has been proposed in earlier datasheets, which was optimized for V3 sensors, still applies to V4 sensors and is given in Table 7 for reference.

SO_{RH}	c_1^*	c_2^*	c_3^*
12 bit	-4.0000	0.0405	-2.8000E-6
8 bit	-4.0000	0.6480	-7.2000E-4

Table 7: V3 humidity conversion coefficients, which also apply to V4.

For simplified, less computation intense conversion formulas see Application Note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation". Values higher than 99% RH indicate fully saturated air and must be processed and displayed as 100%RH¹³. Please note that the humidity sensor has no significant voltage dependency.

Figure 18: Conversion from SO_{RH} to relative humidity

4.2 Temperature compensation of Humidity Signal

For temperatures significantly different from 25°C ($\sim 77^{\circ}\text{F}$) the humidity signal requires a temperature compensation. The temperature correction corresponds roughly to $0.12\% \text{RH}/^{\circ}\text{C}$ @ 50%RH. Coefficients for the temperature compensation are given in Table 8.

$$\text{RH}_{\text{true}} = (T_{\text{rc}} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot \text{SO}_{\text{RH}}) + \text{RH}_{\text{linear}}$$

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 8: Temperature compensation coefficients¹⁴

¹³ If wetted excessively (strong condensation of water on sensor surface), sensor output signal can drop below 100%RH (even below 0%RH in some cases), but the sensor will recover completely when water droplets evaporate. The sensor is not damaged by water immersion or condensation.

¹⁴ Coefficients apply both to V3 as well as to V4 sensors.

4.3 Temperature

The band-gap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert digital readout (SO_T) to temperature value, with coefficients given in Table 9:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d_1 (°C)	d_1 (°F)	SO_T	d_2 (°C)	d_2 (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

Table 9: Temperature conversion coefficients¹⁵.

4.4 Dew Point

SHT1x is not measuring dew point directly, however dew point can be derived from humidity and temperature readings. Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHT1x allows superb dew point measurements.

For dew point (T_d) calculations there are various formulas to be applied, most of them quite complicated. For the temperature range of -40 - 50°C the following approximation provides good accuracy with parameters given in Table 10:

$$T_d(RH, T) = T_s \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m \cdot \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}}$$

Temperature Range	T_n (°C)	m
Above water, 0 - 50°C	243.12	17.62
Above ice, -40 - 0°C	272.62	22.46

Table 10: Parameters for dew point (T_d) calculation.

Please note that "ln(...)" denotes the natural logarithm. For RH and T the linearized and compensated values for relative humidity and temperature shall be applied.

For more information on dew point calculation see Application Note "Dew point calculation".

5 Environmental Stability

If sensors are qualified for assemblies or devices, please make sure that they experience same conditions as the reference sensor. It should be taken into account that response times in assemblies may be longer, hence enough dwell time for the measurement shall be granted. For detailed information please consult Application Note "Qualification Guide".

The SHT1x sensor series were tested according to AEC-Q100 Rev. F qualification test method. Sensor specifications are tested to prevail under the AEC-Q100 temperature grade 2 test conditions listed in Table 11¹⁶. Sensor performance under other test conditions cannot be guaranteed and is not part of the sensor specifications. Especially, no guarantee can be given for sensor performance in the field or for customer's specific application.

Please contact Sensirion for detailed information.

Environment	Standard	Results ¹⁷
HTSL	125°C, 1000 hours	Within specifications
TC	-50°C - 125°C, 1000 cycles Acc. JESD22-A104-C	Within specifications
UHST	130°C / 85%RH, 96h	Within specifications
THU	85°C / 85%RH, 1000h	Within specifications
ESD immunity	MIL-STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ±2kV)	Qualified
Latch-up	force current of ±100mA with $T_{amb} = 80^\circ\text{C}$, acc. JEDEC 17	Qualified

Table 11: Qualification tests: HTSL = High Temperature Storage Lifetime, TC = Temperature Cycles, UHST = Unbiased Highly accelerated temperature and humidity Test, THU = Temperature humidity unbiased

6 Packaging

6.1 Packaging type

SHT1x are supplied in a surface mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8mm FR4 substrate. The device is fully RoHS and WEEE compliant – it is free of Pb, Cd, Hg, Cr(6+), PBB and PBDE.

¹⁵ Temperature coefficients have slightly been adjusted compared to datasheet SHT1x version 3.0.1. Coefficients apply to V3 as well as V4 sensors.

¹⁶ Sensor operation temperature range is -40 to 105°C according to AEC-Q100 temperature grade 2.

¹⁷ According to accuracy and long term drift specification given on Page 2.

Device size is 7.47 x 4.93 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch), see Figure 1, weight is 100 mg.

6.2 Traceability Information

All SHT1x are marked with an alphanumeric, three digit code on the chip cap (for reference: V3 sensors were labeled with numeric codes) – see “A5Z” on Figure 1. The lot numbers allow full traceability through production, calibration and testing. No information can be derived from the code directly, respective data is stored at Sensirion and is provided upon request.

Labels on the reels are displayed in Figures 19 and 20, they both give traceability information.



Figure 19: First label on reel: XX = Sensor Type (11 for SHT11), 04 = Chip Version (V4), Y = last digit of year, RRRR = number of sensors on reel, TTTT = Traceability Code.

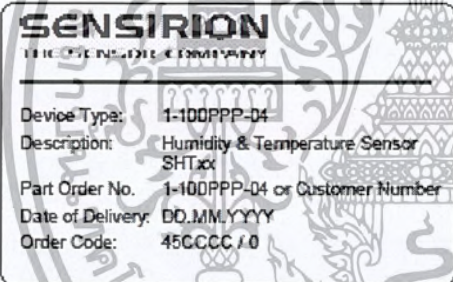


Figure 20: Second label on reel: For Device Type and Part Order Number please refer to Table 12, Delivery Date (also Date Code) is date of packaging of sensors (DD = day, MM = month, YYYY = year), CCCC = Sensirion order number.

6.3 Shipping Package

SHT1x are shipped in 12mm tape at 100pcs, 400pcs and 2000pcs – for details see Figure 21 and Table 12. Reels are individually labeled with barcode and human readable labels.

Sensor Type	Packaging	Quantity	Order Number
SHT10	Tape & Reel	2000	1-100218-04
SHT11	Tape & Reel	100	1-100051-04
	Tape & Reel	400	1-100098-04
	Tape & Reel	2000	1-100524-04
SHT15	Tape & Reel	100	1-100085-04
	Tape & Reel	400	1-100093-04

Table 12: Packaging types per sensor type.

Dimensions of packaging tape is given in Figure 21. All tapes have a minimum of 480mm empty leader tape (first pockets of the tape) and a minimum of 300mm empty trailer tape (last pockets of the tape).

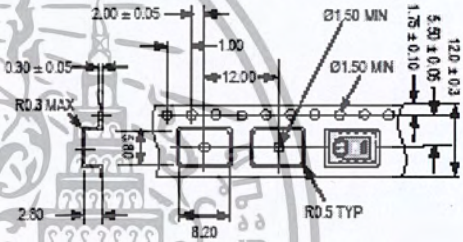


Figure 21: Tape configuration and unit orientation within tape, dimensions in mm (1mm = 0.039inch). The leader tape is at the right side of the figure while the trailer tape is to the left (direction of unreeling).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Revision History

Date	Version	Page(s)	Changes
March 2007	3.0	1 – 10	Data sheet valid for SHTxx-V4 and SHTxx-V3
August 2007	3.01	1 – 10	Electrical characteristics added, measurement time corrected
July 2008	4.0	1 – 10	New release, rework of datasheet

Important Notices

Warning: Personal Injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Do not use this product for applications other than its intended and authorized use. Before installing, handling, using or servicing this product, please consult the data sheet and application notes. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

If the Buyer shall purchase or use SENSIRION products for any unintended or unauthorized application, Buyer shall defend, indemnify and hold harmless SENSIRION and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if SENSIRION shall be allegedly negligent with respect to the design or the manufacture of the product.

ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take customary and statutory ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

Warranty

SENSIRION warrants solely to the original purchaser of this product for a period of 12 months (one year) from the date of delivery that this product shall be of the quality, material and workmanship defined in SENSIRION's published specifications of the product. Within such period, if proven to be defective, SENSIRION shall repair and/or replace this product in SENSIRION's discretion, free of charge to the Buyer, provided that:

- notice in writing describing the defects shall be given to SENSIRION within fourteen (14) days after their appearance;

- such defects shall be found, to SENSIRION's reasonable satisfaction, to have arisen from SENSIRION's faulty design, material, or workmanship;
- the defective product shall be returned to SENSIRION's factory at the Buyer's expense; and
- the warranty period for any repaired or replaced product shall be limited to the unexpired portion of the original period.

This warranty does not apply to any equipment which has not been installed and used within the specifications recommended by SENSIRION for the intended and proper use of the equipment. EXCEPT FOR THE WARRANTIES EXPRESSLY SET FORTH HEREIN, SENSIRION MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, WITH RESPECT TO THE PRODUCT. ANY AND ALL WARRANTIES, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE EXPRESSLY EXCLUDED AND DECLINED.

SENSIRION is only liable for defects of this product arising under the conditions of operation provided for in the data sheet and proper use of the goods. SENSIRION explicitly disclaims all warranties, express or implied, for any period during which the goods are operated or stored not in accordance with the technical specifications.

SENSIRION does not assume any liability arising out of any application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters, including without limitation recommended parameters, must be validated for each customer's applications by customer's technical experts. Recommended parameters can and do vary in different applications.

SENSIRION reserves the right, without further notice, (i) to change the product specifications and/or the information in this document and (ii) to improve reliability, functions and design of this product.

Copyright © 2007, SENSIRION.
 CMOSens® is a trademark of Sensirion.
 All rights reserved.

Headquarter and Sales Offices

Headquarter

SENSIRION AG

Laubenstrasse 50

CH-8712 Stäfa ZH

Switzerland

Phone: +41 (0)44 306 40 00

Fax: +41 (0)44 306 40 30

info@sensirion.com

<http://www.sensirion.com/>

Sales Office USA:

SENSIRION Inc.

2801 Townsquare Rd., Suite 240

Westlake Village, CA 91361

USA

Phone: 805 409 4900

Fax: 805 435 0457

michael.lam@sensirion.com

<http://www.sensirion.com/>

Sales Office Korea:

SENSIRION KOREA Co. Ltd.

#1414, Anyang Construction Tower B/D,

1112-1, Eidan-dong, Anyang-city

Gyeonggi-Province

South Korea

Phone: 031 440 9925~27

Fax: 031 440 9927

info@sensirion.co.kr

<http://www.sensirion.co.kr>

Sales Office Japan:

SENSIRION JAPAN Co. Ltd.

Postal Code: 106-0074

Shinagawa Station Bldg. 7F,

4-23-5, Takahawa, Minato-ku

Tokyo, Japan

Phone: 03 3444 4940

Fax: 03 3444 4939

info@sensirion.co.jp

<http://www.sensirion.co.jp>

Find your local representative at: <http://www.sensirion.com/rep>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้