สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายจุดโดยใช้เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

MULTI-SENSOR TEMPERATURE MEASURING VIA WIRELESS LAN

นายนพดล ฐิติธนดุษฎี

นายวสันต์ เมทนีดล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72651
วัน,เดือน,ปี 21 มิ.ย. 2550

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTI-SENSOR TEMPERATURE MEASURING VIA WIRELESS LAN

NOPPADON THITITHANADUTSADEE

WASAN METHANEEDOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายจุดโดยใช้เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

MULTI-SENSOR TEMPERATURE MEASURING VIA WIRELESS LAN

นักศึกษาผู้จัดทำ นายนพดล **ฐิติธนดุษฎี** รหัสนักศึกษา 46012101

นายวสันต์ เมทนีดล รหัสนักศึกษา 46012125

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.เชื้อ นกอยู่ ผศ.ทรงชัย วีระทวีมาศ	

ภาควิชารับรองแล้ว

(รศ.ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายจุดโดยใช้เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย			
	MULTI-SENSOR TEMPERATURE MEASURING VIA WIRELESS LAN			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายนพดล	ธิติธนดุษฎี	รหัสนักศึกษา	46012101
	นายวสันต์	เมทนีดล	รหัสนักศึกษา	46012125
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.เชื้อ	นกอยู่		
	ผศ.ทรงชัย	วีระทวีมาส		
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

ในการวัดอุณหภูมิระบบหนึ่ง ๆ แม้ว่าบางครั้งจะมีตัวตรวจวัดอุณหภูมินั้น ๆ ในระบบนี้อยู่แล้วก็ตามแต่ระบบนั้น ๆ จะทำงานได้เต็มความสามารถหรือเปล่าก็เป็นอีกเรื่อง เพราะการใช้งานเซนเซอร์นั้นจะมีใช้งานเพียงแค่ตัวเดียวสำหรับระบบหนึ่ง ๆ ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าระบบนั้น ๆ จะทำให้ได้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เป็นเท่าไหร่ ดังนั้นในโครงงานนี้ผู้จัดทำจึงนำเสนอถึงการวัดเพื่อให้ทราบถึงค่าที่แน่นอนตามจุดต่าง ๆ ในระบบแบบปัจจุบัน โดยมีการแสดงผลในแบบกราฟและมีการเก็บข้อมูลทางสถิตินั้น ๆ ไว้ เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาค่าความเป็นไปได้ในการที่จะต้องควบคุมระบบให้เกิดเสถียรภาพสูงสุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Multi-sensor Temperature Measuring Via Wireless Lan
Authors	Mr.Noppadon Thitithanadutsadee
	Mr.Wasan Methaneedol
Thesis Advisor	Asst.Prof. Chuae Nokyoo
	Asst.Prof. Songchai Weerathaweemas
Year	2006

ABSTRACT

In the system temperature measurement although the system have temperature sensor build in as must full working or no working but the other story because using sensor will be use one for the system must can't tell about the system will give temperature value the other point

So this project must present to measurement for know about sure value along the other point in now system. By have display on graph form and take data to statistic for purpose in the analysis search for analysis value for confidence must be control system for full stability continuous.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่ และ รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ตลอดจนได้อุทิศเวลาอันมีค่าเพื่อมาให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและเป็นแรงบัลดาลใจอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำจะตั้งใจทำหน้าที่ของวิศวกรวัดคุมให้ดีที่สุดเพื่อที่จะเป็นการรักษาไว้ซึ่งชื่อเสียงของสถาบันอันทรงเกียรติและอาจารย์ทุกท่าน และหากมีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้และน้อมรับความผิดพลาดด้วยประการทั้งปวง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 1

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย 3

2.1 กล่าวนำ 3

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11 3

2.3 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11 4

2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN 6

2.5 การเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยกลไก CSMA/CA 8

บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 11

3.1 สถิติเบื้องต้น (Simple Statistics) 11

3.2 ความหมายของข้อมูลและตัวอย่าง 11

3.3 การนำเสนอข้อมูลที่เป็นค่าวัด 13

3.3.1 แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง 13

3.3.2 การกระจายของข้อมูล 13

3.3.3 ตำแหน่งของข้อมูล 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การนำเสนอข้อมูลเชิงตารางและแผนภาพแบบตัวแปรเดียว 14

3.4.1 แผนภูมิแท่ง 14

บทที่ 4 องค์ประกอบฮาร์ดแวร์ 17

4.1 กล่าวนำ 17

4.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 17

4.2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของบอร์ด 18

4.2.2 การตั้งค่าการทำงานสถานะของบอร์ด 19

4.2.3 การจัดสรร I/O ของบอร์ด 20

4.3 หลักการการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 22

4.4 การติดต่อพอร์ตอนุกรม 23

4.5 การทำงานของ DB9 26

4.6 อุปกรณ์ไวร์เลสแลนและการติดตั้ง 27

บทที่ 5 ซอฟท์แวร์การแสดงค่าและประมวลผล 28

5.1 กล่าวนำ 28

5.2 การรับค่าข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 29

5.3 การออกแบบโปรแกรม 31

5.4 การตั้งค่าการเขียนโปรแกรมใช้งานพอร์ตอนุกรมใน Visual Basic 33

5.5 รายละเอียดการทำงานของโปรแกรม 34

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง 39

บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 53

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 แสดงคุณสมบัติของ SMT160 23
5.1 แสดงถึงแผนการดำเนินงานในการเขียนโปรแกรม 28
5.2 แสดงถึงลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน 28
5.3 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิปัจจุบันของเซนเซอร์ 1 ตัว 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 ภาพแสดงแผนการดำเนินงาน 2

2.1 แสดง BSS และESS 7

2.2 แสดงการทำงานในโหมด Adhoc หรือ Peer-to-Peer Mode 8

2.3 แสดงHidden Node Problem และ กลไก RTS/CTS Handshake 10

4.1 แสดงรูปแบบไมโครคอนโทรเลอร์ T89C51AC2 แบบ PLCC44 17

4.2 แสดงวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ T89C51AC2 18

4.3 แสดงภาพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มี 3 pin 22

4.4 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดทดลอง 23

4.5 รูปแบบสัญญาณการทำงานของการสื่อสารแบบซิงโครนัส 24

4.6 รูปแบบการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส 24

4.7 สายเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมระหว่างการติดต่อสื่อสารของคอมพิวเตอร์ กับ บอร์ด 25

4.8 ลักษณะของคอนเน็กเตอร์แบบ D-Type 25

4.9 แสดงภาพของ Access Point รุ่น WAG200G 27

5.1 แสดงภาพเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Hyper Terminal 29

5.2 ภาพแสดงการเลือกพอร์ตการติดต่อใช้งาน 30

5.3 การกำหนดค่าในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม 30

5.4 ภาพแสดงผลอุณหภูมิผ่านทางพอร์ตอนุกรมทั้ง 6 ค่า 31

5.5 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม 32

5.6 เริ่มต้นเลือก Standard EXE ใน Visual Basic 6 33

5.7 คอนโทรลที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม 33

5.8 กำหนดคุณสมบัติของ MSComm 33

5.9 ภาพโปรแกรม Login การเข้าใช้งานเป็นแบบผู้ใช้งานคนเดียว 34

5.10 ภาพโปรแกรมจำลองการติดตั้งเซนเซอร์ภายในห้องและแสดงค่าอุณหภูมิ 35

5.11 ภาพโปรแกรมการเก็บค่าข้อมูลต่าง ๆ และประมวลผลค่าทางสถิติ 35

5.12 ภาพโปรแกรมแสดงอุณหภูมิเป็นแบบกราฟและบันทึกค่าลงในฐานข้อมูล 36

5.13 ภาพโปรแกรมแสดงกราฟฮีสโตแกรมตามค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้งาน 36

6.1 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 1 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 41

6.2 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 2 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

6.3 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 3 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 43
6.4 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 4 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 44
6.5 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 5 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 45
6.6 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 6 กับ เทอร์โมมิเตอร์ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันแม้แต่ละระบบจะมีการวัดอุณหภูมิเป็นเซนเซอร์ประจำระบบอยู่แล้วก็ตาม แต่ก็เป็นการวัดเฉพาะที่ของระบบไม่ได้กระจายไปอย่างทั่วถึงทั้งระบบที่ติดตาม ทำให้ระบบที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้มีการทดลองหาค่าตามจุดต่าง ๆ ของระบบเพื่อให้ทราบถึงระบบทั้งระบบว่ามีพฤติกรรมเป็นเช่นไร โดยมีการติดตามดูค่าแบบปัจจุบัน และนำค่าที่ได้มาเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อที่จะสามารถอ้างอิงเป็นสถิติ และวิเคราะห์หาสาเหตุและหาความเป็นไปได้ในการควบคุมอุณหภูมิที่ดีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มุ่งเน้นถึงการศึกษาการทำงานของเซนเซอร์เพราะเซนเซอร์ถือเป็นส่วนประกอบสำคัญในการวัดค่าอุณหภูมิ โดยมุ่งเน้นที่ความเข้าใจในตัวเซนเซอร์เบอร์ SMT160 และสามารถสร้างซอฟท์แวร์ติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และภายในซอฟท์แวร์จะมีการเก็บค่าข้อมูลและทำการประมวลผลทางสถิติ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้เทคโนโลยีไวร์เลสแลนเข้ามาช่วยในการติดตามผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

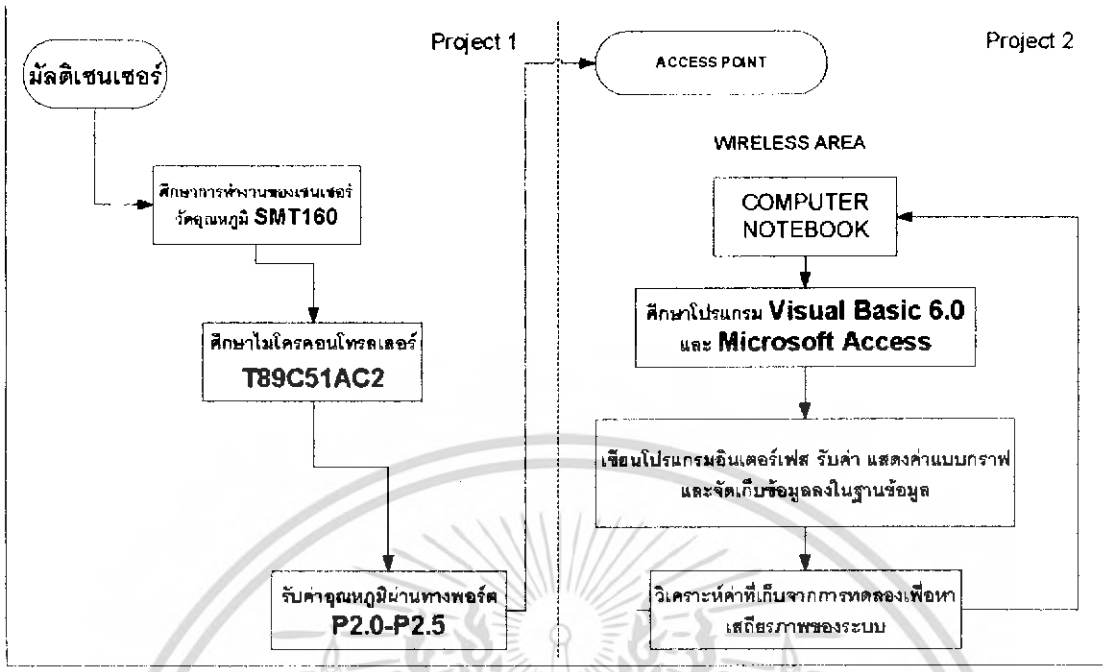
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นการศึกษา และพัฒนาการวัดค่าอุณหภูมิแบบใช้เซนเซอร์หลายจุดและนำค่าที่ได้มาทำเป็นฐานข้อมูล และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางโปรแกรมหาเสถียรภาพของระบบโดยมีการติดตามผลที่เกิดขึ้นแบบปัจจุบัน เพื่อจะได้ทราบถึงความเป็นไปและการเปลี่ยนแปลงของระบบ นอกจากนี้ยังได้ทำซอฟท์แวร์เพื่อใช้ในการช่วยวิเคราะห์ระบบและใช้เทคโนโลยีไวร์เลสแลนเข้ามาช่วยในการติดตามระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อที่จะสามารถนำค่าไปทำการควบคุมระบบต่อไป

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงงานวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาดังแผนการทำงานดังภาพที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 ภาพแสดงแผนการดำเนินงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างระบบการติดตามผลแบบเซนเซอร์หลายจุด และ นำค่าที่ได้มาเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลและนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติของระบบนั้น ๆ นอกจากนี้ยังทำการจำลองสถานการณ์ผ่านทางซอฟท์แวร์ ด้วยเทคโนโลยีไวร์เลสแลน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่าย LAN แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากประโยชน์ของ WLAN มีอยู่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง WLAN สร้างความสะดวกและอิสระในการใช้งาน และติดตั้งเครือข่ายเทคโนโลยี WLAN ทำให้การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านเรือนหรือสำนักงานเข้าด้วยกัน หรืออาจต่อเข้ากับเครือข่ายโดยไม่จำเป็นจะต้องใช้สายนำสัญญาณให้ยุ่งยากและดูเกะกะอีกต่อไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกัน หรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณได้อย่างอิสระ และเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านสื่อไร้สายที่รู้จักกันมีอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น Bluetooth , IEEE 802.11 , IrDA , HiperLAN , HomeRF และ GPRS เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับ WLAN คือ เทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN มีราคาไม่แพงนักและถูกลงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีสมรรถนะในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างสูงง่ายต่อการติดตั้งและการใช้งาน IEEE 802.11 WLAN ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ และมีแนวโน้มว่าในอนาคตอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ จะมีอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ติดตั้งมาจากโรงงาน

แต่อย่างไรก็ตามความง่ายและสะดวกต่อการติดตั้ง และใช้งานของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ก็นำมาซึ่งความไม่ปลอดภัยของเครือข่ายด้วยเช่นกัน อีกทั้งเทคโนโลยี IEEE 802.11 WLAN อยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น (ยังไม่ถึงจุดสมบูรณ์และอิ่มตัว) ทำให้ยังมีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยอีกมาก ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้ IEEE 802.11 WLAN ควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและตระหนักถึงช่องโหวต่าง ๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสมด้วย ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11 รวมถึงช่องโหว่และการรักษาความปลอดภัยสำหรับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปีพ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5, 11และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่สาธารณะ 2.4 และ 5 GHz, และ อินฟราเรด(Infrared) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 และได้มีการกำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Aceess/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ และนอกจากนี้แล้วในมาตรฐาน IEEE 802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

2.3 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่อ อินฟราเรด (Infrared) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11c, IEEE 802.11g,และ IEEE 802.11i

IEEE 802.11b

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผนวกกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz (เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย, และเตาไมโครเวฟ) ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้ และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่น ๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

IEEE 802.11a

คณะทำงานชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้น (ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก

IEEE 802.11g

คณะทำงานชุด IEEE 802.11g ได้ใช้นำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (backward-compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด ตามแผนการแล้วมาตรฐาน IEEE 802.11g จะได้รับการตีพิมพ์ประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2546

IEEE 802.11e

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุงMAC Layerของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับ application เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะทำงานชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้

IEEE 802.11i

คณะทำงานชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะทำงานชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอ และการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้ แต่อย่างไรก็ตามการทำงานของคณะทำงานชุดนี้ยังไม่แล้วเสร็จในขณะนี้

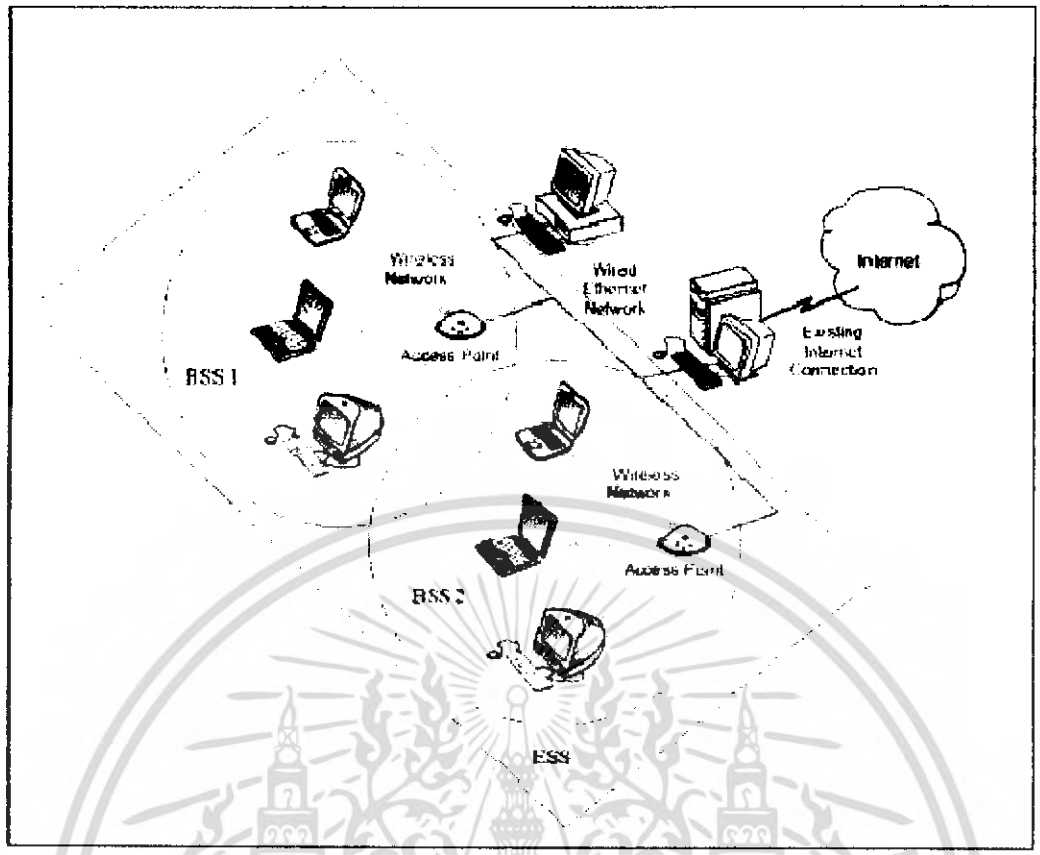
2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN

มาตรฐาน IEEE802.11 ได้กำหนดลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ไว้ 2 ลักษณะคือโหมด Infrastructure และโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

1. โหมด Infrastructure

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ในโหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop,หรือ PDA ต่าง ๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น (ซึ่งโดยปกติจะเป็นเครือข่าย IEEE 802.3 Ethernet LAN) การทำงานในโหมด Infrastructure มีพื้นฐานมาจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อ (forward) ข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 แสดง BSS และESS

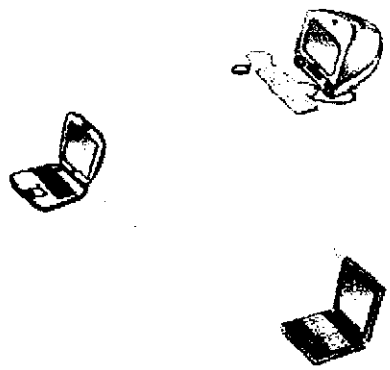
Basic Service Set (BSS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้ภายในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายดังกล่าวเท่านั้น **Extended Service Set (ESS)**

Extended Service Set (ESS) หมายถึงบริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่ประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้โดย BSS เหล่านี้จะทำการ Roaming หรือติดต่อสื่อสารกันเพื่อทำการโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้ดังกล่าว

2. โหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer

เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc หรือ Peer-to-Peer เป็นเครือข่ายที่ปิด คือไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น บริเวณของเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมด Ad-Hoc จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่น ๆ ในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงการทำงานในโหมด Adhoc หรือ Peer-to-Peer Mode

2.5 การเข้าใช้ช่องสัญญาณด้วยกลไก CSMA/CA

บทบาทหนึ่งของ MAC Layer ในมาตรฐาน IEEE 802.11 คือการจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณซึ่งแต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS จะต้องแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดมาสำหรับใช้งานร่วมกันอย่างเป็นธรรม มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้ใช้กลไก CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) เพื่อจัดสรรการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันดังกล่าว

CSMA with Random Back-Off

กลไก CSMA (Carrier Sense Multiple Access) with Random Back-Off เป็นเทคนิคอย่างง่ายสำหรับจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคน (ซึ่งต้องแบ่งกันใช้ช่องสัญญาณร่วมนี้) อย่างยุติธรรม กลไกนี้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN หลักการทำงานของกลไก CSMA คือ เมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณสถานีดังกล่าว จะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่นทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่และรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างแล้วสถานีที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะต้องรอต่อไปอีกระยะหนึ่ง (Random Back-Off) ซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าหลังจากเสร็จการใช้ช่องสัญญาณครั้งก่อน สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อน แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีกลไกดังกล่าวอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลในเวลาพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณได้ ซึ่งหากเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้นจะต้องมีการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมซ้ำอีกครั้งด้วยกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

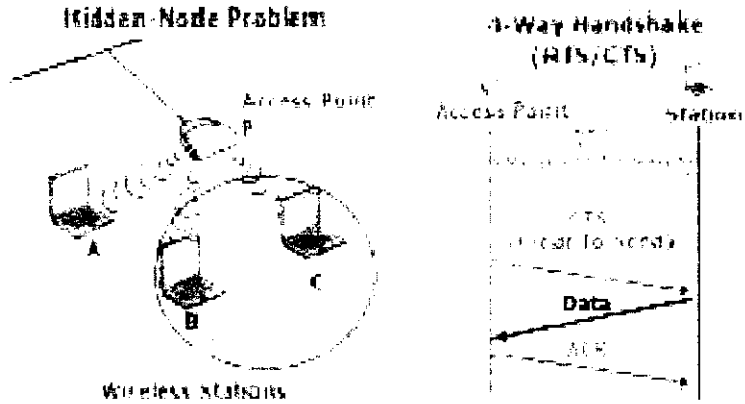
CSMA/CD

กลไก CSMA/CD (Collision Detection) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันดีซึ่งถูกนำมาใช้ในมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet LAN ซึ่งการทำงานกลไก CSMA/CD โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-Off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตรวจสอบว่าเกิดการชนกันของสัญญาณหรือไม่ ในกรณีนี้สถานีที่กำลังทำการส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องคอยตรวจสอบด้วยว่ามีการชนกันของสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่ (ในขณะเดียวกันกับที่ทำการส่งสัญญาณข้อมูล) โดยการตรวจวัดระดับ voltage ของสัญญาณในสายสัญญาณว่ามีค่าสูงกว่าปกติหรือไม่ ซึ่งหากระดับ voltage ของสัญญาณในสายสัญญาณในสายสัญญาณมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดแสดงว่าเกิดการชนกันของสัญญาณขึ้น ในกรณีดังกล่าวสถานีที่กำลังส่งสัญญาณข้อมูลอยู่จะต้องยกเลิกการส่งสัญญาณทันทีและปฏิบัติตามกลไกที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพื่อทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป

CSMA/CA with Acknowledgement

เป็นที่ควรสังเกตว่าเทคนิค CSMA/CD ไม่สามารถนำมาใช้กับ WLAN ซึ่งใช้การสื่อสารแบบไร้สายได้ สาเหตุหลัก ๆ ก็คือการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณจะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็น Full Duplex (สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้) ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นทุกสถานี หรือปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node Problem (ดังในรูปที่ 3: สถานี A ได้ยินสัญญาณจากสถานีแม่ข่าย (Access Point) แต่ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี C และในทางกลับกันสถานี C ไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานี A แต่ได้ยินสัญญาณจากสถานีแม่ข่าย ซึ่งสถานการณ์ดังกล่าวนี้เป็นสถานการณ์เกิดขึ้นใน WLAN โดยทั่วไป) ดังนั้นการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณโดยตรงเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปไม่ได้เลย มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้กำหนดให้ใช้เทคนิค CSMA/CA with Acknowledgement สำหรับการจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานีเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ซึ่งการทำงานของกลไก CSMA/CA โดยหลักแล้วเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในส่วนของ CSMA with Random Back-Off แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณและเทคนิคสำหรับการตรวจสอบว่าเกิดการชนของสัญญาณหรือไม่แบบเป็นนัย โดยสถานีผู้ส่งสัญญาณข้อมูลจะต้องรอรับ Acknowledgement จากสถานีที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ Acknowledgement กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนของสัญญาณขึ้น และต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 แสดงHidden Node Problem และ กลไก RTS/CTS Handshake

สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้น มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาที่แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นบางสถานี (Hidden Node Problem) กลไกดังกล่าวมีการทำงานดังนี้ เมื่อสถานีที่ต้องการจะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้ว จะทำการส่งแพ็กเก็ตสั้น ๆ ที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจริง ซึ่งแพ็กเก็ต RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึงAddressของสถานีผู้ส่งและผู้รับ เมื่อสถานีผู้รับได้ยินสัญญาณ RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งสัญญาณ CTS (Clear To Send) ซึ่งจะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าสถานีที่กำลังจะทำการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุก ๆ สถานีใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้ยินสัญญาณ RTS หรือไม่ก็ CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS ทุก ๆ สถานีจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่ระบุไว้ใน Duration ID ซึ่งช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกสถานีที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ทุก ๆ สถานีจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริง ๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การรวบรวมสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 สถิติเบื้องต้น (Simple Statistics)

สถิติ(Statistics) คือ ศาสตร์ของการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผลจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากตัวอย่าง (Sample) ที่ใช้เสมือนเป็นตัวแทนของประชากร (Population) โดยคำนึงถึงความแปรปรวน (Variance) ของข้อมูลด้วย โดยสถิติสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ สถิติเชิงวิศวกรรม (Engineering Statistics) เป็นเครื่องมือสำหรับวิศวกรในการแก้ปัญหาที่ไม่สามารถใช้ทฤษฎีและหลักการที่มีอยู่ในตำราได้ การศึกษาสถิติทำได้ 2 วิธีขึ้นอยู่กับบทบาทของผู้ศึกษา คือ การศึกษาโดยการสังเกต (Observational Study) และการศึกษาโดยการทดลอง(Experimental Study) การศึกษาโดยการสังเกต คือ การเก็บข้อมูลจากกระบวนการ (Process) ที่ต้องการศึกษาสถิติยังสามารถแบ่งตามจุดมุ่งหมายของการศึกษาได้เป็น 2 ประเภท คือ การศึกษาเพื่อการอธิบาย (Enumerative Study)และการศึกษาเพื่อการวิเคราะห์ (Analytical Study) การศึกษาเพื่อการอธิบาย คือ การศึกษาที่มีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการศึกษาอย่างชัดเจน บทวิเคราะห์และผลสรุปสามารถใช้ได้กับกลุ่มเป้าหมายเท่านั้น จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับกลุ่มอื่น ๆ การศึกษาเพื่อการวิเคราะห์ คือ การศึกษาเพื่อนำบทวิเคราะห์และผลสรุปไปประยุกต์ใช้ในโอกาสต่อไปหรือประยุกต์ใช้กับกลุ่มอื่น ๆ ที่ต้องการศึกษา โดยจะต้องมีคุณสมบัติและเงื่อนไขที่เหมือนกัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้ความรู้ทางด้านสถิติ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่พบได้ทั่วไปในวงการอุตสาหกรรม เช่น น้ำหนักของสินค้า จำนวนของเสียที่พบ ปริมาณสินค้าที่ผลิตได้ต่อวัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงาน เป็นต้น ความรู้ทางสถิติจะช่วยให้การนำเสนอข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปได้อย่างถูกต้อง และน่าสนใจยิ่งขึ้น ถ้าปราศจากความรู้ทางสถิติข้อมูลเหล่านี้ก็ไม่มีความหมายอะไร

3.2 ความหมายของข้อมูลและตัวอย่าง

ข้อมูล (Data) หมายถึง สิ่งที่รวบรวมไว้ซึ่งข้อเท็จจริง (Fact) และถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในวิธีการทางสถิติ สำหรับในสถิติเชิงพรรณนานั้นข้อมูลอาจจะได้มาจากการวัดหรือการนับสมาชิกของประชากรโดยตรง หรือได้มาจากสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่ได้มาจากการชักสิ่งตัวอย่าง (Sampling) จากประชากรก็ได้ แต่สำหรับในสถิติเชิงอนุมานแล้ว ข้อมูลจะต้องได้มาจากการวัดหรือการนับสมาชิกของตัวอย่างเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง (Sample) หมายถึง กลุ่มย่อยหรือสับเซตของประชากร การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) คือการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างที่ใช้เสมือนเป็นตัวแทนของประชากร เนื่องจากการเก็บข้อมูลจากสมาชิกทั้งหมดของประชากรในบางครั้งไม่สามารถทำได้ด้วยสาเหตุต่าง ๆ เช่น ประชากรมีขนาดใหญ่ทำให้การเก็บตัวอย่างต้องใช้เวลามาก เสียค่าใช้จ่ายสูง หรือในบางกรณีการเก็บตัวอย่างเป็นการเก็บตัวอย่างเชิงทำลาย จึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างจากสมาชิกทั้งหมดได้ ข้อมูลที่เก็บได้จากการสุ่มตัวอย่าง คือ เซตของค่าสังเกต ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของตัวเลขจำนวนมากมายที่มีค่าต่าง ๆ กันไป อันเนื่องมาจากความแปรปรวน ตัวเลขเหล่านี้ยากต่อการอธิบายหรือซับซ้อนเกินกว่าจะเข้าใจ การดูข้อมูลเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบ นอกจากนี้ สิ่งที่เราสนใจไม่ใช่ค่าของข้อมูลแต่ละค่า แต่เป็นรูปแบบการกระจายหรือการแจงแจงของข้อมูลทั้งหมดจึงได้มีการนำเอาเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพ (Quality Analysis Tools) ในรูปแบบของตารางและกราฟต่าง ๆ เพื่อใช้ในการนำเสนอข้อมูลแทนชุดของตัวเลข ทำให้การบ่งชี้ปัญหา การกำหนดลำดับความสำคัญของปัญหา การวิเคราะห์ปัญหาการแก้ปัญหา และการเฝ้าติดตามผลทำได้ง่ายขึ้น การนำเสนอข้อมูลสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การนำเสนอข้อมูลเชิงตัวเลข
2. การนำเสนอข้อมูลเชิงตารางและแผนภาพ

การนำเสนอข้อมูลเชิงตัวเลข

การนำเสนอข้อมูลเชิงตัวเลข สามารถแบ่งตามประเภทของข้อมูลได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

- ข้อมูลที่เป็นค่าวัด (Measured or Continuous Data) คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าของคุณลักษณะที่สนใจ

- ข้อมูลที่เป็นค่าแจงนับ (Countable or Discrete Data) คือ ข้อมูลที่ได้จากการนับจำนวนในตัวอย่างที่มีคุณลักษณะตรงกับที่สนใจ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นของเสีย

การนำเสนอข้อมูลเชิงตารางและแผนภาพ

การนำเสนอข้อมูลเชิงตารางและแผนภาพ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามจำนวนของตัวแปรที่สนใจ ดังนี้

- แบบตัวแปรเดียว (Univariate) เหมาะสำหรับกรณีที่ตัวแปรที่ต้องการศึกษามีเพียงตัวเดียว

- แบบหลายตัวแปร (Multivariate) เหมาะสำหรับกรณีที่ตัวแปรที่ต้องการศึกษามีมากกว่า 1 ตัวและความสัมพันธ์ของตัวแปรมีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การนำเสนอข้อมูลที่เป็นค่าวัด

ข้อมูลที่เป็นค่าวัด คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าของคุณลักษณะที่สนใจ การนำเสนอข้อมูลที่เป็นค่าวัดมีดังนี้

- แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง
- การกระจายของข้อมูล
- ตำแหน่งของข้อมูล

3.3.1 แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง

แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง สามารถนำเสนอได้ 3 ลักษณะคือ

- ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample Average , $\overline{X}$) เป็นค่ากึ่งกลางของค่าสังเกตทั้งหมดโดยหาได้จากผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมดหารด้วยขนาดตัวอย่าง (Sample Size) กำหนดให้ n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดหรือขนาดตัวอย่าง x_i เป็นค่าสังเกตที่ i ค่าเฉลี่ยตัวอย่างสามารถหาได้จาก

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n}$$

- ค่าฐานนิยม (Mode,MOD) เป็นค่าสังเกตที่มีความถี่สูงสุดจากข้อมูลทั้งหมด
- ค่ามัธยฐาน (Median,MED) เป็นค่าสังเกตที่อยู่กลางของข้อมูลทั้งหมดที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามากหรือจากมากไปหาน้อย นั่นคือ 50% ของข้อมูลทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่ามัธยฐานและอีก 50% น้อยกว่าค่ามัธยฐาน

3.3.2 การกระจายของข้อมูล

การกระจายของข้อมูล สามารถนำเสนอได้ 3 ลักษณะคือ

- พิสัย (Range,R) เป็นค่าแตกต่างระหว่างค่าสังเกตสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ กำหนดให้ เป็นค่าสังเกตสูงสุดและ เป็นค่าสังเกตต่ำสุด พิสัยสามารถหาได้จาก $x_{max} - x_{min}$

$$Range = X_{\max} - X_{\min}$$

- ความแปรปรวนตัวอย่าง (Sample Variance, S^2) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลในตัวอย่างรอบ ๆ ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง โดยสามารถหาได้จากผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างค่าสังเกตแต่ละค่าในตัวอย่างกับค่าเฉลี่ยตัวอย่างหารด้วยขนาดตัวอย่างลบหนึ่ง ความแปรปรวนตัวอย่างยิ่งมาก การกระจายของข้อมูลในตัวอย่างก็ยิ่งมาก กำหนดให้ n เป็นจำนวนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดหรือขนาดตัวอย่าง x_i เป็นค่าสังเกตที่ i ความแปรปรวนตัวอย่างสามารถหาได้จาก

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง (S) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลในตัวอย่าง สามารถหาได้จากรากที่สองของความแปรปรวนตัวอย่าง ดังนั้น หน่วยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างจึงเป็นหน่วยเดียวกันกับหน่วยของข้อมูล กำหนดให้ n เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดหรือขนาดตัวอย่าง x_i เป็นค่าสังเกตที่ i ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่างสามารถหาได้จาก

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

3.3.3 ตำแหน่งของข้อมูล

ตำแหน่งของข้อมูลที่นิยมใช้กัน คือ เปอร์เซ็นไทล์ (Percentile) และ ควอไทล์ (Quartile) ซึ่งเป็นตำแหน่งของข้อมูลเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับข้อมูลทั้งหมดที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กำหนดให้เป็นข้อมูลจำนวน n ค่าที่เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก $x_1 \le x_2 \le \ldots \le x_n$

เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p คือ ค่าสังเกตที่ตำแหน่ง p*n+0.5

โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ควอไทล์ที่ 2 หรือ Q2 ซึ่งก็คือค่ามัธยฐานนั่นเอง สำหรับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 สามารถแทนด้วยควอไทล์ที่ 1 หรือ Q1และควอไทล์ที่ 3 หรือ Q3 ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าแตกต่างระหว่าง Q3 และ Q1(Q3-Q1) หรือที่เรียกว่า Interquartile Range (IQR) ยังสามารถใช้เป็นตัววัดการกระจายของข้อมูลได้อีกด้วย

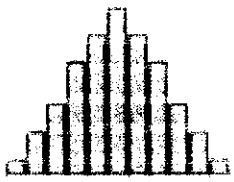
3.4 การนำเสนอข้อมูลเชิงตารางและแผนภาพแบบตัวแปรเดียว

3.4.1 แผนภูมิแท่ง (Histogram)

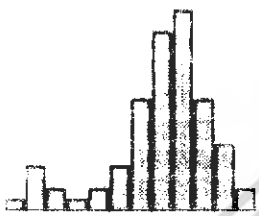
แผนภูมิแท่ง คือ การนำเสนอข้อมูลที่ได้จากการแจกแจงความถี่ในรูปกราฟ โดยความสูงของแท่งแต่ละแท่งเท่ากับจำนวนค่าสังเกต หรือความถี่ในแต่ละช่วงจะใช้ในกรณีที่มีจำนวนข้อมูลมาก ข้อเสียของแผนภูมิแท่ง คือ ไม่สามารถแสดงความถี่ของค่าสังเกตแต่ละค่าได้เนื่องจากความถี่ที่ได้เป็นความถี่ของค่าสังเกตในแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

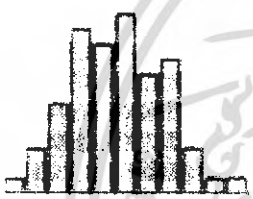
รูปร่างต่าง ๆ ของแผนภูมิแท่งมีรายละเอียดดังนี้



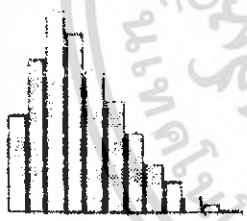
กราฟรูประฆังคว่ำ เป็นรูปทรงที่พบได้มากที่สุด โดยมีลักษณะสมมาตรทั้งซ้ายและขวา ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางจะอยู่ที่กึ่งกลางพิสัยของข้อมูล



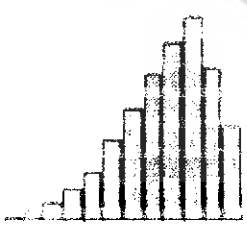
รูปทรงหลายยอดนอกเหนือจากยอดใหญ่แล้วจะมีอิสระอีกยอดทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของแผนภูมิแท่งมักเกิดจากการเก็บข้อมูลจากหลายจุดหรือหลายแท่งหรือในเวลาที่ต่างกัน



รูปทรงไม่เรียบมักเกิดจากการปัดเศษค่าของข้อมูล หรือการแบ่งช่วงของข้อมูลไม่เท่ากัน

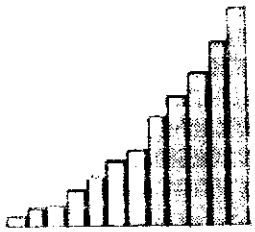


ลักษณะเบ้ขวา จากรูปจะพบว่า ค่าเฉลี่ยของแผนภูมิแท่งไม่อยู่กึ่งกลางพิสัยของข้อมูลแต่จะอยู่ไปทางซ้าย มักจะเกิดจากการกำหนดขีดจำกัดควบคุมล่าง ทำให้ข้อมูลที่มีค่าต่ำไม่ได้ถูกบันทึก ผลก็คือ ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มเข้าใกล้ขีดจำกัดควบคุมล่างมากกว่า

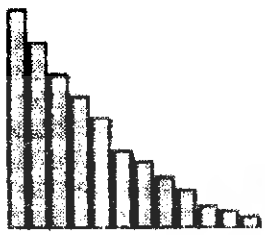


ลักษณะเบ้ซ้าย จากรูปจะพบว่า ค่าเฉลี่ยของแผนภูมิแท่งไม่อยู่ที่กพิสัยของข้อมูลแต่จะอยู่ไปทางขวา มักจะเกิดจากการกำหนดขีดจำกัดควบคุมบนทำให้ข้อมูลที่มีค่าสูงไม่ได้ถูกบันทึก ผลก็คือ ค่าเฉลี่ยมแนวโน้มเข้าใกล้ขีดจำกัดควบคุมบนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ลักษณะทรุนเคทขวา เกิดจากการสุ่มตัวอย่างแบบ 100% เฉพาะชิ้นงานที่ค่าของคุณลักษณะเข้าใกล้ขีดจำกัดควบคุมบน อาจเนื่องจากกระบวนการผลิตมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงหรือสูงกว่าขีดจำกัดควบคุมบน



ลักษณะทรุนเคทซ้าย เกิดจากการสุ่มตัวอย่างแบบ 100% เฉพาะชิ้นงานที่ค่าของคุณลักษณะเข้าใกล้ขีดจำกัดควบคุมล่าง อาจเนื่องจากกระบวนการผลิตมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงหรือต่ำกว่าขีดจำกัดควบคุมล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

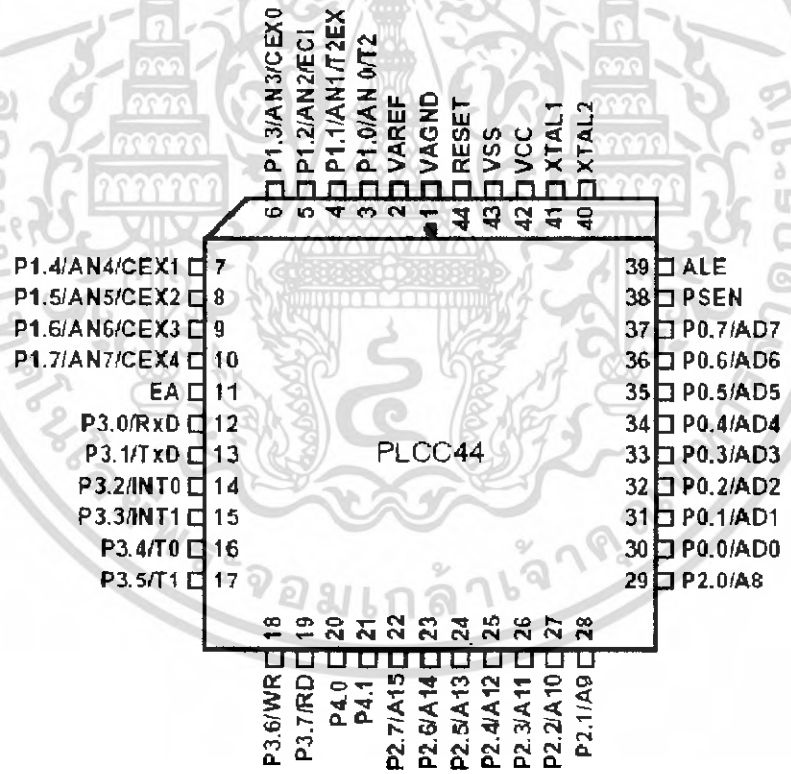
บทที่ 4
องค์ประกอบฮาร์ดแวร์

4.1 กล่าวนำ

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นบอร์ดอเนกประสงค์ที่มีการประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท Atmel เบอร์ T89C51AC2 ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ที่ภาคผนวก

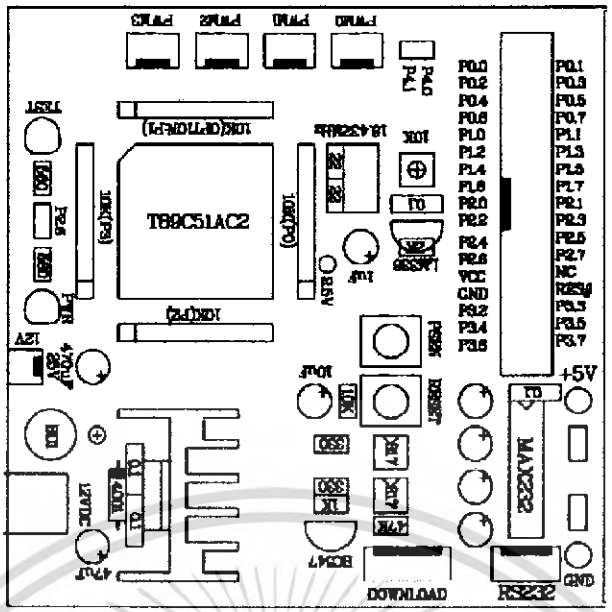
4.2 การทำงานและส่วนประกอบต่าง ๆ ของบอร์ดทดลอง

ในการศึกษานั้นเริ่มจากการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์โดยได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทATMEL เบอร์ T89C51AC2 แบบ PLCC44 ซึ่งมีรูปแบบดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงรูปแบบไมโครคอนโทรเลอร์ T89C51AC2 แบบ PLCC44

72651
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 แสดงวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ T89C51AC2

4.2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของบอร์ด

- แหล่งจ่ายไฟ (POWER SUPPLY)

สำหรับแหล่งจ่ายไฟของบอร์ดนั้น จะสามารถต่อใช้งานได้ทั้งกับไฟกระแสตรง และกระแสสลับเนื่องจากในบอร์ดได้มีวงจร RECTIFIER แบบ BRIDGE พร้อมวงจรFILTERและ REGULATOR ขนาด +5V ไว้ให้อย่างครบถ้วนอยู่แล้ว โดยสามารถป้อนแรงดันไฟตรงหรือไฟสลับที่มีระดับแรงดันประมาณ 9-12V ให้กับบอร์ด โดยสามารถเลือกต่อกับขั้ว CONNECTOR แบบ CPA ขนาด 2 ขา หรือจะต่อผ่านขั้ว CONNECTOR สำหรับ ADAPTER จ่ายไฟก็ได้เช่นกัน โดยการทำงานของแหล่งจ่ายไฟจะมีหลอดแสดงผล LED “PWR” สำหรับแสดงผลการทำงานให้ทราบด้วย

- สัญญาณนาฬิกา (CLOCK)

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่จะป้อนให้กับ CPU เบอร์ T89C51AC2 นั้น ตามปรกติทั่ว ๆ ไปแล้วจะสามารถป้อนค่าความถี่ของ Crystal ได้มากถึง 40MHz ในกรณีที่จะโปรแกรมโหมดการทำงานของ CPU ให้ทำงานใน Standard Mode (12 Clock / 1 Machine Cycle) แต่ในกรณีที่โปรแกรมโหมดการทำงานของ CPUใน X2 Mode (6 Clock / 1 Machine Cycle) จะสามารถใช้ค่าความถี่สูงสุดได้ 20 MHz ซึ่งเทียบเท่ากับความเร็ว 40 MHz ใน Standard Mode แต่สำหรับบอร์ดนี้นั้นจะกำหนดให้ใช้ค่าความถี่ของ Crystal ที่ป้อนให้กับ CPU ด้วยค่าความถี่ Crystal เป็น 18.432MHz เพื่อให้การใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมสามารถหารค่า Baudrate ได้ลงตัวตามมาตรฐานของการสื่อสารอนุกรมทั่ว ๆ ไป ซึ่งค่าความเร็วการทำงานของ CPU ในบอร์ดจะอ้างอิงการทำงานจากความถี่ 18.432 MHz นี้เป็นหลักแต่อย่างไรก็ตามค่าความเร็วในการปฏิบัติงานของ CPUสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับเปลี่ยนได้จากโปรแกรมเพื่อให้การทำงานเร็วขึ้นเป็น 2 เท่า โดยกำหนดให้การทำงานของ CPU ทำงานใน X2 Mode ซึ่งจะเปรียบเทียบได้กับการทำงานด้วยความเร็วเท่ากับความถี่ 36.864MHz ใน Standard Mode โดยคุณสมบัติการทำงานของสัญญาณนาฬิกามีดังนี้

- กำหนดให้ CPU ทำงานใน Standard Mode หรือ 12 Clock / 1 Machine Cycle ซึ่งคุณสมบัตินี้จะเหมือนกับ CPU ในตระกูล MCS51 มาตรฐานทั่ว ๆ ไป

- กำหนดให้ CPU ทำงานใน X2 Mode หรือ 6 Clock / 1 Machine Cycle ซึ่งจะทำให้การทำงานของ CPU เร็วกว่า CPU ในตระกูล MCS51 มาตรฐานทั่ว ๆ ไปถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความถี่ของ Crystal ด้วยค่าความถี่เดียวกัน

สำหรับการกำหนดโหมดการทำงานของสัญญาณนาฬิกาของ CPU นั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธี ด้วยกันคือ การกำหนดจากบิต X2 (บิต0) ของรีจิสเตอร์ CKCON ในคำสั่งของโปรแกรมที่สร้างขึ้น หรืออีกวิธีหนึ่งคือการกำหนดจาก Fuse Bit X2 จากขั้นตอนของการ Download โปรแกรมให้กับ CPU ใน Monitor Mode โดยสามารถสั่งเลือกเครื่องหมายถูก (✓) หน้าบิต X2 ของโปรแกรม FLIP ซึ่งใช้สำหรับ Download โปรแกรมให้กับCPU ใน Monitor Mode แล้วสั่ง Set Special Byte ซึ่งเมื่อสั่งเลือกบิต X2 ในโปรแกรม FLIP ไปแล้ว หลังจากรีเซ็ตทุกครั้งจะทำให้ CPU เริ่มต้นทำงานแบบ X2 Mode (6 Clock) แต่ถ้าไม่เลือกกำหนดบิต X2 ในโปรแกรม FLIP ไว้ หลังการรีเซ็ตทุกครั้งจะทำให้ CPUเริ่มต้นทำงานใน Standard Mode (12 Clock) แทน

4.2.2 การตั้งค่าการทำงานสถานะของบอร์ด

การตั้งค่าการทำงานสถานะของบอร์ดมี 2 สถานะการทำงานดังนี้

1. การทำงานใน MONITOR MODE

ในโหมดนี้จะใช้สำหรับในกรณีที่ต้องการพัฒนาโปรแกรมของบอร์ด หรือการ Download โปรแกรมแบบ HEX File จากเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ให้กับหน่วยความจำโปรแกรมของ CPU ซึ่งตามปรกติแล้วจะต้องใช้ร่วมกับโปรแกรม FLIP (Flexible In-system Programmer) ของ ATMEL โดยใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ PC กับ CPU เบอร์ T89C51AC2 ในบอร์ดด้วยพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ซึ่งในโหมดนี้ผู้ใช้สามารถสั่งจัดการหน่วยความจำ FLASH ภายในตัวของ CPUได้โดยตรงไม่ว่าจะเป็นการสั่งลบข้อมูล หรือเขียนข้อมูลใหม่ให้กับหน่วยความจำ FLASH ของ CPU ข้อจำกัดของการใช้งานบอร์ดใน MONITOR MODE

1. สัญญาณ ALE ของ CPU ต้องปล่อยลอยไว้ หรือกำหนดให้มีสภาวะเป็น “1”

2. สัญญาณ EA ของ CPU ต้องกำหนดให้มีสภาวะเป็น “1”

3. สัญญาณ PSEN ของ CPU ต้องมีสภาวะเป็นลอจิก “0” ก่อนปล่อยสัญญาณรีเซ็ตจาก “1” เป็น “0”

โดยบอร์ดนี้นั้นจะออกแบบให้ใช้ Push Button Switch จำนวน 2 ตัว คือ PSEN และ RESET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับร่วมกันกำหนดโหมดการทำงานของบอร์ด โดยวิธีการกำหนดโหมดการทำงานของCPU เบอร์T89C51AC2 ของบอร์ดนี้ให้เข้าทำงานใน Monitor Mode นั้นสามารถทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

- กดสวิตช์แบบ Push Button ของ PSEN ค้างไว้
- กดสวิตช์แบบ Push Button ของ RESET ค้างไว้
- ปล่อยสวิตช์ RESET ในขณะที่สวิตช์ PSEN ยังถูกกดค้างอยู่
- ปล่อยสวิตช์ PSEN เป็นลำดับสุดท้าย

ซึ่งหลังการปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นเรียบร้อยแล้ว บอร์ดก็พร้อมทำงานใน Monitor Mode แล้ว ซึ่งในจุดนี้ก็สามารถสั่งงาน CPU ใน Monitor Mode ด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆ ของโปรแกรมFLIP ได้ตามต้องการแล้ว

2. การทำงานใน USER MODE หรือ RUN MODE

การทำงานในโหมดนี้เป็นโหมดการทำงานปรกติของบอร์ด โดยจะใช้สำหรับในกรณีที่ต้องทำการโปรแกรมข้อมูลให้กับหน่วยความจำ FLASH ของ CPU เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในโหมดการทำงานนี้สามารถจะใช้งานทรัพยากรต่าง ๆ ของ CPU ได้อย่างครบถ้วน โดยไม่มีข้อจำกัดใด ๆ โดยวิธีการกำหนดโหมดการทำงานของบอร์ด เป็น RUN MODE หลังการรีเซ็ตบอร์ดทุก ๆ ครั้งถ้าสภาวะของขาสัญญาณ PSEN มีค่าเป็น"1" อยู่ CPU ก็จะกระโดดเข้ามาทำงานในโหมดนี้โดยอัตโนมัติอยู่แล้วซึ่งหลังจาก CPU พ้นสภาวะจากการรีเซ็ตแล้วตรวจพบว่าขาสัญญาณ PSEN มีค่าเป็น "1" อยู่ CPU ก็จะเริ่มทำงานตามโปรแกรมที่บรรจุไว้ในหน่วยความจำของ CPU ในทันที

4.2.3 การจัดสรร I/O ของบอร์ด

บอร์ดในโครงงานนี้จะใช้ CPU เบอร์ T89C51AC2 เป็น CPU ประจำบอร์ด โดยตัว CPU เบอร์นี้จะมีขาสัญญาณที่สามารถนำมาใช้งานเป็น I/O Port ได้ทั้งหมด 34 เส้นสัญญาณ ประกอบด้วย

- P0 [0..7] จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- P1 [0..7] จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- P2 [0..7] จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- P3 [0..7] จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- P4 [0..1] จำนวน 2 เส้นสัญญาณ

P0.0-P0.7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้สามารถใช้งานเป็น Input หรือ Output ได้ตามต้องการ โดยในบอร์ดนี้ ขาสัญญาณของ P0 ทั้งหมด จะถูกเชื่อมต่อไปยังขั้วต่อ 34 PIN และขั้วต่อ P0(KBI) ไว้ด้วยโดยที่ P0.0-P0.6 จะต่อตรงไปยังขั้วต่อ P0(KBI) ทั้งหมด แต่ P0.7 นั้นจะต่อผ่าน Jumper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4X4/SPKโดยถ้าเลือก Jumper ไว้ด้าน 4x4 สัญญาณ P0.7 ก็จะต่อไปยังขั้ว P0(KBI) ด้วย แต่ถ้า Jumper4x4/SPKถูกเลือกไว้ทางด้าน SPK สัญญาณ P0.7 ก็จะถูกต่อไปควบคุมการทำงานของลำโพงแทน

P1.0 - P1.7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะสามารถใช้งานได้หลายหน้าที่ เช่น ใช้งานเป็น ADCใช้งานเป็น Input หรือ Output และบางขายังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษของระบบ Timer และ PCA ได้อีกด้วย โดยขาสัญญาณทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อไปยังขั้วต่อ 34 PIN และขั้วต่อ P1 (ADC) ไว้ให้เลือกใช้งานตามต้องการ นอกจากนี้แล้วยังมีขาสัญญาณบางขาของ P1 ถูกจัดสรรไปยังวงจรอื่น ๆ ด้วยดังนี้

- P1.3 ถูกต่อไปยังขั้วต่อ PWM0
- P1.4 ถูกต่อไปยังขั้วต่อ PWM1
- P1.5 ถูกต่อไปยังขั้วต่อ PWM2
- P1.6 ถูกต่อไปยังขั้วต่อ PWM3

P2.0 - P2.7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะสามารถใช้งานได้ทั้งเป็น Input และ Output โดยขาสัญญาณทั้งหมดของ P2 จะถูกต่อไปยังขั้วต่อ 34PIN

P3.0 ทำหน้าที่เป็น RXD ของวงจรสื่อสารอนุกรม RS232/422/485

P3.1 ทำหน้าที่เป็น TXD ของวงจรสื่อสารอนุกรม RS232/422/485

P3.2 - P3.7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะสามารถใช้งานได้ทั้งเป็น Input และ Output โดยขาสัญญาณทั้งหมดของ P3 ทั้ง 6 เส้นนี้ จะถูกต่อไปยังขั้วต่อ 34PIN ทั้งหมด แต่ยังมีขาสัญญาณของ P3 อีกบางขาที่มีการจัดสรรหน้าที่ออกไปใช้งานยังส่วนอื่น ๆ ด้วยดังนี้

- P3.3 ถูกต่อไปยังขั้วต่อของเครื่องอ่านบัตรแถบแม่เหล็กโดยทำหน้าที่เป็น PRESENT
- P3.4 ถูกต่อไปควบคุมทิศทางการ รับ-ส่ง ข้อมูลของ RS485 โดยผ่าน Jumper 422/485
- P3.5 ถูกต่อไปควบคุมการทำงานของ RELAY โดยเลือกผ่าน Jumper P3.5(RELAY)
- P3.6 ถูกต่อไปยังขั้วต่อเครื่องอ่านบัตรแถบแม่เหล็กโดยทำหน้าที่เป็น DATA
- P3.6 ถูกต่อไปยังขั้วต่อเครื่องอ่านบัตรแถบแม่เหล็กโดยทำหน้าที่เป็น CLOCK

P4.0 จะใช้ทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ I2C BUS โดยทำหน้าที่เป็น SCL

P4.1 จะใช้ทำหน้าที่ติดต่อกับอุปกรณ์ I2C BUS โดยทำหน้าที่เป็น SDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 หลักการการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ SMT160

ภาพที่ 4.3 แสดงภาพเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มี 3 pin

SMT160 เป็นเซนเซอร์ของบริษัท Smartec โดยมีเอาท์พุตเป็นดิจิตอล 1 Duty Cycle สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีตัว A/D Converter อุณหภูมิที่ให้ค่าจะอยู่ในช่วง -45 ถึง 150 องศาเซลเซียส และการทำงานของขาแต่ละขาของ SMT160

ขา 1 = เอาท์พุต

ขา 2 = VCC

ขา 3 = กราวน์

คุณสมบัติที่สำคัญของ SMT160

- ไม่จำเป็นต้องใช้ A/D Converter
- ค่าความแม่นยำ ± 0.7 องศาเซลเซียส
- ความเป็นเชิงเส้นของเอาท์พุต 0.2 องศาเซลเซียส
- เอาท์พุตแปลเป็นดิจิตอลแบบสมบูรณ์
- เอาท์พุตแปลเป็นอะนาล็อกแบบสมบูรณ์
- สอบเทียบค่าบนบอร์ด
- ให้ค่า TTL,CMOS ที่ตรงกัน
- ย่านการวัดอยู่ที่ 175 องศาเซลเซียส (-45 ถึง 130)
- เชื่อมต่อข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง
- แยกสัญญาณได้ง่ายเมื่อใช้เซนเซอร์หลายตัวในไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวเดียว
- กินกำลังไฟฟ้าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของ SMT160

Parameters	Value	unit
Supply voltage	4.75 - 7	V
Supply current	max 200	μA
Short circuit protection	infinite (within supply voltage range)	-
Operating temperature range	-45 to +130	°C
Storage temperature	-50 to +150	°C

ค่าสัญญาณเอาท์พุต SMT160

ค่าเอาท์พุตอยู่ในรูปของ Square Wave โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ Duty Cycle (D.C.) คือ

$$D.C. = 0.320+0.00470*t$$

เมื่อ t = อุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียส

เช่นที่ 0 องศาเซลเซียส D.C. จะเท่ากับ 32%

130 องศาเซลเซียส D.C.จะเท่ากับ 93.1 %

4.4 การติดต่อพอร์ตอนุกรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์ PC นั้นได้มีการใช้งาน

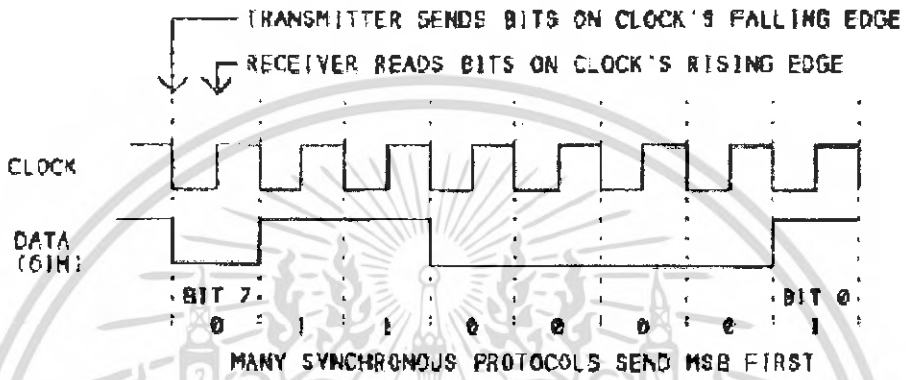
ภาพที่ 4.4 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของพอร์ตอนุกรมซึ่งมีรูปแบบการทำงาน คือ สามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม 2 แบบ คือ

1. การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

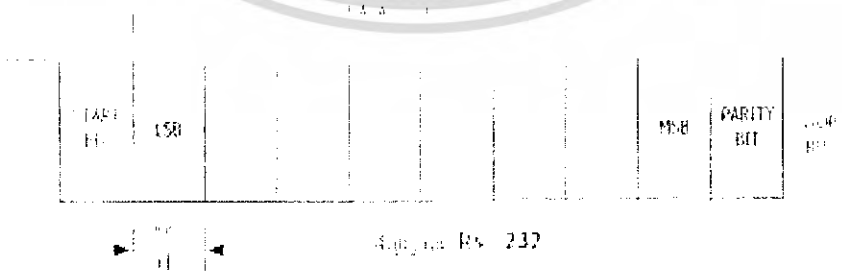
สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล



ภาพที่ 4.5 รูปแบบสัญญาณการทำงานของการสื่อสารแบบซิงโครนัส

2. การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

สำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสนั้นจะใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว แต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูลหรือ Bit Pattern เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล และ ส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูลโดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาคส่ง และ ภาครับ ซึ่งจะมีอุปกรณ์พิเศษที่ชื่อว่า UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) คอยควบคุมการรับและส่งข้อมูล



ภาพที่ 4.6 รูปแบบการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

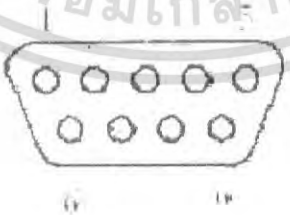
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.6 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อผ่านมาตรฐาน RS-232 เพื่อให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งกับอีกตัวหนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ จึงต้องกำหนดมาตรฐานการสื่อสารขึ้นมาโดยลักษณะของสัญญาณนั้นจะประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. Start Bit เป็นบิตสำหรับการเริ่มต้นในการติดต่อสื่อสาร (ขนาด 1 บิต)
2. Data Bit เป็นบิตสำหรับเป็นข้อมูล มีทั้งหมด 8 บิต โดยเริ่มต้นด้วยบิตต่ำก่อน (LSB) (ขนาด 7 หรือ 8 บิต)
3. Parity Bit เป็นบิตที่บอกจำนวนของบิตข้อมูลที่เป็น 1 ว่าเป็นจำนวนคู่หรือคี่ (ขนาด 1 บิต)
4. Stop Bit เป็นบิตสำหรับบอกว่าจบในการติดต่อสื่อสาร (ขนาด 1 หรือ 2 บิต) ในแต่ละบิตจะมีการกำหนดความถี่ขึ้นมา เพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างถูกต้องโดยเราจะกำหนดให้ความกว้างของแต่ละบิตมีความถี่ค่าหนึ่ง ซึ่งความถี่ค่านี้เราเรียกว่า Baud Rate หรืออัตราในการส่งข้อมูล เช่น Baud Rate 9600 หมายความว่าใช้ความถี่ในการติดต่อสื่อสารที่ความถี่ 9600 Hz หรือสามารถส่งข้อมูลได้สูงสุด 9600 Bit/Sec

สำหรับการสื่อสารแบบ RS-232 ในบอร์ดได้ใช้ไอซีเบอร์ MAX232 ในการติดต่อสื่อสาร

ภาพที่ 4.7 สายเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมระหว่างการติดต่อสื่อสารของคอมพิวเตอร์ กับ บอร์ด



ภาพที่ 4.8 ลักษณะของคอนเน็กเตอร์แบบ D-Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทำงานของ DB9

พอร์ตอนุกรมหรือที่เรียกกันว่า DB9 เพราะมีขาสัญญาณอยู่ 9 ขา ซึ่งแต่ละขาก็มีหน้าที่การทำงานที่ต่างกันไปคือ

ขา 1 Transmit Data (TD): ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์

ขา 2 Receive Data (RD): ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์

ขา 3 Request To Send (RTS): ใช้สำหรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา

ขา 4 Clear To Send (CTS):ใช้สำหรับตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อด้วยพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ โดยจะคอยรับสัญญาณ RTS เมื่อทุกอย่างพร้อมก็จะทำการส่งข้อมูลออกทางขา TD

ขา 5 Data Set Ready (DSR): ใช้สำหรับตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง จะใช้คู่กับขา DTR

ขา 6 Signal Ground (SG): เป็นกราวน์ของระบบ

ขา 7 Carrier Detect (CD): ขานี้จะ Active เมื่อมีการส่งสัญญาณ Carrier จากโมเด็ม

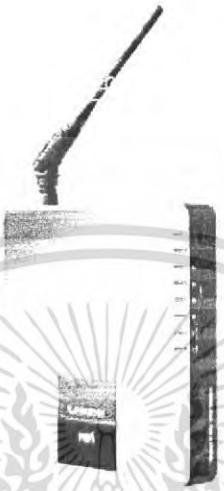
ขา 8 Data Terminal Ready (DTR): ใช้สำหรับบอกให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วยโดยขา DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง

ขา 9 Ring Indicator (RI): ขานี้จะ Active เมื่อโมเด็มได้รับสัญญาณเรียกเข้าจากสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 อุปกรณ์ไวร์เลสแลนและการติดตั้ง

ในโครงงานนี้ได้ใช้ Access Point ของบริษัท Linksys เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อใช้ในงานไวร์เลสแลน สำหรับภาพที่ 4.9 แสดงภาพของ Access Point รุ่น WAG200G



ภาพที่ 4.9 แสดงภาพของ Access Point รุ่น WAG200G

รายละเอียดของ WAG200G มีดังนี้

- ตราสินค้า : LINKSYS WAG200G
- รุ่น : WAG200G Wireless ADSL2/2 + Router
- มาตรฐาน : IEEE802.11b/g
- พอร์ต : 4 พอร์ต 10/100 Ethernet
- Security : WPA2 40/64-bit,128-bit
- Routing Protocol : PPPoE,PPPoA
- Firewal/SPI : มีใช้
- รับประกัน : N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ซอฟท์แวร์การแสดงค่าและประมวลผล

5.1 กล่าวนำ

ในโครงงานนี้มีการสร้างซอฟท์แวร์เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิในรูปแบบ Real-Time โดยได้มีการวัดอุณหภูมิทุก ๆ วินาทีที่มีการรับค่าทางพอร์ตอนุกรม ในส่วนของการวัดได้มีการสร้างซอฟท์แวร์เฉพาะการใช้งานในด้านการวัดอุณหภูมิ และมีการแสดงผลของค่าอุณหภูมิในแบบกราฟตลอดจนมีการบันทึกค่าอุณหภูมิมาเก็บไว้ในฐานข้อมูล อันจะเป็นประโยชน์ต่อไปในการวิเคราะห์หาค่าที่ดีที่สุดของการวัดค่าอุณหภูมิ สำหรับการสร้างโปรแกรมได้มีแผนการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงแผนการดำเนินงานในการเขียนโปรแกรม

Mount - year step	18 - 49 (ธ.ค.)	25 – 49 (ธ.ค.)	3 – 50 (ม.ค.)	8 – 50 (ม.ค.)	15 – 50 (ม.ค.)
Step1.	*	*			
Step 2.		*	*		
Step 3.				*	
Step 4.					*

ตารางที่ 5.2 แสดงถึงลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน

Retail	
Step 1	ค้นคว้าและหาข้อมูล
Step 2	ออกแบบโปรแกรม
Step 3	สร้างโปรแกรม
Step 4	ทดลองและติดตามผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การรับค่าข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

พื้นฐานการส่งข้อมูลระหว่างพอร์ตอนุกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ กับไมโครคอนโทรเลอร์ ต้องมีอัตราการส่งข้อมูล Baud Rate ที่เท่ากันโดยเราใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 9,600 bps โดยการรับค่าการส่งข้อมูลเราสามารถแสดงค่าทางโปรแกรม HyperTerminal ซึ่งการติดตั้งการใช้งานโปรแกรม HyperTerminal สามารถติดตั้งได้ดังภาพที่ 5.1 - 5.3

ภาพที่ 5.1 แสดงภาพเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม Hyper Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงการเลือกพอร์ตการติดต่อใช้งาน

ภาพที่ 5.3 การกำหนดค่าในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

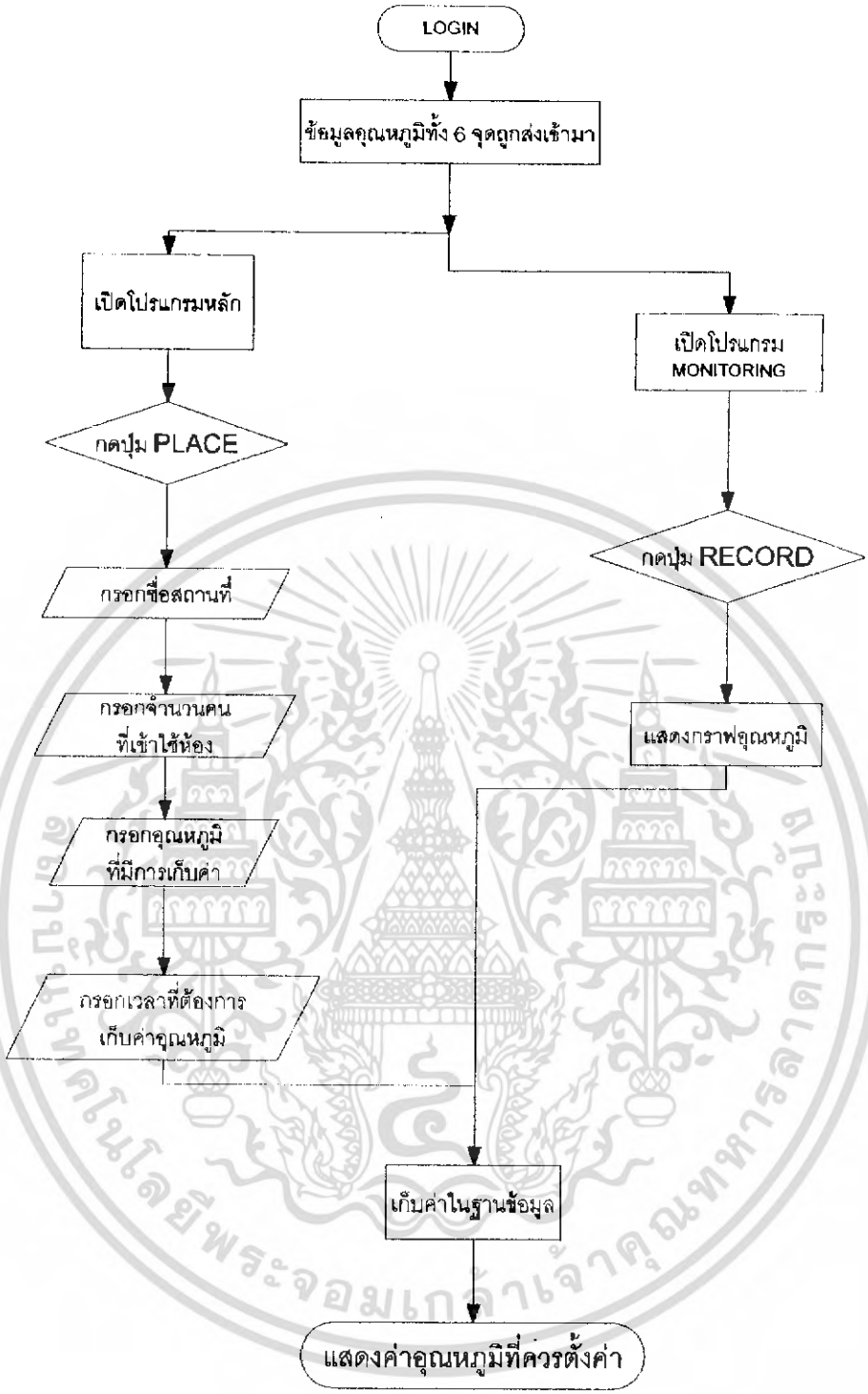
เมื่อฮาร์ดแวร์รับค่าทางพอร์ตอินพุตของฮาร์ดแวร์โดยมีการรับค่าเซนเซอร์เข้ามาโปรแกรม HyperTerminal จะแสดงค่าออกมาดังภาพที่ 5.4

ภาพที่ 5.4 ภาพแสดงผลอุณหภูมิผ่านทางพอร์ตอนุกรมทั้ง 6 ค่า

5.3 การออกแบบโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมได้เลือก Microsoft Visual Basic 6 ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพราะ Microsoft Visual Basic 6 เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่ายและมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายและเป็นที่นิยมใช้ ซึ่งการออกแบบการเขียนโปรแกรมมีขั้นตอนดังภาพที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

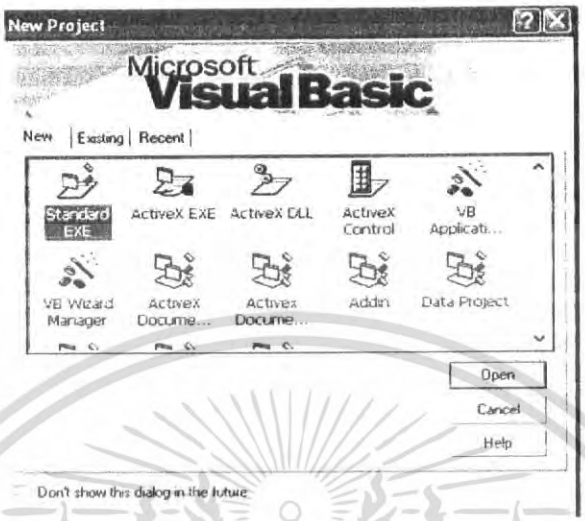


ภาพที่ 5.5 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การตั้งค่าการเขียนโปรแกรมใช้งานพอร์ตอนุกรมใน Visual Basic

เริ่มต้นเลือก New Project ใน Microsoft Visual Basic 6 เป็น Standard EXE ดังภาพที่ 6

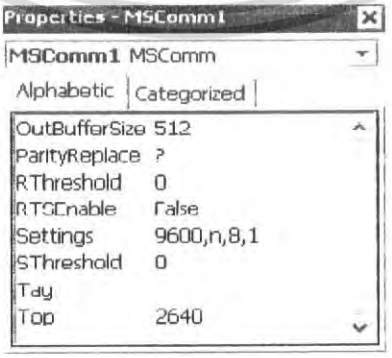


ภาพที่ 5.6 เริ่มต้นเลือก Standard EXE ใน Visual Basic 6

สำหรับการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมในโปรแกรม Visual Basic จะใช้คอนโทรลที่ชื่อว่า MSComm

ภาพที่ 5.7 คอนโทรลที่ใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

การตั้งค่าการทำงานของ MSComm จะต้องกำหนดใน Properties -> Settings ดังภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 กำหนดคุณสมบัติของ MSComm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 รายละเอียดการทำงานของโปรแกรม

เริ่มต้นโปรแกรมได้มีการทำโปรแกรม Login เพื่อจำกัดการใช้งานสำหรับผู้ติดตามผลเพียงคนเดียวอาจจะผู้ควบคุมในห้องคอนโทรลรูมก็ได้

ภาพที่ 5.9 ภาพโปรแกรม Login การเข้าใช้งานเป็นแบบผู้ใช้งานคนเดียว

โปรแกรมหลักได้แบ่งการทำงานออกเป็น 4 การทำงานคือ

1. ส่วนจำลองสถานการณ์โดยเป็นการจำลองอุณหภูมิตามตำแหน่งเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่วางไว้ในบริเวณ ห้องตามจุดต่าง ๆ

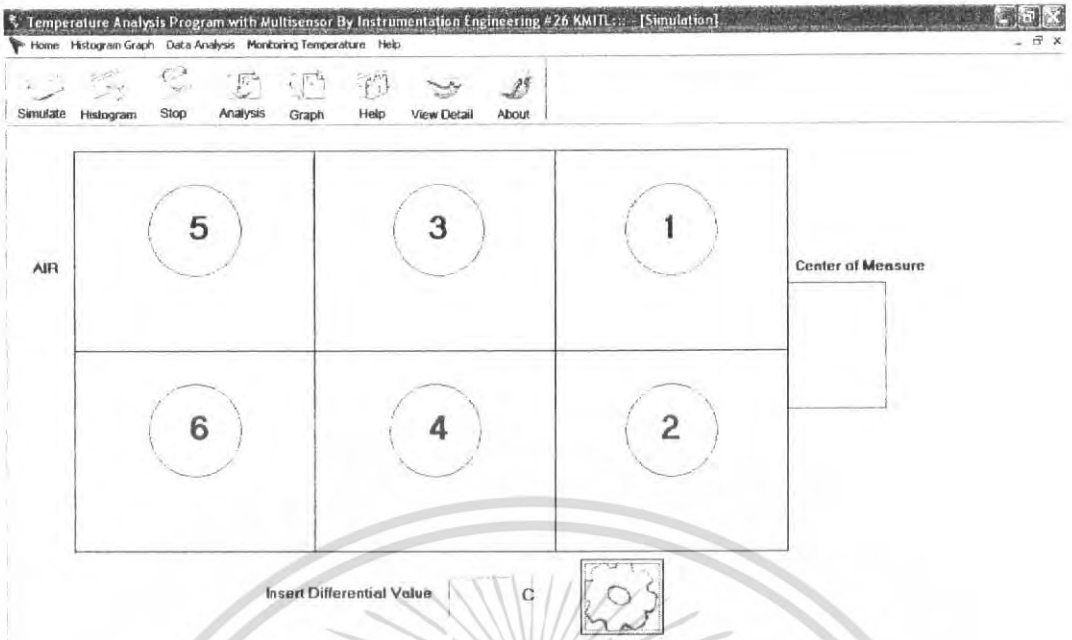
2. ส่วนป้อนข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นการเก็บค่าสถิติในโปรแกรม Microsoft Access และคำนวณค่าด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทราบค่าต่าง ๆ

3. ส่วนแสดงค่าอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟ

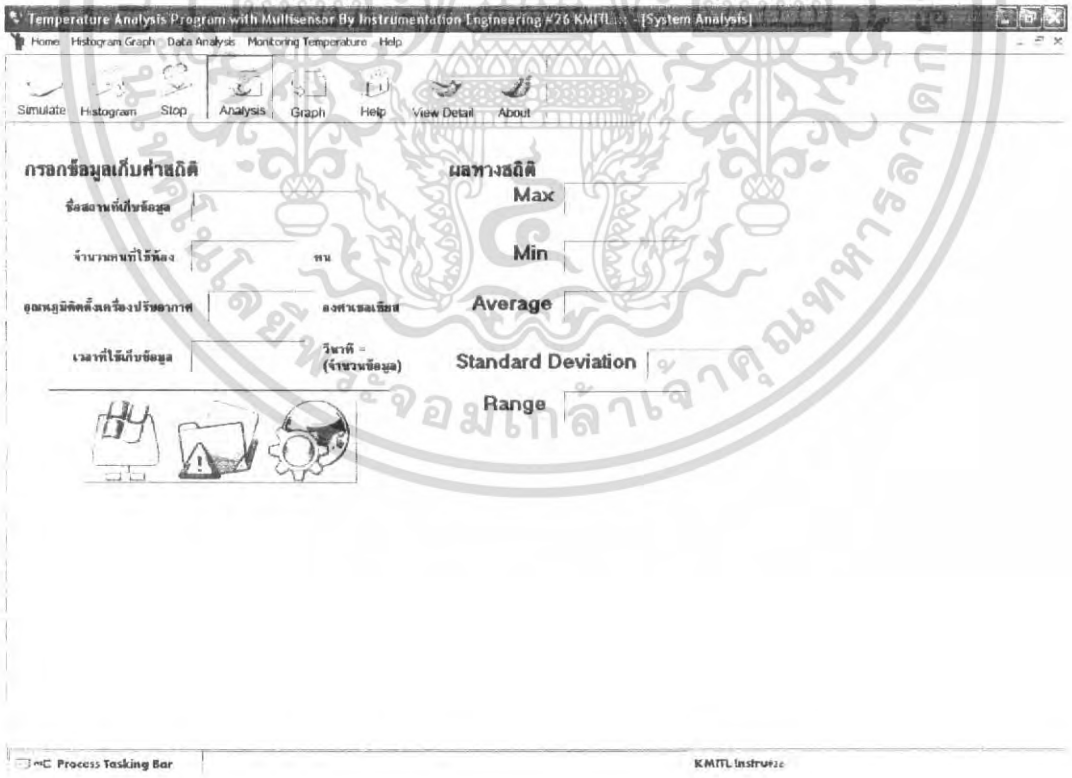
4. ส่วนแสดงความถี่ของช่วงอุณหภูมิโดยกราฟฮีสโตแกรม

จากภาพที่ 5.10 – 5.13 แสดงถึงรูปแบบโปรแกรมทั้ง 4 การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

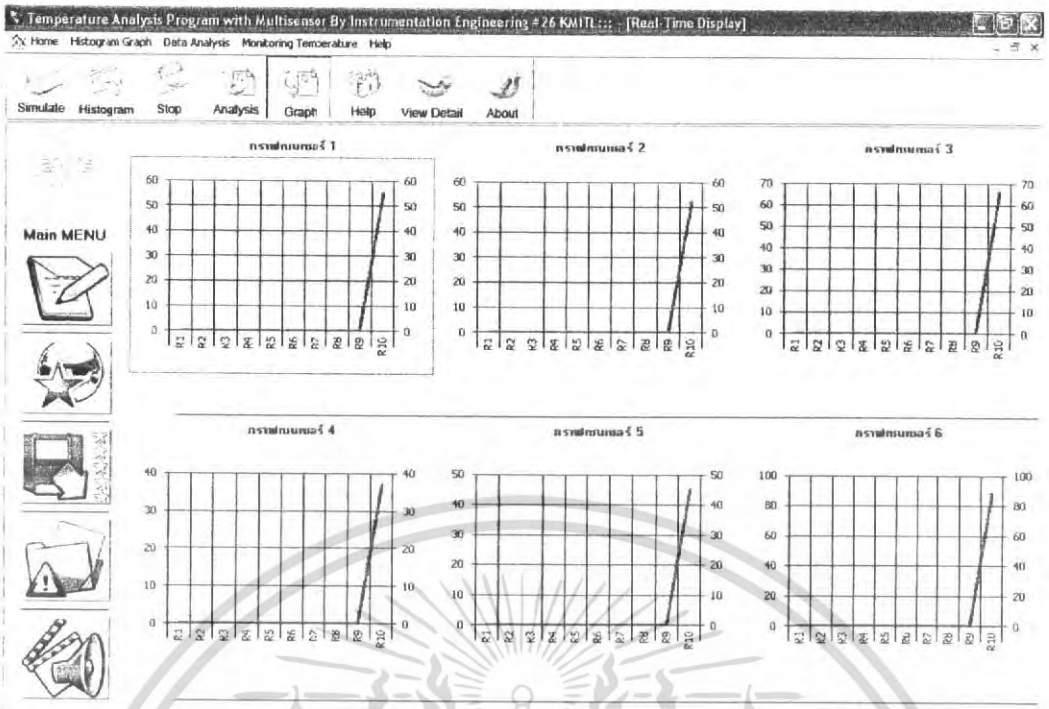


ภาพที่ 5.10 ภาพโปรแกรมจำลองการติดตั้งเซนเซอร์ภายในห้องและแสดงค่าอุณหภูมิ

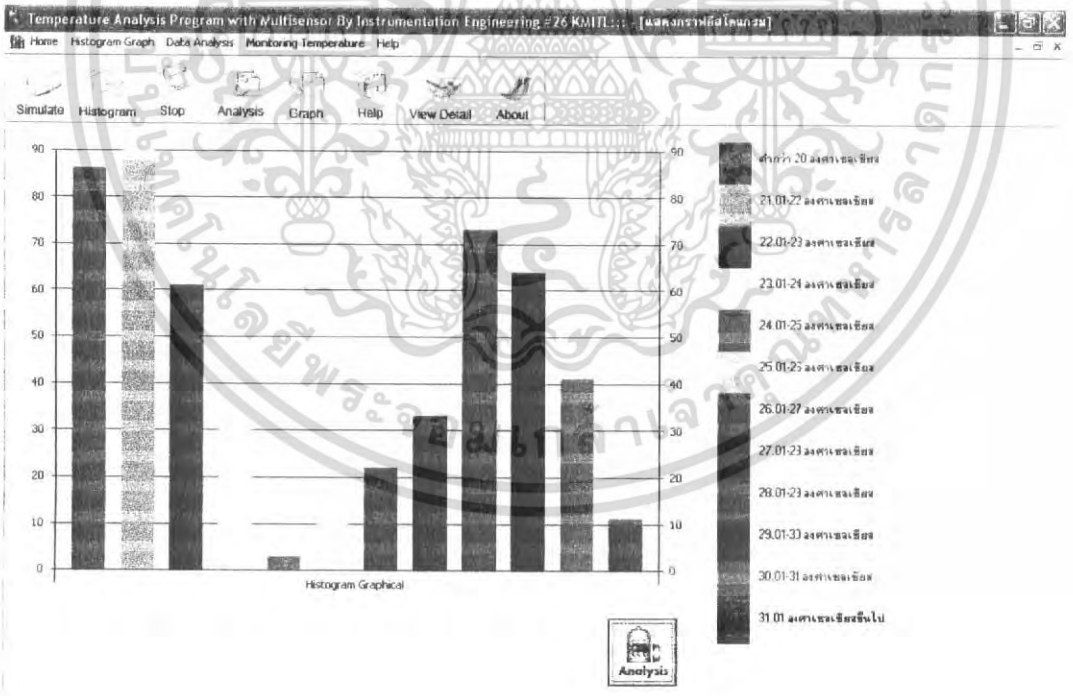


ภาพที่ 5.11 ภาพโปรแกรมการเก็บค่าข้อมูลต่าง ๆ และประมวลผลค่าทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.12 ภาพโปรแกรมแสดงอุณหภูมิเป็นแบบกราฟและบันทึกค่าลงในฐานข้อมูล



ภาพที่ 5.13 ภาพโปรแกรมแสดงกราฟฮีสโตแกรมตามค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้

เป็นปุ่มฟังก์ชันสำหรับเรียกการทำงานของโปรแกรมย่อย เพื่อค่อยแสดงว่าตอนนี้มีจุดใดบ้างที่มีอุณหภูมิเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้บ้าง

เป็นปุ่มฟังก์ชันสำหรับเรียกดูกราฟฮีสโตแกรม โดยจะมีการแสดงถึงความถี่ของช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ว่าอุณหภูมิช่วงใดมีความถี่สูงสุด

เป็นปุ่มฟังก์ชันสำหรับหยุดการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

เป็นปุ่มฟังก์ชันแสดงการรายงานผลว่าค่าทางสถิติมีค่าเท่าไรบ้าง

เป็นปุ่มฟังก์ชันแสดงค่าอุณหภูมิของทั้ง 6 จุดพร้อม ๆ กัน และเก็บค่าลงในฐานข้อมูล

เป็นปุ่มอธิบายการทำงานของซอฟท์แวร์

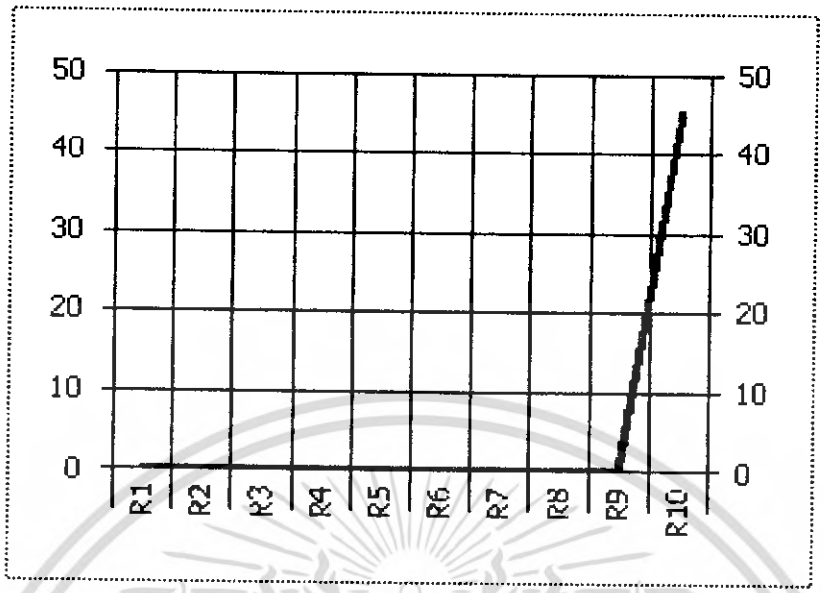
เป็นปุ่มแสดงภาพห้องทดลอง

เป็นปุ่มแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของโปรแกรม

สำหรับเกราฟการแสดงผลจะแสดงรูปแบบกราฟดังภาพที่5.14โดยจะกำหนดให้แกน x เป็นค่าเวลาปัจจุบัน 10 วินาทีที่มีการแสดงค่าปัจจุบัน และแกน y แสดงค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิปัจจุบันของเซนเซอร์ 1 ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อทดสอบว่าเซนเซอร์ที่ใช้นั้นมีความถูกต้องเพียงใดเมื่อเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์

2. เพื่อทดสอบว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงจุดใดจุดหนึ่งนั้น ระบบที่ใช้การวัดอุณหภูมิจะสามารถตรวจวัดได้ในทันที

3. สามารถใช้เทคโนโลยีไร้สายมาประยุกต์ใช้ในงานวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ประจำที่อุปกรณ์วัดนั้น ๆ

4. สามารถนำค่าที่ได้จากการวัดเซนเซอร์ตามจุดต่าง ๆ มาทำการหาค่าต่าง ๆ ทางสถิติ และแสดงผลทางกราฟได้

6.2 การออกแบบการทดลอง

1. ระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของระบบปิด โดยมีการทำการทดลองกับห้อง ๆ หนึ่งแทนระบบ ๆ หนึ่ง

2. ติดตั้งสายสัญญาณเซนเซอร์ตามจุดต่าง ๆ ตามที่ออกแบบไว้ตอนต้น และติดตั้งระบบไวร์เลสแลนเพื่อสามารถติดตามผลอุณหภูมิได้ทันที

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแต่ละครั้งคือประมาณ 30 นาที ในหนึ่งการทดลองในหนึ่งครั้ง

4. ย่านอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้คือที่ 20 องศาเซลเซียส และที่ 25 องศาเซลเซียส เพราะเป็นค่ามาตรฐานในการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศเมื่อมีการใช้งาน

5. ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุก 1 วินาที เพื่อนำค่าที่ได้ไปเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลและสามารถประมวลผลค่าทางสถิติต่าง ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นค่า Max, Min, Average, Standard Deviation เป็นต้น เพื่อใช้ในการอ้างอิงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายจุดและเปิดอุปกรณ์ไวร์เลสแลน

2. ทำการตั้งค่าในโปรแกรม HW Virtual Serial Port ใน Computer Notebook และทดสอบการติดต่อใช้งาน ว่าสามารถติดต่อผ่านระบบไวร์เลสแลนได้หรือไม่

3. เคลื่อนย้าย Computer Notebook ไปยังชั้นต่าง ๆ ของตึกภาคและทดลองอ่านค่าอุณหภูมิทั้ง 6 จุด เพื่อที่จะดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องโดยที่ไม่ได้ประจำอยู่ในห้องขณะนั้น

4. ตรวจวัดอุณหภูมิและแสดงผลการตรวจวัดในลักษณะต่าง ๆ บนโปรแกรมที่เขียนขึ้น

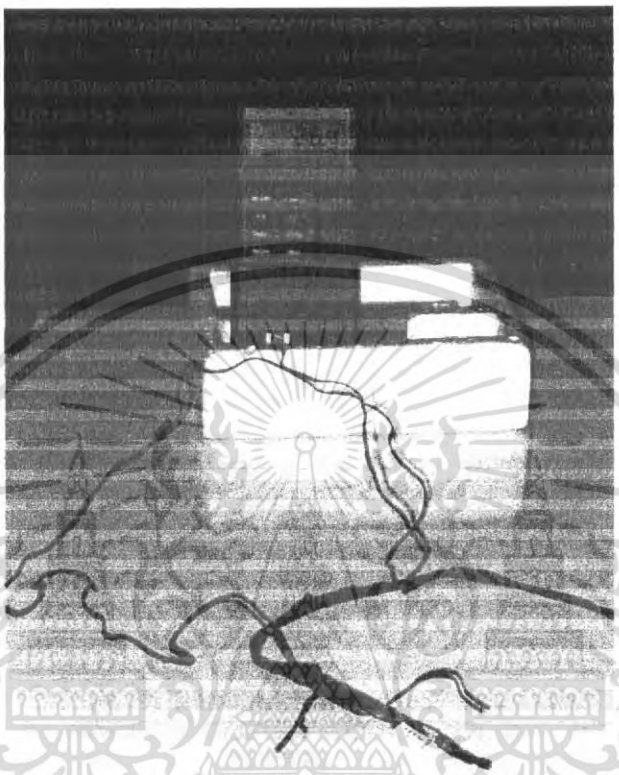
5. เมื่อติดตามผลอุณหภูมิของระบบหนึ่ง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการประเมินสถานการณ์ในขณะนั้น ๆ ว่าจุดใดที่มีอุณหภูมิสูงและจุดใดที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยมีการสั่งพิมพ์รายงานประเมินสถานการณ์นั้น ๆ ออกไปด้วยโปรแกรม Microsoft Access

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 บันทึกผลการทดลอง

การสอบเทียบระหว่างเซนเซอร์ SMT160 ที่ใช้ กับ เทอร์โมมิเตอร์ได้ค่าดังนี้

จุดที่ 1 ที่ทำการสอบเทียบ

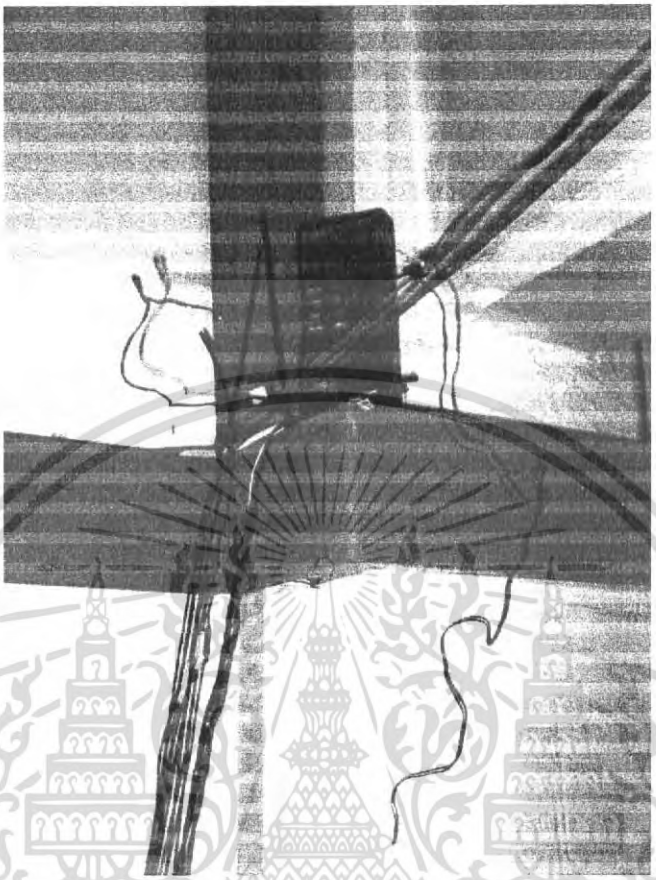


ภาพที่ 6.1 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 1 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
26.40 องศาเซลเซียส	26.25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 2 ที่ทำการสอบเทียบ

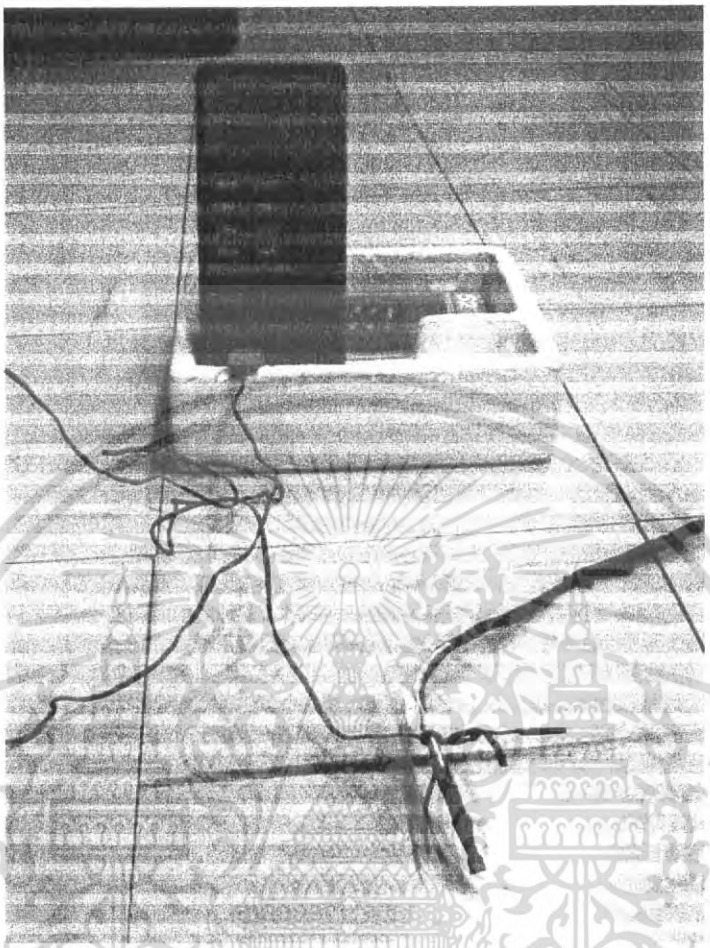


ภาพที่ 6.2 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 2 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
25.90 องศาเซลเซียส	25.54 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 3 ที่ทำการสอบเทียบ

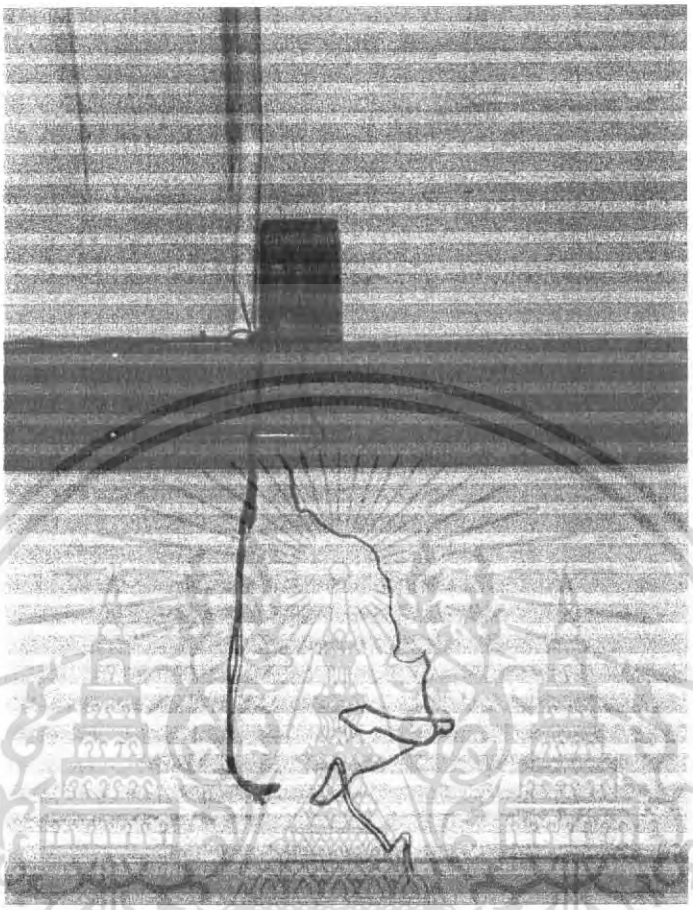


ภาพที่ 6.3 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 3 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
25.80 องศาเซลเซียส	25.64 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 4 ที่ทำการสอบเทียบ

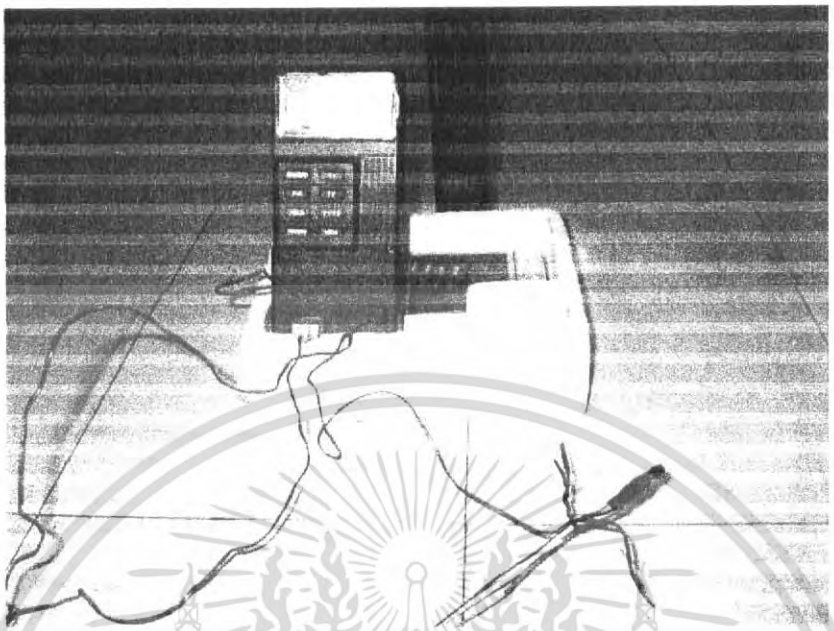


ภาพที่ 6.4 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 4 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
25.10 องศาเซลเซียส	24.95 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 5 ที่ทำการสอบเทียบ

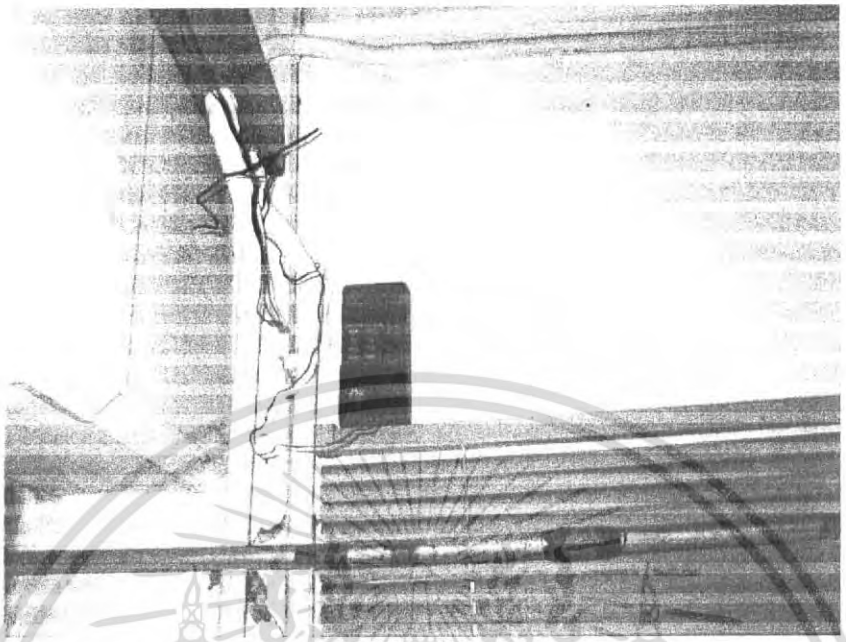


ภาพที่ 6.5 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 5 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
25.50 องศาเซลเซียส	25.37 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ 6 ที่ทำการสอบเทียบ

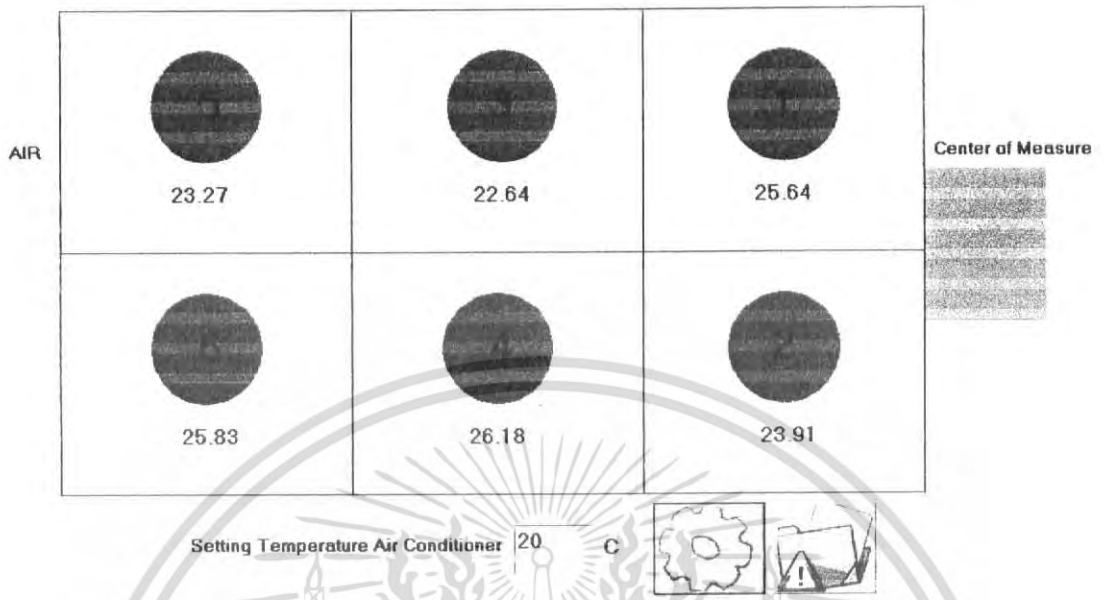


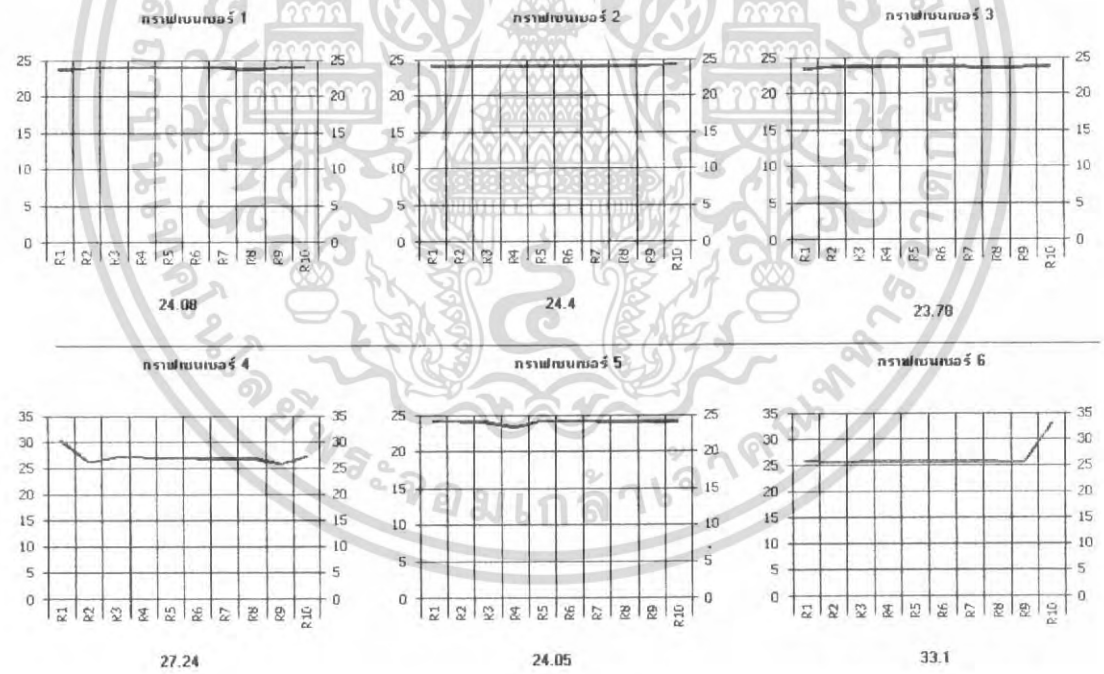
ภาพที่ 6.6 แสดงการสอบเทียบของเซนเซอร์ตัวที่ 6 กับ เทอร์โมมิเตอร์

ค่าที่อ่านได้จาก Thermometer	ค่าที่อ่านได้จาก SMT160
27.80 องศาเซลเซียส	27.63 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อแสดงค่าที่อุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

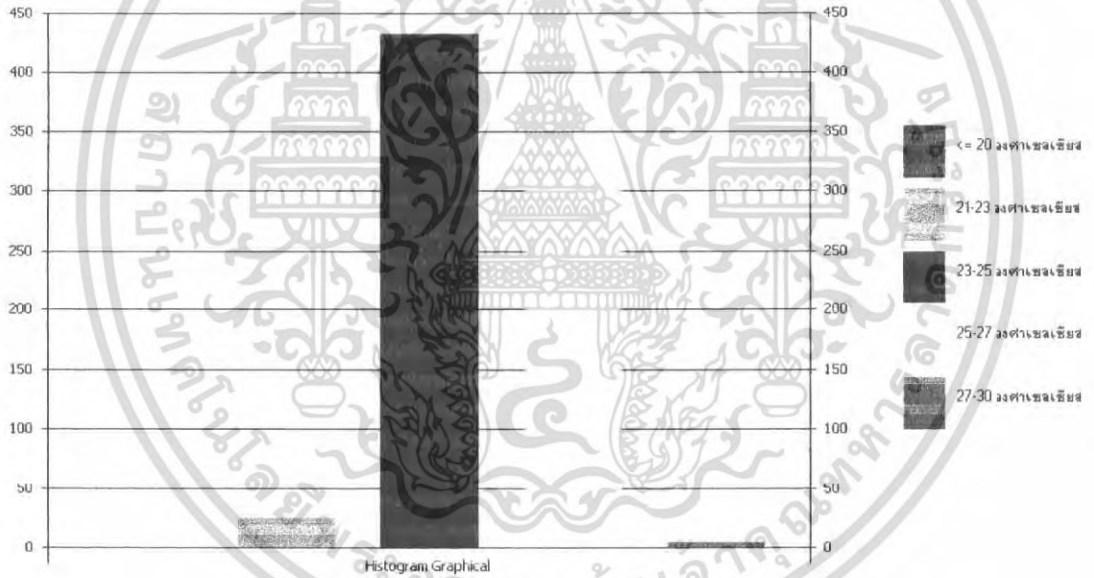




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature : Table

Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6	Average	Date	Time
24.00	24.41	23.64	26.53	23.83	25.45	24.64	0:00:00	21:03:41
23.91	24.27	23.42	30.14	24.13	25.54	25.24	0:00:00	21:03:42
23.60	24.09	23.40	26.55	23.56	25.50	24.45	0:00:00	21:03:43
24.21	24.22	23.29	26.26	24.27	25.59	24.64	0:00:00	21:03:44
24.08	24.08	23.36	26.33	24.15	25.68	24.61	0:00:00	21:03:45
24.07	24.08	23.12	27.00	24.21	25.40	24.65	0:00:00	21:03:46
24.14	23.88	23.38	34.66	24.04	25.74	25.97	0:00:00	21:03:46
24.10	23.89	23.64	26.72	23.80	25.73	24.65	0:00:00	21:03:47
23.76	24.20	23.57	26.71	23.80	25.55	24.60	0:00:00	21:03:48
23.86	23.84	23.85	26.96	23.81	29.45	25.30	0:00:00	21:03:49
23.95	24.00	23.35	26.75	23.53	25.74	24.55	0:00:00	21:03:50
23.65	24.12	23.55	26.77	23.81	25.65	24.59	0:00:00	21:03:51
24.00	24.06	23.28	26.15	23.80	25.56	24.48	0:00:00	21:03:52
23.78	23.83	23.28	26.33	23.70	25.59	24.42	0:00:00	21:03:53
23.99	23.91	23.48	25.41	24.03	25.97	24.47	0:00:00	21:03:54
23.81	23.99	23.23	26.67	24.32	25.36	24.56	0:00:00	21:03:55
23.83	23.90	23.29	34.60	23.78	26.05	25.91	0:00:00	21:03:56
23.77	24.10	23.40	27.17	23.85	25.59	24.65	0:00:00	21:03:57
23.91	23.89	23.46	29.92	24.00	25.67	25.14	0:00:00	21:03:58
23.78	23.90	23.36	26.88	24.15	25.62	24.60	0:00:00	21:03:59
23.76	24.09	23.29	26.75	24.07	25.48	24.57	0:00:00	21:04:00
23.63	23.78	23.42	26.69	23.60	25.63	24.46	0:00:00	21:04:01



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอกข้อมูลเก็บค่าสถิติ

ชื่อสถานที่เก็บข้อมูล: Lab

จำนวนคนที่ใช้ห้อง: 7 คน

อุณหภูมิตั้งเครื่องปรับอากาศ: 20 องศาเซลเซียส

เวลาที่ใช้เก็บข้อมูล: 20 วินาที = (จำนวนข้อมูล)

ป้อนค่าเปอร์เซ็นไทล์: 20

ผลทางสถิติ

Max	26.5
Min	23.19
Average	24.453333333
Standard Deviation	1.235308328583 08
Range	3.31
Percentile	23.63

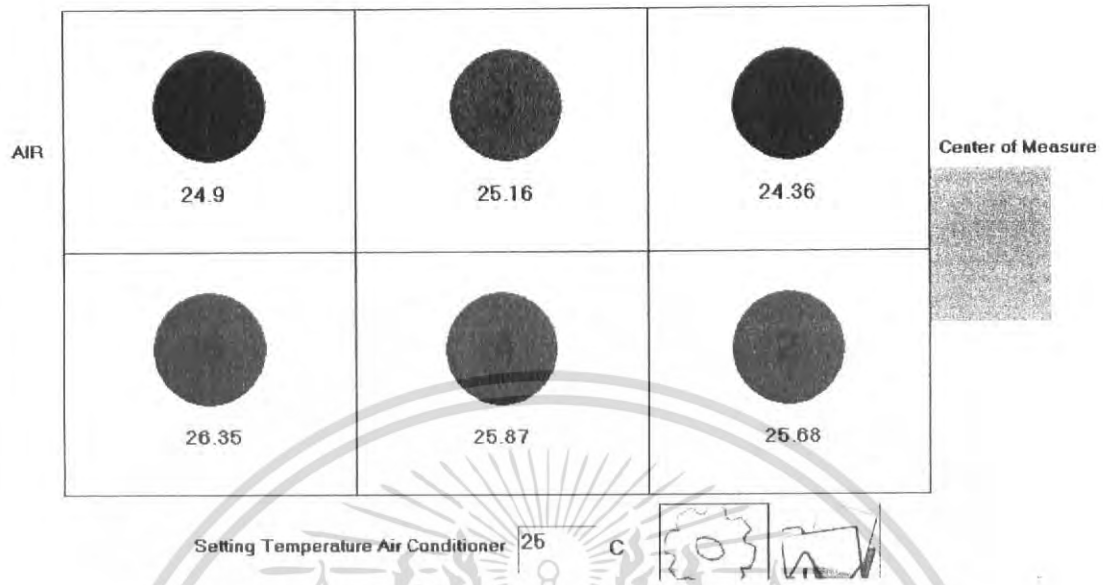
Microsoft Access - [Detail : Table]

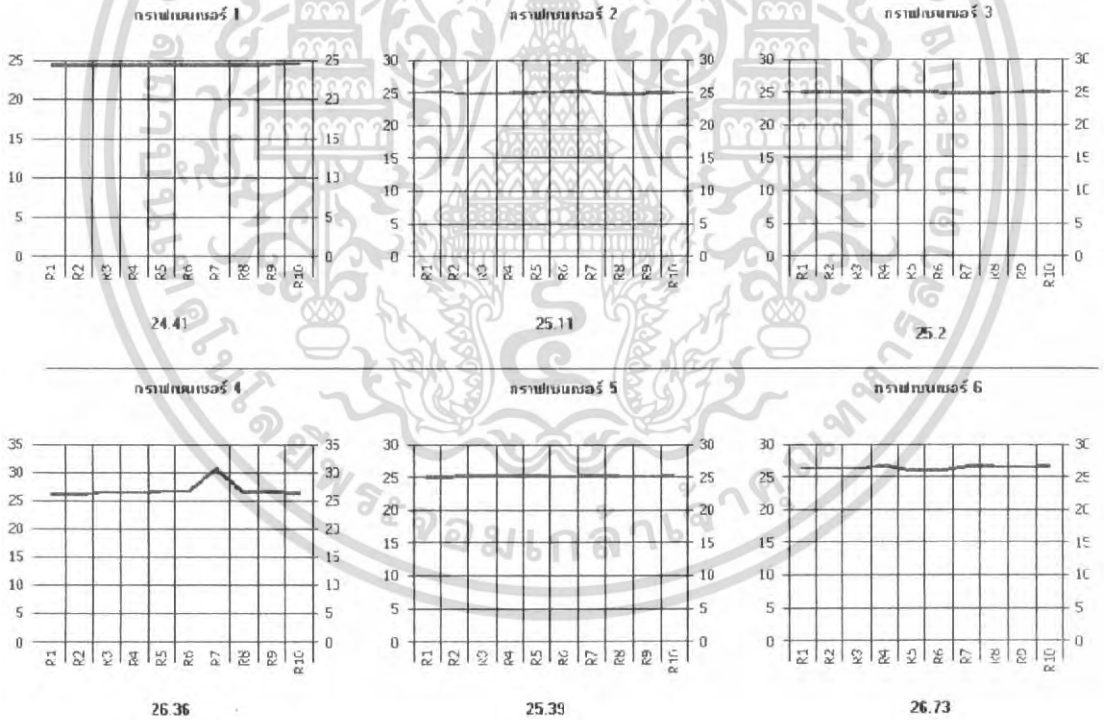
File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

Place	UserNo	TempSetting	TimeSetting	AverageVal	MaxVal	MinVal	Std	Range	Date
lab	7	20	20	24	26	23	1	3	28/1/25
	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อแสดงค่าที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature : Table

Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	Sensor6	Average	Date	Time
24.31	25.00	24.82	26.91	24.90	26.25	25.37	0:00:00	21:22:23
24.39	24.96	24.90	26.26	25.32	26.28	25.35	0:00:00	21:22:24
24.44	25.10	24.96	26.28	24.93	26.40	25.35	0:00:00	21:22:25
24.39	25.02	25.13	26.10	25.21	26.24	25.35	0:00:00	21:22:26
24.41	24.84	24.96	26.59	25.17	26.25	25.37	0:00:00	21:22:27
24.35	24.93	24.92	26.35	25.15	26.71	25.40	0:00:00	21:22:27
24.36	25.03	25.01	26.77	25.34	25.91	25.40	0:00:00	21:22:28
24.41	25.28	24.93	26.60	25.08	25.91	25.37	0:00:00	21:22:29
24.36	25.10	24.75	30.64	25.30	26.57	26.12	0:00:00	21:22:30
24.39	24.80	24.83	26.53	25.12	26.58	25.38	0:00:00	21:22:31
24.51	25.01	25.00	26.70	25.07	26.48	25.46	0:00:00	21:22:32
24.41	25.11	25.20	26.36	25.39	26.73	25.53	0:00:00	21:22:33
24.46	25.06	24.98	26.42	25.18	26.65	25.46	0:00:00	21:22:34
24.51	25.12	24.87	26.72	25.26	26.29	25.46	0:00:00	21:22:35
24.39	25.17	24.68	26.51	25.00	26.27	25.34	0:00:00	21:22:36
24.39	25.23	24.86	26.23	25.11	26.65	25.41	0:00:00	21:22:37
24.29	25.20	24.90	29.92	25.13	26.51	25.99	0:00:00	21:22:38
24.44	24.58	25.02	30.34	25.06	26.37	25.97	0:00:00	21:22:39
24.41	24.80	24.96	26.74	25.38	26.08	25.40	0:00:00	21:22:40
24.54	24.88	24.79	26.70	25.37	26.46	25.46	0:00:00	21:22:41
24.51	25.10	25.08	26.32	25.12	26.54	25.45	0:00:00	21:22:42
24.39	25.02	24.86	26.33	25.22	26.17	25.33	0:00:00	21:22:43
24.49	24.96	24.81	26.65	24.88	26.36	25.36	0:00:00	21:22:44
24.39	24.93	24.75	26.60	25.21	26.33	25.37	0:00:00	21:22:45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอกข้อมูลเก็บค่าสถิติ

ชื่อสถานที่เก็บข้อมูล: Lab

จำนวนคนที่ใช้ห้อง: 7 คน

อุณหภูมิตั้งเครื่องปรับอากาศ: 25 องศาเซลเซียส

เวลาที่ใช้เก็บข้อมูล: 20 วินาที = (จำนวนข้อมูล)

ป้อนคำเปอร์เซ็นไทล์: 20

ผลทางสถิติ

Max	26.7
Min	24.3
Average	25.543333333
Standard Deviation	.928540072730502
Range	2.4
Percentile	25.12

Detail : Table

Place	UserNo	TempSetting	TimeSetting	AverageVal	MaxVal	MinVal	Std	Range	Date
Lab	7	25	20	26	27	24	1	2	28/1/2550
	0	0	0	0	0	0	0	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราสามารถนำความรู้เรื่องเซนเซอร์ และการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการหาความแตกต่างของการวัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายตำแหน่ง กับแบบเซนเซอร์เพียงตำแหน่งเดียวว่าการวัดอุณหภูมิแบบใดให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำดีกว่ากัน ในส่วนของการทดลองนั้นมีการสอบเทียบเซนเซอร์กับเทอร์โมมิเตอร์ทำให้เราได้ข้อสรุปว่า เซนเซอร์สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้จริงแต่ก็อาจจะมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นบ้างเพียงเล็กน้อยเท่านั้นถือว่ายอมรับได้

7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

การสร้างอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิแบบเซนเซอร์หลายจุดนั้น สามารถช่วยให้การวัดค่าอุณหภูมิมีความถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการวัดมากขึ้น อีกทั้งยังเพื่อเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ดังกล่าวในอนาคตจึงควรมีการนำเอาทฤษฎีอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ค่าการวัดอีกทั้งยังควรทำการทดลองในรู้แบบอื่น ๆ อีก เช่นการนำเอาอุปกรณ์ชิ้นนี้ไปพัฒนาเป็นตัววัดและควบคุมได้ โดยการนำค่าที่ได้จากการวัดนั้นส่งค่าไปยังตัวควบคมอื่น ๆ เพื่อใช้ในการควบคุมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1 อภิชาติ ภู่พลับ. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic.นนทบุรี: อินโฟเพรส ,2546.

2. อภิชาต ภู่พลับ. "สนุก!กับการประยุกต์ใช้ Visual Basic".นนทบุรี:อินโฟเพรส,2546.

3. สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร.คู่มือการเขียนโปรแกรมใช้งาน Visual Basic 6.0.กรุงเทพฯ: อินโฟเพรส,2544

4. ศุภชัย สมพานิช.สร้างระบบฐานข้อมูลด้วย Visual Basic ฉบับโปรแกรมเมอร์. กรุงเทพฯ: อินโฟเพรส,2544.

5. ดร.ฤดี มาสุจันท์.การวิจัยดำเนินงาน:แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. Richard R.Brooks ,S.S. Iyengar .Multi-Sensor Fusion:fundamentals and applications with softweare

7. ผศ.วิศรุต ศรีรัตนะ. หลักการของอุปกรณ์ เซนเซอร์ และ ทรานดิวเซอร์

8. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ.สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1 (ประมวลผลด้วย MINITAB) กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมบันทึกค่าและแสดงผลอุณหภูมิ 6 จุดแบบปัจจุบัน

```
    Public Data As String
    Public Datatemp As Workspace
    Public TempRecorder As Database
    Public Recorder As Recordset
Private Sub ReadData()
  On Error GoTo HandleError
          Recorder.MoveFirst
  Do While Not Recorder.EOF
          Recorder.MoveNext
  Loop
  Exit Sub
HandleError:
    MsgBox Error(Err.Number)
End Sub

Private Sub Command4_Click(Index As Integer)
    contrl.Show
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    On Error Resume Next
    Timer1.Enabled = False
    connect1.PortOpen = False
   graph_no1.Hide
End Sub

Private Sub Form_Load()
    On Error Resume Next
       Set Datatemp = DBEngine.Workspaces(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Set TempRecorder = Datatemp.OpenDatabase("D:\My
Project\DataBase\Datasensor.mdb", False, False)
    Set Recorder = TempRecorder.OpenRecordset("SELECT*FROM Temperature ORDER
BY Sensor1", dbOpenDynaset)
  connect1.PortOpen = False
  graph1.ColumnCount = 1
  graph1.RowCount = 10
  graph1.ChartType = VtChChartType2dLine
  graph1.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
  graph1.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
  graph1.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
  For i = 1 To graph1.RowCount - 1
      graph1.Row = i + 1
      n = graph1.Data
      graph1.Row = i
      graph1.Data = ""
  Next i
  graph2.ColumnCount = 1
  graph2.RowCount = 10
  graph2.ChartType = VtChChartType2dLine
  graph2.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
  graph2.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
  graph2.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
  For i = 1 To graph2.RowCount - 1
      graph2.Row = i + I
      n = graph2.Data
      graph2.Row = i
      graph2.Data = ""
  Next i
  graph3.ColumnCount = 1
  graph3.RowCount = 10
  graph3.ChartType = VtChChartType2dLine
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
graph3.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
graph3.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
graph3.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
For i = 1 To graph3.RowCount - 1
    graph3.Row = i + 1
    n = graph3.Data
    graph3.Row = i
    graph3.Data = ""
Next i
graph4.ColumnCount = 1
graph4.RowCount = 10
graph4.ChartType = VtChChartType2dLine
graph4.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
graph4.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
graph4.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
For i = 1 To graph4.RowCount - 1
    graph4.Row = i + 1
    n = graph4.Data
    graph4.Row = i
    graph4.Data = ""
Next i
graph5.ColumnCount = 1
graph5.RowCount = 10
graph5.ChartType = VtChChartType2dLine
graph5.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
graph5.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
graph5.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
For i = 1 To graph5.RowCount - 1
    graph5.Row = i + 1
    n = graph5.Data
    graph5.Row = i
    graph5.Data = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Next i
    graph6.ColumnCount = 1
    graph6.RowCount = 10
    graph6.ChartType = VtChChartType2dLine
    graph6.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Minimum = 0
    graph6.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.Maximum = 10
    graph6.Plot.Axis(VtChAxisIdY).ValueScale.MajorDivision = 1
    For i = 1 To graph6.RowCount - 1
        graph6.Row = i + 1
        n = graph6.Data
        graph6.Row = i
        graph6.Data = ""
    Next i
End Sub

Private Sub Reset_Click()
On Error GoTo HandleError
If Recorder.RecordCount <> 0 Then
   Recorder.MoveLast
  Do Until Recorder.RecordCount = 0
            Recorder.Delete
            ReadData
            Recorder.MoveLast
  Loop
End If
HandleError:
   If Err.Number = 3021 Then
   End If
End Sub

Private Sub Start_Click()
    connect1.CommPort = 4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    connect1.Settings = "9600,n,8,1"
    connect1.PortOpen = True
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Stop_Click()
    On Error Resume Next
    Timer1.Enabled = False
    connect1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    On Error Resume Next
    connect1.InputLen = 0
    datain = connect1.Input ' ÃÑº¤èÒÍÔ¹¾Øµ¨Ò¡à«¹à«ÍÃì
    Dim strX As String
      strX = datain
     ' If Mid(strX, 44, 1) = 13 Then
      t1 = Left(strX, 8)
      t2 = Mid(strX, 9, 7)
      t3 = Mid(strX, 16, 7)
      t4 = Mid(strX, 23, 7)
      t5 = Mid(strX, 30, 7)
      t6 = Mid(strX, 37, 7)

      s1 = Val(t1)
      s2 = Val(t2)
      s3 = Val(t3)
      s4 = Val(t4)
      s5 = Val(t5)
      s6 = Val(t6)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label1 = Round(s1, 2)
Label2 = Round(s2, 2)
Label3 = Round(s3, 2)
Label4 = Round(s4, 2)
Label5 = Round(s5, 2)
Label6 = Round(s6, 2)

value1 = Val(Label1.Caption)
Value2 = Val(Label2.Caption)
value3 = Val(Label3.Caption)
value4 = Val(Label4.Caption)
value5 = Val(Label5.Caption)
value6 = Val(Label6.Caption)

value_avg = (value1 + Value2 + value3 + value4 + value5 + value6) * 0.16667

'**************************************

Recorder.AddNew
Recorder.Fields("Sensor1") = value1
Recorder.Fields("Sensor2") = Value2
Recorder.Fields("Sensor3") = value3
Recorder.Fields("Sensor4") = value4
Recorder.Fields("Sensor5") = value5
Recorder.Fields("Sensor6") = value6
Recorder.Fields("Average") = value_avg
Recorder.Fields("Date") = Date
Recorder.Fields("Time") = Time
Recorder.Update
Recorder.Requery

'**************************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Data1 = Label1
Data2 = Label2
Data3 = Label3
Data4 = Label4
Data5 = Label5
Data6 = Label6

For i = 1 To graph1.RowCount - 1
   graph1.Row = i + 1
   n = graph1.Data
   graph1.Row = i
   graph1.Data = n
Next i
graph1.Column = 1
graph1.Row = graph1.RowCount
graph1.Data = Data1

For i = 1 To graph2.RowCount - 1
   graph2.Row = i + 1
   n = graph2.Data
   graph2.Row = i
   graph2.Data = n
Next i
graph2.Column = 1
graph2.Row = graph2.RowCount
graph2.Data = Data2

For i = 1 To graph3.RowCount - 1
   graph3.Row = i + 1
   n = graph3.Data
   graph3.Row = i
   graph3.Data = n
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Next i
graph3.Column = 1
graph3.Row = graph3.RowCount
graph3.Data = Data3

For i = 1 To graph4.RowCount - 1
   graph4.Row = i + 1
   n = graph4.Data
   graph4.Row = i
   graph4.Data = n
Next i
graph4.Column = 1
graph4.Row = graph4.RowCount
graph4.Data = Data4

For i = 1 To graph5.RowCount - 1
   graph5.Row = i + 1
   n = graph5.Data
   graph5.Row = i
   graph5.Data = n
Next i
graph5.Column = 1
graph5.Row = graph5.RowCount
graph5.Data = Data5

For i = 1 To graph6.RowCount - 1
   graph6.Row = i + 1
   n = graph6.Data
   graph6.Row = i
   graph6.Data = n
Next i
graph6.Column = 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    graph6.Row = graph6.RowCount
    graph6.Data = Data6

  'End If
End Sub

Private Sub view_Click()
  viewsensor.Show
End Sub
```

โปรแกรมวิเคราะห์ระบบข้อมูล

```
  Public Data As String
  Public tim As Byte
  Public Datatemp As Workspace
  Public TempRecorder As Database
  Public Recorder As Recordset
  Private Sub ReadData()
 On Error GoTo HandleError
        Recorder.MoveFirst
 Do While Not Recorder.EOF
        Recorder.MoveNext
 Loop
 Exit Sub
HandleError:
  MsgBox Error(Err.Number)
End Sub

Private Sub clear_Click()
On Error GoTo HandleError
If Recorder.RecordCount <> 0 Then
  Recorder.MoveLast
  Do Until Recorder.RecordCount = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Recorder.Delete
            ReadData
            Recorder.MoveLast
  Loop
End If
HandleError:
   If Err.Number = 3021 Then
   End If
End Sub

Private Sub Command2_Click()
On Error GoTo HandleError
If Recorder.RecordCount <> 0 Then
   Recorder.MoveLast
  Do Until Recorder.RecordCount = 0
            Recorder.Delete
            ReadData
            Recorder.MoveLast
  Loop
End If
HandleError:
   If Err.Number = 3021 Then
   End If
End Sub

Private Sub Command5_Click()
   about.Show
End Sub

Private Sub detail_Click()
   about.Show
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub display_graph_Click()
   graph_no1.Show
End Sub

Private Sub Command3_Click()
   On Error Resume Next
   Timer1.Enabled = False
   connect1.PortOpen = False
End Sub

Private Sub Form_Load()
    On Error Resume Next
      Set Datatemp = DBEngine.Workspaces(0)
      Set TempRecorder = Datatemp.OpenDatabase("D:\My
Project\DataBase\Datasensor.mdb", False, False)
      Set Recorder = TempRecorder.OpenRecordset("SELECT*FROM Temperature ORDER
BY Sensor1", dbOpenDynaset)
   connect1.PortOpen = False

End Sub

Private Sub keep_Click()
 On Error Resume Next
      Set Datatemp = DBEngine.Workspaces(0)
      Set TempRecorder = Datatemp.OpenDatabase("D:\My
Project\DataBase\Datasensor.mdb", False, False)
      Set Recorder = TempRecorder.OpenRecordset("SELECT*FROM Detail ORDER BY
Place", dbOpenDynaset)
      '***** Record Data ***************'
      Recorder.AddNew
      Recorder.Fields("Place") = Text1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Recorder.Fields("UserNo") = Text2
    Recorder.Fields("TempSetting") = Text3
    Recorder.Fields("TimeSetting") = Text4
    Recorder.Fields("AverageVal") = Text7
    Recorder.Fields("MaxVal") = Text5
    Recorder.Fields("MinVal") = Text6
    Recorder.Fields("Std") = Text8
    Recorder.Fields("Range") = Text9
    Recorder.Fields("Date") = Date
    Recorder.Fields("Time") = Time
    Recorder.Update
    Recorder.Requery
    '****************************************'
  connect1.CommPort = 4
  connect1.Settings = "9600,n,8,1"
  connect1.PortOpen = True
  tim = Text4.Text
  Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
  tim = tim - 1
  If tim = 0 Then
    Timer1.Enabled = False
    '******************** Start Cal Stat ************************'
      ' Declare object variables for Microsoft Excel,
' application workbook, and worksheet objects.
Dim xlApp As Excel.Application
Dim xlBook As Excel.Workbook
Dim xlSheet As Excel.Worksheet

' Assign object references to the variables. Use
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
' Add methods to create new workbook and worksheet
' objects.
Set xlApp = New Excel.Application
Set xlBook = xlApp.Workbooks.Add
Set xlSheet = xlBook.Worksheets.Add

' Assign the values entered in the text boxes to
' Microsoft Excel cells.
xlSheet.Cells(1, 1).Value = value1
xlSheet.Cells(1, 2).Value = Value2
 xlSheet.Cells(1, 3).Value = value3
xlSheet.Cells(1, 4).Value = value4
xlSheet.Cells(1, 5).Value = value5
xlSheet.Cells(1, 6).Value = value6

' Use the Formula method to add the values in
' Microsoft Excel.
xlSheet.Cells(1, 11).Formula = "=MAX(A1:F1)"
xlSheet.Cells(1, 12).Formula = "=MIN(A1:F1)"
xlSheet.Cells(1, 13).Formula = "=STDEV(A1:F1)"
xlSheet.Cells(1, 14).Formula = "=R1C11-R1C12"
Text5.Text = xlSheet.Cells(1, 11)
Text6.Text = xlSheet.Cells(1, 12)
Text8.Text = xlSheet.Cells(1, 13)
Text9.Text = xlSheet.Cells(1, 14)

' Save the Worksheet.
xlSheet.SaveAs "c:\Cal_ac.xls"

' Close the Workbook
xlBook.Close
' Close Microsoft Excel with the Quit method.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xlApp.Quit

' Release the objects.
Set xlApp = Nothing
Set xlBook = Nothing
Set xlSheet = Nothing

 End If
On Error Resume Next
 connect1.InputLen = 0
 datain = connect1.Input  ' ÃÑº¤èÒÍÔ¹¼Øµ¨Ò¡à«¹à«ÍÃì
 Dim strX As String
    strX = datain
    t1 = Left(strX, 8)
    t2 = Mid(strX, 9, 7)
    t3 = Mid(strX, 16, 7)
    t4 = Mid(strX, 23, 7)
    t5 = Mid(strX, 30, 7)
    t6 = Mid(strX, 37, 7)

    s1 = Val(t1)
    s2 = Val(t2)
    s3 = Val(t3)
    s4 = Val(t4)
    s5 = Val(t5)
    s6 = Val(t6)

    value1 = Round(s1, 2)
    Value2 = Round(s2, 2)
    value3 = Round(s3, 2)
    value4 = Round(s4, 2)
    value5 = Round(s5, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    value6 = Round(s6, 2)


    value_avg = (value1 + Value2 + value3 + value4 + value5 + value6) * 0.16667
    value_avg = Text7.Text
'**************************************
    Recorder.AddNew
    Recorder.Fields("Sensor1") = value1
    Recorder.Fields("Sensor2") = Value2
    Recorder.Fields("Sensor3") = value3
    Recorder.Fields("Sensor4") = value4
    Recorder.Fields("Sensor5") = value5
    Recorder.Fields("Sensor6") = value6
    Recorder.Fields("Average") = value_avg
    Recorder.Fields("Date") = Date
    Recorder.Fields("Time") = Time
    Recorder.Update
    Recorder.Requery

'**************************************
End Sub
```

โปรแกรมจำลองผลแบบกราฟฟิก (Simulation)

```
Private Sub Command1_Click()
   connect1.CommPort = 4
   connect1.Settings = "9600,n,8,1"
   connect1.PortOpen = True
   Timer1.Enabled = True
   Shape10.FillColor = QBColor(4)
   Shape9.FillColor = QBColor(1)
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer1_Timer()
   On Error Resume Next
   connect1.InputLen = 0
   datain = connect1.Input  ' ÃÑº¤èÒÍÔ¹¾Øµ¨Ò¡à«¹à«ÍÃì
   Dim strX As String
      strX = datain
      t1 = Left(strX, 8)
      t2 = Mid(strX, 9, 7)
      t3 = Mid(strX, 16, 7)
      t4 = Mid(strX, 23, 7)
      t5 = Mid(strX, 30, 7)
      t6 = Mid(strX, 37, 7)

      s1 = Val(t1)
      s2 = Val(t2)
      s3 = Val(t3)
      s4 = Val(t4)
      s5 = Val(t5)
      s6 = Val(t6)
       Label1 = Round(s1, 2)
      Label2 = Round(s2, 2)
      Label3 = Round(s3, 2)
      Label4 = Round(s4, 2)
      Label5 = Round(s5, 2)
      Label6 = Round(s6, 2)
   insertval.Text = Insert
    'checkcolor1
      If Label1 < Insert Then
         Shape1.FillColor = QBColor(1)
      Else
         Shape1.FillColor = QBColor(4)
      End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'checkcolor2
    If Label2 < Insert Then
       Shape2.FillColor = QBColor(1)
    Else
       Shape2.FillColor = QBColor(4)
    End If
 'checkcolor3
    If Label3 < Insert Then
       Shape3.FillColor = QBColor(1)
    Else
       Shape3.FillColor = QBColor(4)
    End If
'checkcolor4
    If Label4 < Insert Then
       Shape4.FillColor = QBColor(1)
    Else
       Shape4.FillColor = QBColor(4)
    End If
 'checkcolor5
    If Label5 < Insert Then
       Shape5.FillColor = QBColor(1)
    Else
       Shape5.FillColor = QBColor(4)
    End If
'checkcolor6
    If Label6 < Insert Then
       Shape6.FillColor = QBColor(1)
    Else
       Shape6.FillColor = QBColor(4)
    End If
    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมแสดงค่าความถี่ของช่วงอุณหภูมิต่างๆ (Histogram Graph)

```
Private Sub Command1_Click()
   connect1.CommPort = 4
   connect1.Settings = "9600,n,8,1"
   connect1.PortOpen = True
   Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
   On Error Resume Next
   connect1.InputLen = 0
   datain = connect1.Input  ' ÃÑº¤èÒÍÔ¹¼Øµ¨Ò¡à«¹à«ÍÃì
   Dim strX As String
      strX = datain
     ' If Mid(strX, 44, 1) = 13 Then
      t1 = Left(strX, 8)
      t2 = Mid(strX, 9, 7)
      t3 = Mid(strX, 16, 7)
      t4 = Mid(strX, 23, 7)
      t5 = Mid(strX, 30, 7)
      t6 = Mid(strX, 37, 7)

      s1 = Val(t1)
      s2 = Val(t2)
      s3 = Val(t3)
      s4 = Val(t4)
      s5 = Val(t5)
      s6 = Val(t6)

      value1 = Round(s1, 2)
      Value2 = Round(s2, 2)
      value3 = Round(s3, 2)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    value4 = Round(s4, 2)
    value5 = Round(s5, 2)
    value6 = Round(s6, 2)

'Plot Graph Histogram
graph1.ChartType = 1
graph1.RowCount = 1
graph1.ColumnCount = 12
graph1.RowLabel = "Histogram Graphical"

Select Case Column
  Case 1
    For Column = 1 To 12
      graph1.Column = Column
      graph1.Data = value1 <= 20
      graph1.Data = Value2 <= 20
      graph1.Data = value3 <= 20
      graph1.Data = value4 <= 20
      graph1.Data = value5 <= 20
      graph1.Data = value6 <= 20
      graph1.Data = Column + 1
    Next Column

  Case 2
    For Column = 1 To 12
      graph1.Column = Column
      graph1.Data = value1 > 21
      graph1.Data = value1 <= 22
      graph1.Data = Value2 > 21
      graph1.Data = Value2 <= 22
      graph1.Data = value3 > 21
      graph1.Data = value3 <= 22
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        graph1.Data = value4 > 21
        graph1.Data = value4 <= 22
        graph1.Data = value5 > 21
        graph1.Data = value5 <= 22
        graph1.Data = value6 > 21
        graph1.Data = value6 <= 22
        graph1.Data = (Column + 1) + 1
    Next Column

Case 3
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 22
        graph1.Data = value1 <= 23
        graph1.Data = Value2 > 22
        graph1.Data = Value2 <= 23
        graph1.Data = value3 > 22
        graph1.Data = value3 <= 23
        graph1.Data = value4 > 22
        graph1.Data = value4 <= 23
        graph1.Data = value5 > 22
        graph1.Data = value5 <= 23
        graph1.Data = value6 > 22
        graph1.Data = value6 <= 23
        graph1.Data = (Column + 3) + 1
    Next Column

Case 4
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 23
        graph1.Data = value1 <= 24
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        graph1.Data = Value2 > 23
        graph1.Data = Value2 <= 24
        graph1.Data = value3 > 23
        graph1.Data = value3 <= 24
        graph1.Data = value4 > 23
        graph1.Data = value4 <= 24
        graph1.Data = value5 > 23
        graph1.Data = value5 <= 24
        graph1.Data = value6 > 23
        graph1.Data = value6 <= 24
        graph1.Data = (Column + 5) + 1
    Next Column

Case 5
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 24
        graph1.Data = value1 <= 25
        graph1.Data = Value2 > 24
        graph1.Data = Value2 <= 25
        graph1.Data = value3 > 24
        graph1.Data = value3 <= 25
        graph1.Data = value4 > 24
        graph1.Data = value4 <= 25
        graph1.Data = value5 > 24
        graph1.Data = value5 <= 25
        graph1.Data = value6 > 24
        graph1.Data = value6 <= 25
        graph1.Data = (Column + 7) + 1
    Next Column

Case 6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
For Column = 1 To 12
    graph1.Column = Column
    graph1.Data = value1 > 25
    graph1.Data = value1 <= 26
    graph1.Data = Value2 > 25
    graph1.Data = Value2 <= 26
    graph1.Data = value3 > 25
    graph1.Data = value3 <= 26
    graph1.Data = value4 > 25
    graph1.Data = value4 <= 26
    graph1.Data = value5 > 25
    graph1.Data = value5 <= 26
    graph1.Data = value6 > 25
    graph1.Data = value6 <= 26
    graph1.Data = (Column + 9) + 1
  Next Column

Case 7
  For Column = 1 To 12
    graph1.Column = Column
    graph1.Data = value1 > 26
    graph1.Data = value1 <= 27
    graph1.Data = Value2 > 26
    graph1.Data = Value2 <= 27
    graph1.Data = value3 > 26
    graph1.Data = value3 <= 27
    graph1.Data = value4 > 26
    graph1.Data = value4 <= 27
    graph1.Data = value5 > 26
    graph1.Data = value5 <= 27
    graph1.Data = value6 > 26
    graph1.Data = value6 <= 27
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        graph1.Data = (Column + 11) + 1
    Next Column

Case 8
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 27
        graph1.Data = value1 <= 28
        graph1.Data = Value2 > 27
        graph1.Data = Value2 <= 28
        graph1.Data = value3 > 27
        graph1.Data = value3 <= 28
        graph1.Data = value4 > 27
        graph1.Data = value4 <= 28
        graph1.Data = value5 > 27
        graph1.Data = value5 <= 28
        graph1.Data = value6 > 27
        graph1.Data = value6 <= 28
        graph1.Data = (Column + 13) + 1
    Next Column

Case 9
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 28
        graph1.Data = value1 <= 29
        graph1.Data = Value2 > 28
        graph1.Data = Value2 <= 29
        graph1.Data = value3 > 28
        graph1.Data = value3 <= 29
        graph1.Data = value4 > 28
        graph1.Data = value4 <= 29
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        graph1.Data = value5 > 28
        graph1.Data = value5 <= 29
        graph1.Data = value6 > 28
        graph1.Data = value6 <= 29
        graph1.Data = (Column + 15) + 1
    Next Column

Case 10
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 29
        graph1.Data = value1 <= 30
        graph1.Data = Value2 > 29
        graph1.Data = Value2 <= 30
        graph1.Data = value3 > 29
        graph1.Data = value3 <= 30
        graph1.Data = value4 > 29
        graph1.Data = value4 <= 30
        graph1.Data = value5 > 29
        graph1.Data = value5 <= 30
        graph1.Data = value6 > 29
        graph1.Data = value6 <= 30
        graph1.Data = (Column + 17) + 1
    Next Column

Case 11
    For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 30
        graph1.Data = value1 <= 31
        graph1.Data = Value2 > 30
        graph1.Data = Value2 <= 31
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

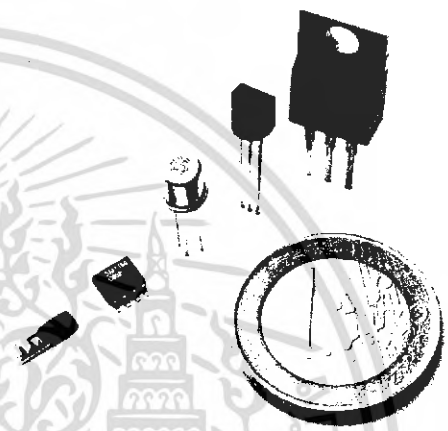
```
        graph1.Data = value3 > 30
        graph1.Data = value3 <= 31
        graph1.Data = value4 > 30
        graph1.Data = value4 <= 31
        graph1.Data = value5 > 30
        graph1.Data = value5 <= 31
        graph1.Data = value6 > 30
        graph1.Data = value6 <= 31
        graph1.Data = (Column + 15) + 1
      Next Column

    Case 12
      For Column = 1 To 12
        graph1.Column = Column
        graph1.Data = value1 > 31
        graph1.Data = Value2 > 31
        graph1.Data = value3 > 31
        graph1.Data = value4 > 31
        graph1.Data = value5 > 31
        graph1.Data = value6 > 31
        graph1.Data = (Column + 17) + 1
      Next Column
  End Select
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMT16030 DIGITAL TEMPERATURE SENSOR

Features

Absolute accuracy ± 0.7 °C
Linear output within 0.2 °C
Resolution better then 0.005 °C
Duty Cycle output
Calibrated on chip
TTL, CMOS compatible
Temperature range 175 °C (-45 to +130 °C)
Directly connectable to data input of microprocessor
Easy multiplexing of multiple sensors



Typical applications

Heater systems
Measuring instruments
Washing machines
Overheating protection
Appliances

Introduction

The Smartec temperature sensor is a sophisticated full silicon temperature sensor with a digital output. The one wire output (duty-cycle modulated) can be directly connected to all kinds of micro-controllers without the need of A/D conversion. The temperature range is –45 °C to 150 °C. The high resolution (< 0.005 °C) makes the sensor useful for high precision applications. The sensor is available in various housings like T018, T092, T0220 and for high volume production in SOIC. Special housing can be manufactured on request.

Product highlights

The SMART TEMPERATURE SENSOR features a duty-cycle modulated square wave output voltage with linear response to temperatures in the -45 °C to +130 °C range. The absolute accuracy is better than 1.2 °C. In the range from -30 to +100 °C absolute accuracy is better than 0.7 °C, while the linearity is better than 0.2 °C (Model TO18).

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The SMART TEMPERATURE SENSOR is calibrated during test and burn-in of the chip. The integrated modulator ensures the sensor unit can communicate effectively with low-cost microcontrollers without the need of (onboard) A/D converters or an Xtal controlled oscillator.

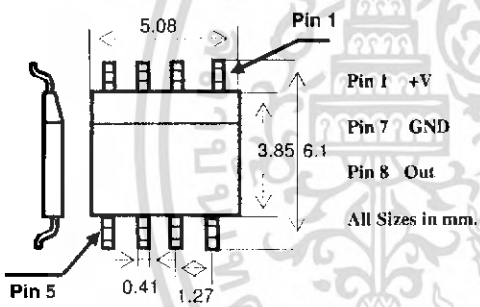
The SMART TEMPERATURE SENSOR combines digital output and on-chip calibration to ensure major cost reductions and performance-related advantages.

In applications where multiple sensors are used, easy multiplexing can be obtained by using a corresponding number of microprocessor inputs or by using low cost digital multiplexers.

Since the sensor requires no subsequent calibration, optimal cost savings are recorded both during manufacturing and in the course of after-sales servicing.

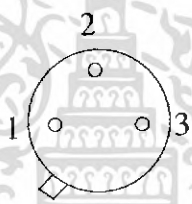
Pin-out and housing.

SOIC-8



TO92

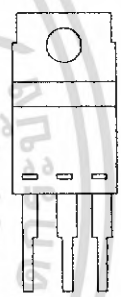
TO18



bottom view

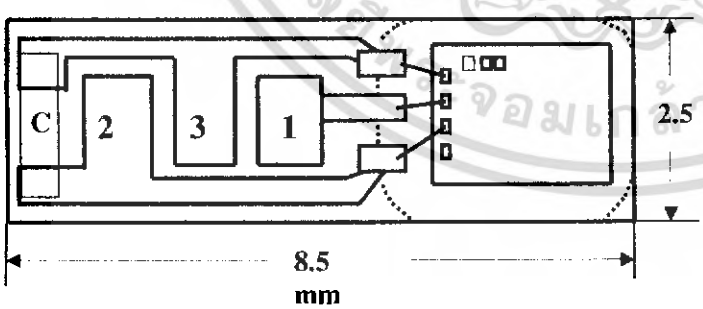
1 Output
2 + Vcc
3 GND

TO220



metal backplate = GND

HEC housing



C = 100 nF
(between Vcc and GND)

Pin 1 Output
Pin 2 + Vcc
Pin 3 GND

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands

WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Parameters	TO18 min	TO18 typ	TO18 max	TO92 max [1]	TO220 Max	HEC max	SOIC-8 max	Units
Supply voltage[2]	4.75	5	7.2	*	*	*	*	V.
Supply current	160		200	*	*	*	*	µA.
temperature range[3]	-45	-	130	*	*	*	*	°C
Total accuracy[4]	-30 + 100 °C		0.7	1.2	1.7	1.5	1	°C
	-45 + 130 °C		1.2	2	1.7	1.5	1.5	°C
Non linearity[5]			0.2	0.4	0.5	1.0	1.0	°C
Supply voltage sensitivity			0.1	*	*	*	*	°C/V
Repeatability			0.1	0.2	0.2	0.2	0.05	°C
Long term Drift			0.05	-	-	-	0.05	°C
Operating temperature	-45		130	*	*	*	*	°C
Storage temperature	-50		150	*	*	*	*	°C

Output

- duty cycle	=0.320+0.00470*t (t=temperature in C)							
- frequency	1	-	4	*	*	*	*	Khz
- noise			0.005	*	*	*	*	°C
- impedance			200	*	*	*	*	Ohm
- short circuit	infinite maximum current applied 40 mA							

1 * All not mentioned specifications are the same as for TO18
2 Case connected to ground
3 The SMT 30-160-18 can be used from -65 to +160 °C for a short period without physical damage to the device. The specified accuracy applies only to the rated performance temperature range.
4 Total accuracy includes all errors.
5 Applicable from -30 to +100 °C

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands

WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product description

The SMT160-30 is a three terminal integrated temperature sensor, with a duty-cycle output. Two terminals are used for the power supply of 5 Volts and the third terminal carries the output signal. A duty cycle modulated output is used because this output is interpretable by a micro-processor without A-D converter, while the analogue information is still available. The SMT160-30 (TO18 model) has an overall accuracy of 0.7 °C in the range from -30 C to +100 °C and an accuracy of 1.2 °C from -45 to +130 °C. This makes the sensor especially useful in all applications where "human" (climate control, food processing etc.) conditions are to be controlled. Due to its very high resolution (< 0.005K) this sensor is especially suited for applications where very accurate measurements are needed.

The CMOS output of the sensor can handle cable length up to 20 meters. This makes the SMT160-30 very useful in remote sensing and control applications.

Understanding the specifications.

It is important to understand the meaning of the various specifications and their effects on accuracy. The SMT160-30 is basically a bipolar temperature sensor, with accurate electronics to convert the sensor signal into a duty cycle. During production the devices are calibrated.

The output signal

The output is a square wave with a well-defined temperature-dependent duty cycle. The duty cycle of the output signal is linearly related to the temperature according to the equation:

$$D.C. = 0.320+0.00470*t$$

D.C. = duty cycle
t = Temperature in °C

A simple caleulation shows that - for instance- at 0 °C:

D.C.= 0.320 or 32.0 % and at 130 °C

D.C.= 0.931 or 93.1 %

In the output frequency of the sensor there is no temperature information, only the duty cycle contains temperature information in accordance to the formula given above. The output signal may show low frequency jitter or drift. Therefore most oscilloscopes and counters are not suited for verifying the accuracy of these sensors. The temperature information contained in the duty-cycle value, however, is guaranteed to be accurate within the values specified for each model (housing).

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands

WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Total accuracy

The mentioned equation is the nominal one. The maximum deviation from the nominal equation is defined as total accuracy. With temperatures above 100 °C the accuracy decreases.

Non linearity

Non-linearity as it applies to the SMT160-30 is the deviation from the best-fit straight line over the whole temperature range. For the temperature range of -30 °C to +100 °C the non-linearity is less than 0.2 °C (TO18).

Long-term drift

This drift strongly depends on the operating condition. At room temperature the drift is very low (< 0.05 °C). However at higher temperatures the drift will be worse, mainly because of changes in mechanical stress. This drift is partly irreversible and causes non-ideal repeatability and long-term effects. At temperatures above 100 °C (but in the operating range) a long-term drift better than 0.1 °C is to be expected.

Noise

The resolution is better than 0.005 °C. The standard deviation of the noise level (measured over a 20 ms. period) is below this 0.005 °C.

Time constants

The time constant of the sensor is measured under different circumstances.

To compare this with other types of sensors the same kind of measurements were done. The time eonstant is defined as the time required to reach 63% of an instantaneous temperature change.

The figures mentioned below are difficult to measure; an accuracy of around 5 % is a reasonable estimation. These figures only apply to the sensor built in a TO-18 housing and not the TO-92, the TO220 nor the naked chip. The values found only depend on the physical parameters of the measurement setup.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands

WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condition	timeconstant (s) (TO18)
mounted in an alu block of a certain temperature (mean value of different measurements)	0.6
in a bath filled with oil that was stirred (mean value of different measurements)	1.4
Moving air with a speed of about 3 m/s	
- without heatsink	13.5
- with heatsink	5
Non moving air	
-without heatsink	60
-with heatsink	100

Overview of time constants in different conditions

General operation

A simple way of measuring a duty cycle is to use a microcontroller. The sensor output can be directly connected to a microcontroller input. The microcontroller can determine the duty-cycle value by sampling the sensor output. If the microcontroller is not fast enough to determine the temperature accurately enough within one sensor output cycle, the sampling can be extended over multiple periods. This method has the advantage to filter out noise. From the theory of signal processing it can be derived that there is a fixed ratio between the sensors signal frequency, the sampling rate and the sampling noise. This sampling noise limits the accuracy and amounts to:

$$T_{error} = 200 * t_s / sqrt(6 * t_m * t_p)$$

T_{error} = measurement error (= standard deviation of the sampling noise)
t_s = microcontrollers sampling rate
t_m = total measurement time
t_p = output signal periodicity of the sensor

Microcontrollers can sample at a high frequency so with a simple program it is possible to measure the sensor's duty cycle within 50 ms and a resolution of .01 °C.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands
WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

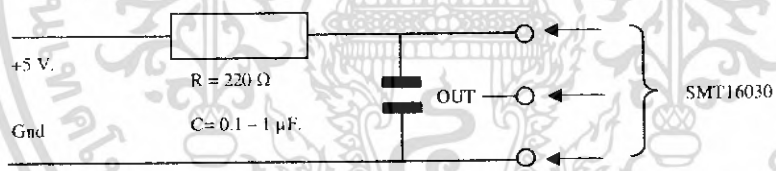
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTE:

The above mentioned error is NOT related to the intrinsic accuracy of the sensor. It just tells us what happens to the accuracy (standard deviation) of the measurement of a digital signal, when that signal is being sampled by a microcontroller.

About noise protection and how to prevent damage caused by a wrong power supply polarity.

The Smartec SMT16030 is based on a free running oscillator. Periodic spikes on the power supply line may make the oscillator synchronise, resulting in a false temperature reading. To overcome this problem it is advised to put a filter in the power supply line of the sensor. It is suggested to use a low pass RC filter as given below. An additional advantage also is the power supply polarity protection of the sensor. The resistor of 220 Ohm limits the current through the sensor to about 25 mA. At this current the sensor will survive a possible wrong power supply polarity. The software can detect the presence of the output signal and therefore a proper connection of the sensor. See below for a suggested diagram.



Power line noise filtering and polarity damage protection

For more information about how to measure duty cycles by means of a microcontroller, please refer to our application notes, available for download at our website WWW.SMARTEC.NL.

SMARTEC B.V, Delpratsingel 26
4811 AP Breda, The Netherlands

WWW.SMARTEC.NL
Tel: +31(0)765205353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้