สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องวัดสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกลอัจฉริยะ
Intelligent remote environment measuring machine

นาย อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

RCH
ว 366ก
2556
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137808
วัน เดือน ปี 16 ส.ค. 2556

.b 12701117
.i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2556
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) .....เครื่องวัดสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกลอัจฉริยะ.....

แหล่งเงิน (ระบุแหล่งทุน) เงินงบประมาณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ .....พ.ศ.2556..... **จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน**.....600,000.....**บาท**

ระยะเวลาทำการวิจัย.....1..... **ปี ตั้งแต่**....1 ตุลาคม 2555..ถึง.....30 กันยายน 2556

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) .....อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล.....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) .....ATTASIT LASAKUL.....

ตำแหน่งทางวิชาการ ...รองศาสตราจารย์..... สัดส่วนการวิจัย .....100 %.....

ภาควิชา .....สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... คณะ .....วิศวกรรมศาสตร์.....

โทรศัพท์ ...0840270185..... โทรสาร .....

E-mail .....klattasi@kmitl.ac.th.....

บทคัดย่อ

ในสภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน เราต้องเผชิญกับสภาวะทางธรรมชาติ ที่เป็นภัยอยู่มากมาย เช่น น้ำท่วม, พายุ และแผ่นดินไหว เป็นต้น. ดังนั้น การแจ้งเตือนหรือการจัดเก็บข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งมีหลายรูปแบบของข้อมูล จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับหรือสร้างแผนการป้องกันภัยในรูปแบบต่างๆ และการวัดค่าต่างๆ ของธรรมชาติในรูปแบบที่ผู้วิจัยได้เริ่มพัฒนามาก่อนนั้น ก็จะเป็นการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดไว้ในที่ต่างๆจำนวนมากน้อยก็แล้วแต่การความต้องการของผู้ใช้ และเมื่อผู้ใช้ต้องการทราบข้อมูลธรรมชาติ ผู้ใช้ก็สามารถดึงข้อมูลในแต่ละตัววัดที่ติดตั้งไว้ได้ทันที โดยการส่งคำสั่งที่หน้าจอระบบ GUI บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของตนเองผ่านระบบวิทยุสื่อสารไปสู่อุปกรณ์ตรวจวัดโดยตรงเลย ซึ่งก็สามารถใช้งานได้ระดับหนึ่ง แต่ประเด็นปัญหาหนึ่งที่ทางผู้วิจัยคิดว่าควรจะต้องคำนึงถึงก็คือ ระบบหรือรูปแบบ (Format) ของการรับส่งข้อมูลหรือคำสั่งจากผู้ใช้งานไปสู่เครื่องมือวัด คือการพัฒนาต่อยอดรูปแบบในการรับส่งข้อมูลแบบสามารถส่งผ่าน ตัววัดอื่นๆได้ (repeater) หากตัวที่ต้องการติดต่อด้วยอยู่ห่างไกลเกินรัสมีกำลังส่งของผู้ใช้ ซึ่งอันนี้จะให้ผลที่ดี หลายอย่าง เช่น การลดกำลังส่งของตัววัดแต่ละตัวได้ ส่งผลให้ราคาต่อหน่วยลดลงและสามารถใช้โมดูลอื่นแทนตัววิทยุรับส่งได้ เนื่องด้วยราคาที่แตกต่างกัน เช่น โมดูล Xbee เหล่านี้เป็นต้น ในทางกลับกันการเพิ่มจำนวนของตัววัดมากขึ้นอันเนื่องจากตัววัดไม่จำเป็นต้องใช้กำลังส่งสูงก็เป็นผลทำให้ มีข้อมูลของธรรมชาติที่มากขึ้นตามไปด้วย ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้จะได้เรียบเรียง เริ่มจากการออกแบบ,ขั้นตอนการทำงาน, การใช้งาน และผลการทดลองในระดับสนามต้นแบบเป็นลำดับไป

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller), สถานีทวนสัญญาณ(Repeater station)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: ..... Intelligent remote environment measuring machine .....
Researcher: Assoc.Prof.Dr. Attasit LASAKUL
Faculty: Engineering **Department:** .....Computer engineering

ABSTRACT

Nowadays, they are many problems/risk from nature such as bit storm etc. The system that designed for gather data around the huge area is very necessary. One system label as "Remote environment measuring machine via ratio system" was proposed in 2011. That first system, It was concentrated on how to send/receive data via radio transmitting by point to point. The back draws are power's consumption and maintenances cost. Because of the old system have been employed high powers in order to transmitting in long rang distance and it's required maintenance routine to checking that system is still working. Throes back draws have been solved by the new idea on this research. In this proposed research, I am still concentrate on how to send/receive data via radio signal but the data can be send/receive more distance and can be have more measure module by using repeater technique. By constructing the measure module with is capable act as repeater station. This make the system can be sent or received data more efficiency. Furthermore, the number of die measure module also can be report to the user as well. All new features have been tested and showed the result in the end of report. Finally, all this system can be implemented by using non-special material and all software are opened. This should be good opportunity to developing the system by others researcher.

Keywords: Microcontroller, Repeater station.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยครั้งนี้ จะไม่อาจสำเร็จได้เลย หากปราศจาก บุคคลเหล่านี้ ได้ให้ข้อมูลและคำเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเป็นอย่างมาก คือ รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื่อไพบูลย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์มาก ทั้งในเชิงวิชาการ และการนำไปใช้งานจริง และอีกคือกลุ่มคนชาวบ้านและเพื่อนๆ ที่ได้ให้พื้นที่เพื่อทำการทดลองทดสอบการทำงานซึ่งจำเป็นต้องใช้ในหลายๆจุด รอบๆ กรุงเทพฯ ตามจำนวนของ อุปกรณ์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น ขอขอบคุณทั้ง คุณพ่อและคุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจ ตลอดการทำการวิจัยนี้ จนทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และงานนี้จะไม่สำเร็จเลยหากปราศจากผู้ให้ทุนวิจัย ซึ่งก็คือ

"การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556".

รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	6
3.1 แนวคิดใหม่ของขบวนการสื่อสาร	7
3.1.1 ตัวอย่างการหา รายชื่อของการแสกนของโมดูลตัวลูก	10
3.2 ส่วนของ Hard ware	16
3.3 ส่วนของ Soft ware	19
3.3.1 โปรแกรมของตัวแม่ (Main module)	19
3.3.2 โปรแกรมของโมดูลตัวลูก (Client module)	20
3.4 การใช้งานของอุปกรณ์	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย	29
4.1 ผลวิจัยต่างๆ	29
4.1.1 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ	29
4.1.2 ทดสอบในสถานที่จริง	31
4.2 จุดเด่นของงานวิจัยนี้	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัยและคำเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก อุปกรณ์โมดูลการรับส่งข้อมูล Xbee Medel: Xbee-Pro XSC Rf module	37
ภาคผนวก ข ส่วนของโปรแกรม	40
ประวัตินักวิจัย	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงตารางเวลาการดำเนินการวิจัย	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เป็นบอร์ดประมวลผลกลาง เบอร์ 87FE6051 บริษัท Silaresearch จำกัด	4
2	แสดงรูปของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาใช้งานในงานวิจัย เบอร์ DS1820	5
3	แสดงรูปของตัวรีเลย์สำหรับการตัดต่อไฟฟ้าที่นำมาใช้งานในงานวิจัย	5
4	แสดงระบบของการใช้งานส่งคำสั่งและรับข้อมูลกลับของงานวิจัย	6
5	แสดงรูปแสดงรูปแบบคำสั่งจากตัวแม่ที่ส่งออกไป และรูปแบบข้อมูลอุณหภูมิที่ส่งกลับมา	7
6	แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งของตัวแม่และตัวลูกจำนวน 5 ตัว	8
7	แสดงรูปแบบคำสั่งของแนวคิดใหม่ และรูปบบข้อมูลกลับในกรณีของข้อมูลอุณหภูมิได้	9
8	ตัวอย่าง แผนผังการวางตำแหน่งของตัวโมดูลตัวลูก	11
9	ตัวอย่างการวางตำแหน่งของตัวโมดูลตัวลูกอีกรูปแบบหนึ่ง	13
10	แสดงถึงบล็อกฮาร์แวร์เบื้องต้นของตัวแม่และตัวลูก	16
11	แสดงรูปตัวเครื่องโมดูลตัวลูกที่สามารถลงบนกล่องขนาดเล็กได้อย่างลงตัว	17
12	แสดงโมดูล Xbee ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	17
13	โฟร์ชาร์ท โปรแกรมตัวแม่ (Main module)	19
14	โฟร์ชาร์ท โปรแกรมตัวโมดูลตลูก (Client module)	21
15	แสดงรูปแบบของคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบ (สแกน) หาตัวที่เป็นเส้นทางส่งคำสั่ง/ข้อมูลต่อ	23
16	แสดงรูปของต้นแบบส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทดสอบเบื้องต้น	24
17	แสดงให้เห็นส่วนของสายสัญญาณต่างเพื่อการแสดงสภาวะการทำงาน	24
18	แสดงส่วนของโปรแกรมหลักตัวแม่ (GUI) ที่ผู้ใช้จะต้องสั่งงานผ่าน	25
19	แสดงตัวเปลี่ยนหัวต่อแบบอนุกรม (RS-232C) เป็น USB	25
20	แสดงตัวเครื่องโมดูลตัวแม่และสายเชื่อมต่อ USB to Serial สำหรับตัวคอมพิวเตอร์	26
21	แสดงจุดที่ผู้ใช้จะต้องใช้เป็นข้อมูลใช้งานโปรแกรม GUI	26
22	แสดงการสั่งให้ติดต่ออ่านอุณหภูมิกับโมดูลตัวลูกตัวหมายเลข 3 และสั่งให้รีเลย์เปิดด้วย	27
23	แสงผลหากไม่มีข้อมูลกลับมาที่ตัวแม่ในเวลาที่กำหนด	27
24	แสงผลหากไม่มีข้อมูลกลับมาที่ตัวแม่ในเวลาที่กำหนด	27
25	แสดงผลของตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการอ่านเก็บบันทึกไว้ในไฟล์ชื่อ Data_Two.txt	28
26	แสดงการจัดวางโมดูลตัวลูกในการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ	29
27	ผลที่กลับมาจากการส่งคำสั่งไปอ่านอุณหภูมิตัวลูกหมายเลข 3	30
28	ผลที่กลับมาจากการส่งคำสั่งไปอ่านอุณหภูมิตัวลูกหมายเลข 7	30
29	ผลที่ได้จากการเซฟไฟล์เก็บไว้ในแผ่นข้อมูล	30
30	แสดงรูปแบบของการจัดวางตัวโมดูลตัวลูกทั้ง 8 ตัว	31
31	แสดงรูปแบบติดตั้งตัวลูกในบ้านหลังแรก	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาพที่ หน้า

32 แสดงรูปแบบการติดตั้งตัวโมดูลตัวลูกในบ้านหลังที่สอง 32
33 แสดงรูปแบบการติดตั้งโมดูลตัวลูกในพื้นที่สนาม 32
34 แสดงผลที่อ่านได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกตัวที่ 4 33
35 แสดงผลที่อ่านได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกตัวที่ 7 33
36 แสดงผลของการเซฟไฟล์ที่ได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกทั้งสองคือ 4 และ 7 33

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

ในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้จะได้ เรียงหัวข้อตามรูปแบบมาตฐาน คือ ปัญหาที่มา, ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, วิธีดำเนินการวิจัย และผลการวิจัย ซึ่ง จะได้เน้นส่วนที่เป็นผลการวิจัย เพื่อการพัฒนาปรับปรุงต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องมาจาก การที่ผู้วิจัย ได้นำเสนองานวิจัยเพื่อขอทุนสนับสนุนจากเงินรายได้คณะวิศวฯ ในปี 2552 เรื่อง "เครื่องวัดระยะไกลผ่านวิทยุสื่อสาร" ซึ่งเป็นงานวิจัยครั้งแรกในการสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิระยะไกลโดยใช้การสื่อสารทางวิทยุสื่อสาร โดยนำเสนอการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อม (ในงานวิจัยเลือกการวัดอุณหภูมิเป็นตัวอย่าง) ที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่าเป็นตัวลูก (Client) จำนวนหลายๆตัวที่สามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่ห่างไกลหลายๆในตำแหน่งที่ต้องการวัด โดยการใช้งานคือผู้ใช้เองสามารถใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปที่ติดตั้งโปรแกรมเฉพาะที่ทำขึ้น ทำการต่อเชื่อมกับเครื่องตัวแม่ (Main) ที่ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ของตัวผู้ใช้เอง ทำการสั่งงานเพื่อวัดค่าจากตัวลูกที่อยู่ห่างไกลที่ต้องการได้ทันที งานวิจัยแรกนี้มีจุดเด่นคือสามารถทำงานได้ในพื้นที่ ที่สัญญาณโทรศัพท์เข้าไปไม่ถึง เช่น พื้นที่ภูเขาได้ เพราะในงานวิจัยได้ใช้วิทยุสื่อสารเป็นสื่อในการส่งคำสั่งหรือรับข้อมูลจากตัวลูก ต่อมาในปี 54 ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาต่อเนื่องกับงานวิจัยนี้อีกครั้ง โดยนำเสนอรูปแบบของการรับและส่งข้อมูล อยู่บนคลื่นวิทยุสื่อสารเช่นเดิม หากแต่เพิ่มความสามารถให้สามารถรับส่งได้ไกลมากขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มกำลังส่งของเครื่องวิทยุตัวลูกเลย ซึ่งใช้วิธีกำหนดให้ตัวลูกแต่ละตัวสามารถทำตัวเองเป็นตัวทวนสัญญาณเพื่อส่งหรือรับสัญญาณต่อกันเป็นทอดๆไปได้ ดังนั้นถึงแม้ตัวแม่จะมีกำลังเครื่องส่งสัญญาณที่แรงไม่พอถึงตัวลูกที่ต้องการติดต่อก็สามารถทำงานได้ โดยการพัฒนานี้ได้เสนอขอทุนวิจัยจาก สำนักคณะกรรมการวิจยแห่งชาติของปีงบประมาณ 2554 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการกว่า 100% แล้วกำหนดส่งตามหมายกำหนดการคือ เดือน กันยายน พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมานี้ และจากการวิจัยทั้งสองเรื่องต่อเนื่องกันที่ผ่านมา ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงจุดที่ควรจะพัฒนาต่อเนื่องต่อไปอีกให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นไปอีกขั้น เพราะปัญหาที่พบส่วนหนึ่งคือในการติดต่อด้วยวิทยุสื่อสารนั้น คลื่นความถี่เหล่านี้จะเป็นคลื่นที่มีโอกาศถูกรบกวนได้ง่ายเพราะเป็นคลื่นที่บุคคลอื่นก็สามารถใช้งานได้ทำให้ข้อมูลผิดพลาดได้ (เหตุสุดวิสัย) ซึ่งก็สามารถแก้ปัญหาได้ในระดับหนึ่งคือการส่งซ้ำจนกว่าจะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง แต่ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างก็คือหากในเส้นการรับส่งนั้น มีตัวลูกตัวใดเสียหายไม่ทำงาน ก็จะทำให้ระบบนั้นทำงานไม่ได้เลย อันนี้จึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยได้มีแนวคิดของการพัฒนาจุดนี้คือ การทำให้ตัวลูกทุกตัวนอกจากจะทำตัวเองเป็นสถานีทวนสัญญาณดังที่ผ่านมาแล้ว ยังต้องสามารถสแกนหาตัวลูกตัวอื่นที่ตนเองสามารถติดต่อได้เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดให้ข้อมูลหรือคำสั่งนั้นสามารถส่งผ่านตัวมันไปสู่ตัวลูกตัวต่อไปได้ ทำให้ข้อมูลจากตัวแม่สามารถผ่านไปสู่ตัวลูกที่อยู่ห่างไกลได้ถึงแม้ว่าตัวลูกบางตัวจะเสียหายไปบ้าง เพราะการแสกนของตัวลูกแต่ละตัวนั้นจะสแกนหาตัวลูกตัวอื่นที่ทำงานได้และเส้นทางที่ใกล้สุดสู่ตัวลูกเป้าหมายนั่นเอง อันนี้ก็จะทำให้ระบบวัดสิ่งแวดล้อมฉลาดมากขึ้น มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อนึ่ง ในแนวคิดนี้ ผู้วิจัยได้เสนอขอทุนการทำวิจัยไปกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์โดยเป็นทุนเงินรายได้ของคณะในปี 2555 ซึ่งได้รับการตัดสินว่าจะได้ทำวิจัยนี้ได้ และหากได้รับทุนดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญมาก นั่นคือเงินทุนวิจัยในงบประมาณนั้นถูกกำหนดไว้แล้วโดยทางคณะซึ่งน้อยมาก ทำให้สามารถทำได้ก็เพียงแนวคิดที่ต้องทดสอบบน อุปกรณ์รับส่งขนาดที่ ณ. ตอนนี้มีขนาดและกำลังส่งที่เล็กมากๆ (เช่น Xbee) เท่านั้น ไม่สามารถทดลองกับสถานที่จริงๆได้ ซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องใช้งานกับเครื่องวัดตัวลูกที่สื่อสารวิทยุจริงๆ หรือโมดูล Xbee ที่สามารถส่งได้ระยะที่ไกลๆ ให้เป็นระบบดังที่ผู้วิจัยได้ ทำวิจัยไว้เป็นแนวทางมาแล้วในงานวิจัยครั้งแรก ปี 2552 และ ปี 2554 ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยล่าสุดนี้จะต้องมีการสร้างตัวลูกเหล่านี้เป็นจำนวนมากขึ้นกว่าเดิมมาก เพราะต้องมีการทดสอบในกรณีของการติดต่อผิดพลาดในกรณีต่างๆ ให้ได้มากที่สุด ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า แหล่งทุนวิจัยของ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จะเป็นแหล่งทุนที่สามารถเปิดโอกาศให้งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างจริงจัง และบัดนี้ก็ได้รับการสนับสนุนดังกล่าว ดังนั้นในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้จึง น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปต่อยอดการพัฒนาของนักวิจัยท่านอื่นๆ ที่ต้องการพัฒนาต่อยอดให้ตรงกับงานในส่วนของตนเอง ในอนาคต.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดค่าสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ระดับอุณหภูมิระยะไกลที่มีความสามารถดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น โดยการออกแบบก็จะใช้สภาพการใช้งานจริงมาพิจารณาร่วม พร้อมทั้งให้คงไว้ซึ่งการใช้อุปกรณ์ที่มีภายในประเทศที่ใช้งานได้จริง เพื่อให้เป็นต้นแบบ ให้นักวิจัยไทยท่านอื่นๆ ได้สามารถสร้างหรือต่อยอดความสามารถได้อย่างอิสระ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกล โดยเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัยจำนวน 1 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วย

<u>ส่วนของซอฟร์แวร์</u>

- เป็นซอฟร์แวร์ที่สามารถติดตั้งใช้งานได้บนระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC:windows) ให้มีคุณสมบัติเบื้องต้นดังต่อไปนี้
  - ใช้ติดต่ออ่านค่าหรือสั่งการเปิดปิดสวิทช์ได้โดยการใช้ระบบแบบ GUI
  - สามารถนำผลที่ได้ต่างๆจัดเก็บบนแผ่นข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ทีหลังได้

<u>ส่วนของฮาร์ดแวร์</u>

- ตัวอย่างระบบจัดเก็บพลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (ต้นแบบ) สำหรับโมดูลตัวลูกจำนวน 1 ชุด
- ส่วนของโมดูลเครื่องตรวจวัดตัวลูกทั้งหมดจำนวน 8 ตัว
- ส่วนของโมดูลเครื่องรับส่งสัญญาณตัวแม่จำนวน 1 ตัว
- อุปกรณ์สามารถหาได้ในประเทศ, ใช้กลไกลที่ไม่ซับซ้อนเกินจำเป็นในการติดตั้งกับสภาพการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะปฏิบัติการออกแบบและสร้างต้นแบบ ที่ตึก 12 ชั้น ห้อง E12-1110 ซึ่งเป็นห้องวิจัยของผู้วิจัยเอง หลังจากทำการสร้างต้นแบบได้แล้ว ก็จะนำไปทดสอบกับพื้นที่จริง คือ รอบๆ เขตของพื้นที่ลาดกระบัง ซึ่งอาจเป็นที่พักอาศัยของชาวบ้านในพื้นที่ต่างๆรอบเขตลาดกระบัง เพื่อเก็บข้อมูลปรับปรุงต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เป็นต้นแบบของ อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพสิ่งแวดล้อม ที่มีความสามารถในการนอกจากจะใช้ในการรับส่งข้อมูลระยะที่ไกลแล้ว ยังสามารถบอกได้ถึงตัวโมดูลตัวตรวจวัดตัวลูก ซึ่งจะเป็นประโยชน์มาก เพราะหากมีตัวโมดูลตัวลูกตัวใดเสียหายก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการค้นหา นำมาซ่อมแซมแต่หากเราทราบว่าเป็นตัวใด ก็จะประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการนำตัวที่เสียจริงๆนั้นกลับมาซ่อมได้ เมื่อระบบนี้สามารถทดสอบและทำงานได้ตามประสงค์ ก็น่าจะเป็นประโยชน์ทั้งต่อการศึกษาของนักศึกษา หรือเป็นตัววัดประจำที่ในพื้นที่สำหรับงานด้านเขื่อนหรือชลประทาน เป็นต้น และผู้วิจัยคาดหวังว่า หากสามารถนำไปต่อยอดโดยการออกแบบส่วนของการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้งานต่างๆ แล้ว ก็จะเกิดประโยชน์มากขึ้นไปอีกสำหรับการใช้งานจริง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

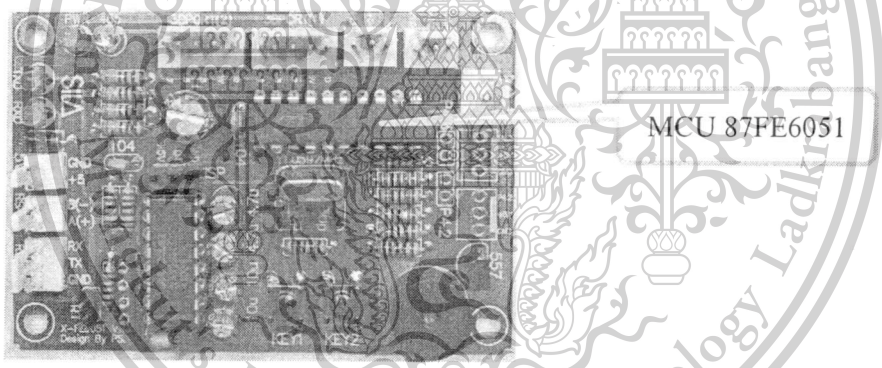
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในเรื่องของเครื่องวัดสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกลที่ได้นำเสนอนี้ ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่าเป็นงานที่ผู้วิจัยได้ทำต่อเนื่องมาจากงานวิจัยแรกๆ ผู้วิจัยยังไม่พบที่ใช้หลักการเดียวกัน และส่วนใหญ่ก็จะมีเป็นของบริษัทใหญ่ๆ ในต่างประเทศ ที่พอมีบ้างและข้อมูลก็ปกปิดทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบ แต่ในความเห็นของผู้วิจัยแล้ว หากเราสามารถสร้างเครื่องตรวจวัดระยะไกลที่ได้รับการทดสอบเพื่อที่ให้ผลได้ความถูกต้องที่ยอมรับได้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยที่ใช้อุปกรณ์ที่หาได้ในเมืองไทยเอง ก็น่าจะเป็นการคุ้มค่าต่อการสร้างใช้งาน

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วน ทฤษฎีอุปกรร์ที่เกี่ยวข้องนั้น จะมีอยู่ด้วยกันดังนี้

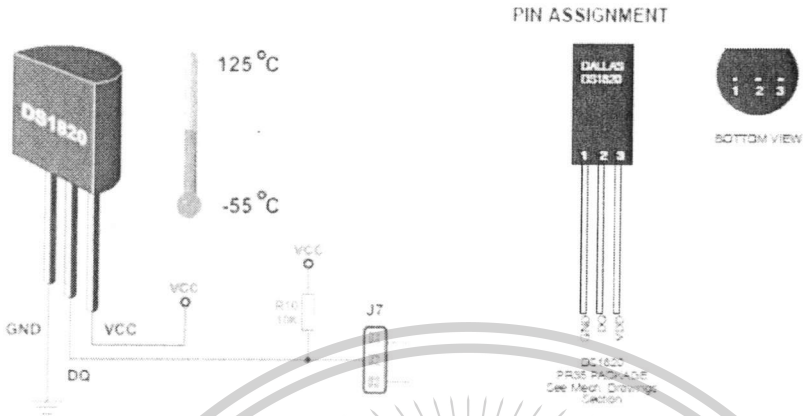
การออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์จะเป็นการใช้ งานตัวประมวลผลแบบคอมพิวเตอร์ฝังตัว โดยผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ MCS-51 โดยเลือกเป็นแบบที่มีขนาดเล็กมากสุดที่มีความสามารถคุ้มค่าทั้งราคาและประสิทธิภาพที่พอเพียงต่องานที่ต้องการใช้ ได้เลือก เบอร์ 87FE6051 ของบริษัท MEGAWIN [1]



รูปที่ 1 เป็นบอร์ดประมวลผลกลาง เบอร์ 87FE6051 บริษัท Silaresearch จำกัด

ซึ่งสามารถหาได้ในประเทศและราคาที่ถูก และส่วนอื่นของฮาร์ดแวร์ก็ได้แก่ส่วนของตัววัดอุณหภูมิ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้เป็นไอซีสำเร็จรูปขนาด 3 ขา เบอร์ DS1820 [2] ที่มีการเชื่อมต่อเป็น I2C ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีขนาดที่เล็ก ทำให้การติดตั้งสะดวก รูปของ ไอซีวัดอุณหภูมิแสดงไว้ดังรูปที่ 2 โดยสามารถตั้งสเต็ปหรือความละเอียดของค่าที่วัดได้หลายแบบโดยวิธีการทางซอฟร์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2 แสดงรูปของตัววัดอุณหภูมิที่นำมาใช้งานในงานวิจัย เบอร์ DS1820

ในส่วนอื่นของฮาร์ดแวร์ก็จะเป็นส่วนของ อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าที่ได้ทำการติดตั้งเพื่อการควบคุมในระยะไกลได้เช่นกัน ได้เลือกเป็น รีเลย์ขนาดเล็ก แต่สามารถนำไปใช้ตัดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้สูง หรือไฟกระแสตรง ได้ เช่นกัน ได้เลือกใช้เบอร์ที่เลือกสามารถใช้ได้หลายเบอร์แต่ที่เล็กเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ 3

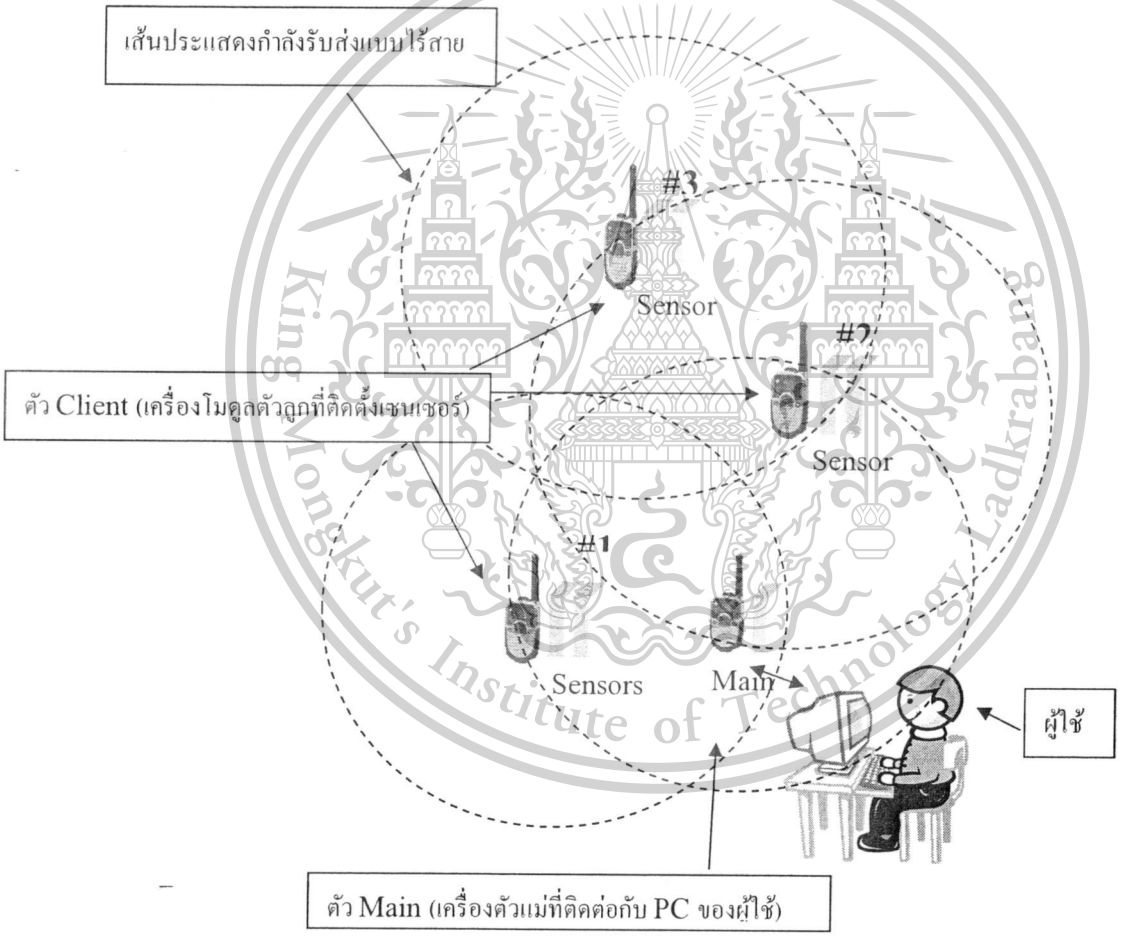
รูปที่ 3 แสดงรูปของตัวรีเลย์สำหรับการตัดต่อไฟฟ้าที่นำมาใช้งานในงานวิจัย

ส่วนของตัวอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลนั้น ได้เลือกใช้โมดูล Xbee ที่จะได้ให้รายละเอียดในส่วนของบทที่ 3 เรื่องของวิธีดำเนินการวิจัยต่อไป ในส่วนของซอฟร์แวร์สำหรับตัวแม่และโมดูลตัวลูกนั้น ได้ออกแบบการทำงาน เป็นโปรแกรมที่ทำงานในลักษณะเดียวกันหมดของโมดูลตัวลูกทุกตัว คือเรื่องของโปรแกรมย่อยต่างๆ เช่น ส่วนโปรแกรมย่อยของการตรวจสอบอุปกรณ์โมดูลรอบตัวเพื่อหาเส้นทางเดิน, โปรแกรย่อยของการส่งคำสั่งต่อเนื่องไปสู่โมดูลตัวต่อไป หรือโปรแกรมย่อยของการส่งข้อมูลอุณหภูมิกลับโดยการผ่านตัวโมดูลที่ถูกต้องหล่านี้ เป็นต้น และในตัวโปรแกรมของส่วนตัวแม่ที่มีการติดตั้งเชื่อมต่อสายโดยตรง แบบอนุกรมกับตัวคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้นั้น ก็มีลักษณะการทำงานแบบเดียวกันหากเพียงแต่ไม่มีส่วนของการอ่านอุณหภูมิและส่วนของการติดต่อกับรีเลย์เท่านั้น ซึ่งในรายละเอียดนั้นจะเป็นดังในรายละเอียดที่ปรากฏใน บทที่ 3 เรื่องของวิธีดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

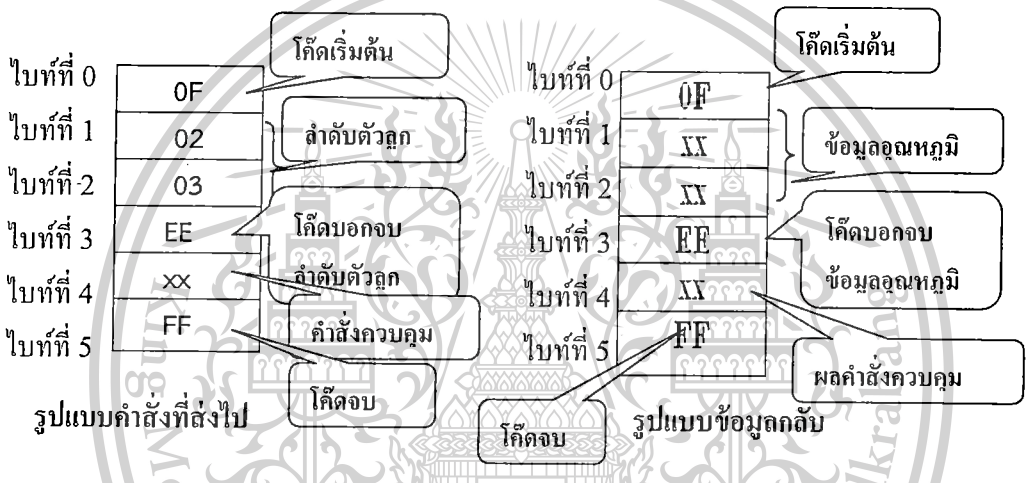
สืบเนื่องจากแนวคิดของการนำเอาโมดูลตัวลูก ที่นอกจากจะสามารถทำงานในรูปบบตัวทวนสัญญาณแล้ว ยังต้องสามารถจดจำเบอร์ของโมดูลที่อาจมีเสียหายไว้และส่งเป็นข้อมูลกลับมาพร้อมกับข้อมูลอุณหภูมิ สู่ผู้ใช้งานด้วย ทำให้ต้องมีการทดสอบการทำงานโดยการวางรูปแบบหลายๆรูปแบบ เพื่อหาข้อบกพร่องให้มากที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้แสดงรูปแบบของการใช้งานโดยรวมดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงเพียง 3 ตัวโมดูลตัวลูกเท่านั้น



รูปที่ 4 แสดงระบบของการใช้งานส่งคำสั่งและรับข้อมูลกลับของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในรูปที่ 4 แสดงการติดต่อกันแบบเป็นทอดๆ โดยทุกตัวของตัวลูกจะทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ หากตัวแม่ไม่ได้ประสงค์จะอ่านค่าอุณหภูมิของตนเอง ตัวอย่างเช่น ตัวแม่ต้องการอ่านข้อมูลอุณหภูมิของตัวลูกหมายเลข 3 จะเห็นว่าสัญญาณตัวแม่ไม่สามารถส่งไปถึงตัวลูกหมายเลข 3 ได้ ก็ต้องส่งคำสั่งอ่านอุณหภูมิไปที่หมายเลข 2 ก่อน จากนั้นตัวลูกหมายเลข 2 ก็ส่งคำสั่งนั้นต่อไปที่ หมายเลข 3 เมื่อตัวหมายเลข 3 ทราบว่าเป็นการอ่านค่าอุณหภูมิของตนเอง ก็จะส่งข้อมูลนั้นกลับมาตามเส้นทางเดิมคือผ่านมาที่หมายเลข 2 และกลับสู่ตัวแม่ต่อไป ดังนั้นในงานวิจัยที่ผ่านมาคำสั่งที่ออกจากตัวแม่ก็จำเป็นจะต้องกำหนดเส้นทางไว้ก่อน ดัง ตัวอย่างนี้ก็เป็นดังนี้ อนึ่งในรูปที่ 4 ชุดรับส่งวิทยุจะเปลี่ยนเป็นโมดูล Xbee ดังเหตุผลที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 5 แสดงรูปแสดงรูปแบบคำสั่งจากตัวแม่ที่ส่งออกไป และรูปแบบข้อมูลอุณหภูมิที่ส่งกลับมา

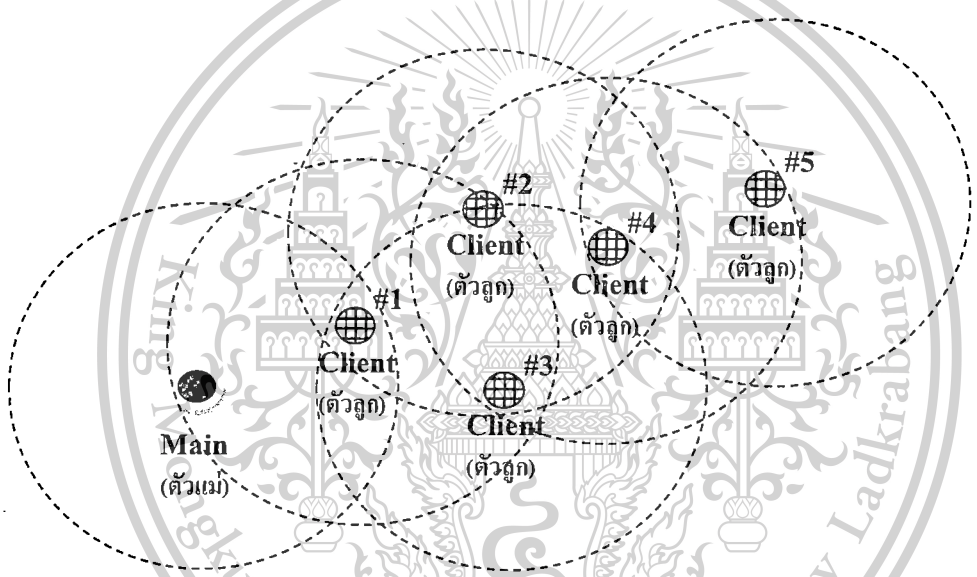
3.1 แนวคิดใหม่ของขบวนการสื่อสาร

จากรูปแบบในรูปที่ 4 หากเป็นระบบเดิมนั้น รูปแบบเส้นทางในการวิ่งไปและกลับของสัญญาณที่จะผ่านตัวโมดูลตัวลูกแต่ละตัวจะถูกกำหนดไว้โดยผู้ออกแบบติดตั้งระบบ ในตอนทำการติดตั้งตำแหน่งของตัวโมดูลตัวลูกแต่ละตัวเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในกรณีที่หากตัวลูกที่เป็นตัวทวนสัญญาณระหว่างทางตัวใดตัวหนึ่งเสีย ก็จะทำให้ไม่สามารถใช้งานได้กับตัวอื่นๆ ที่อยู่ไกลออกไปได้เลย ดังนั้นแนวคิดใหม่เบื้องต้นที่นำเสนอก็คือ ทำให้ตัวลูกแต่ละตัวมีความฉลาดมากขึ้น โดยกำหนดให้มีการสแกนหาตัวลูกตัวอื่นที่อยู่รอบตัวเองที่สัญญาณตัวเองสามารถส่งไปถึงได้ว่ามีตัวใดใช้งานได้ และตัวที่ใช้งานได้นั้นตัวใดใกล้กับตัวเป้าหมายที่ตัวแม่ต้องการติดต่อด้วยมากที่สุด ก็จะเลือกตัวลูกนั้นในการส่งผ่านคำสั่งหรือข้อมูลออกไป แต่หากไม่มีตัวใดทำงานเลยก็ทำการเก็บหมายเลขของตัวที่เสียเหล่านั้นกลับสู่ตัวแม่ให้ทราบ เพื่อผู้ใช้จะได้วางแผนการแก้ไขต่อไปภายหลัง ดังนั้น เส้นทางของการเดินทางคำสั่งจากตัวแม่ไปสู่ตัวลูกเป้าหมาย และเส้นทางข้อมูลกลับจากตัวเป้าหมายไปสู่ตัวแม่อาจไม่เป็นเส้นทางเดียวกันก็ได้ เพราะอาจมีตัวใดไม่ทำงานในระหว่างการเดินทางกลับของข้อมูลก็อาจเป็นได้ แต่ข้อมูลก็สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กลับมาได้เพราะใช้ตัวลูกตัวอื่นที่อยู่ใกล้เคียงนั่นอง ซึ่งในการกำหนดเส้นทางการวิ่งของสัญญาณในงานวิจัยนี้ก็ยังคงถูกกำหนดไว้ก่อนโดยผู้ติดตั้งระบบเช่นเดิม หากแต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมนอกจากการกำหนดเส้นทางก็จะมีการกำหนดให้ตัวโมดูลตัวลูกแต่ละตัว มีการสแกนหาเส้นทางรอบตัวเองอัตโนมัตินั้นเอง ตรงนี้จะทำให้แต่ละตัวจะมีลักษณะของการสแกนรอบตัวที่ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ก็เพราะเบอร์ของตัวลูกแต่ละตัวจะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องมีการออกแบบ บัญชีจำนวนรายชื่อของโมดูลอื่นที่อยู่รอบของตัวที่โมดูลที่จะทำการสแกนแตกต่างกันไป นั่นคือแต่ละโมดูลตัวลูกจะมีรายชื่อของการสแกนที่ไม่เหมือนกันนั่นเอง

. ซึ่งขอแสดงตัวอย่างเบื้องต้น ดังนี้ โดยกำหนดให้รูปแบบของการวางตัวลูกในระบบวัดสิ่งแวดล้อมเป็นดังรูปที่ 6 ดังนี้



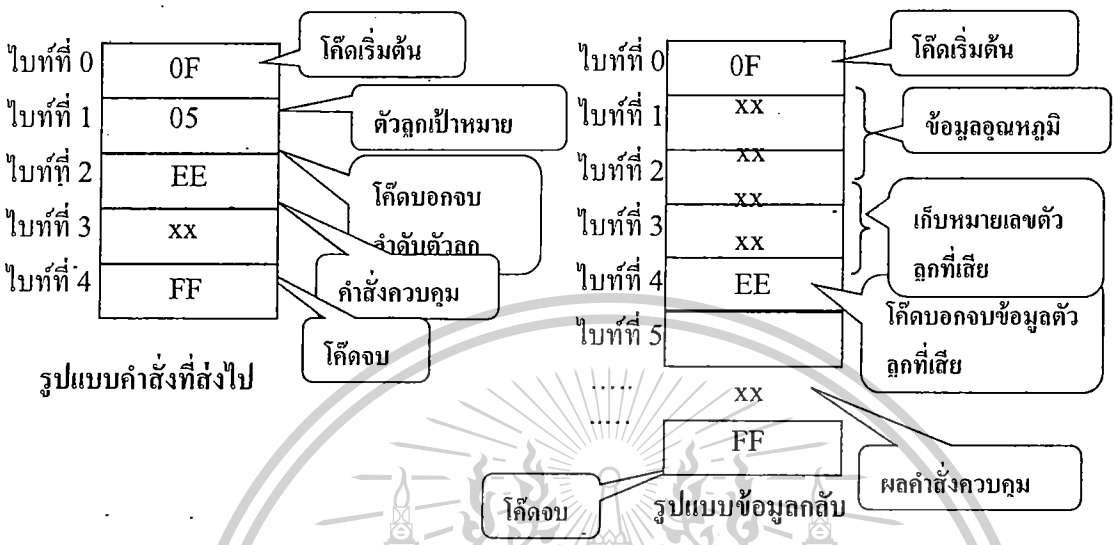
รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งของตัวแม่และตัวลูกจำนวน 5 ตัว

จากรูปที่ 6 สมมุติเราต้องการส่งคำสั่งจากตัวแม่ (main) ไปอ่านอุณหภูมิตัวโมดูลตัวลูก (Client) ตัวที่ 5 เราจะมีเส้นทางการเดินทาง ที่สั้นที่สุดที่ควารจะเป็นดังนี้

ตัวแม่ → ตัวลูก #1 → ตัวลูก #2 → ตัวลูก #4 → ตัวลูก #5

ในแนวคิดใหม่นี้ รูปแบบของจำนวนคำสั่งก็จะสั้นลงเพราะไม่จำเป็นต้องบอกเส้นทางการเดินทางไปสู่ตัวเป้าหมายว่าผ่านตัวลูกตัวใดบ้าง (ตัวลูกแต่ละตัวจะทำการค้นหาเส้นทางเองตามรายชื่อที่ถูกกำหนดไว้แล้ว) ดังนั้นรูปแบบคำสั่งที่ควรจะเป็นในเบื้องต้น(อาจมีการปรับปรุงตามความเหมาะสมต่อไป) ก็แสดงดังรูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 7 แสดงรูปแบบคำสั่งของแนวคิดใหม่ และรูปบบข้อมูลกลับในกรณีของข้อมูลอุณหภูมิได้

ในรูปที่ 7 นั้น รูปแบบคำสั่งที่ส่งไปจะมีเพียง 5 ไบท์เท่านั้น เพราะจะมีเพียงตัวลูกเป้าหมายเท่านั้นที่เป็นกุณแจสำคัญในการนำไปคำนวณหาเส้นทางของตัวลูกอื่นๆ แต่ในส่วนของข้อมูลที่จะวิ่งกลับมานั้น จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ก็คือในจำนวนไบท์ที่เก็บหมายเลขของตัวลูกที่ไม่ทำงานก็จะมีจำนวนมากน้อยตามเป็นจริง (โค๊ดเริ่มต้น, โค๊ดจบ ต่างๆ เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อการตรวจสอบเท่านั้น และจะมีค่าไม่ตรงกับข้อมูลอยู่แล้ว)

การทำงานของระบบตัวอย่างสามารถอธิบาย ตัวลูกแต่ละตัวลูกจะมีการเลือกเส้นทางดังนี้

<u>ตัวลูกตัวที่ 1 (#1)</u> มีขอบเขตของสัญญาณที่สามารถติดต่อได้คือ ตัวแม่, ตัวลูก #2, ตัวลูก #3 เมื่อวัดระยะเส้นทางจากตัวเป้าหมาย (ตัวลูก #5) มาสู่ตัวลูกที่ติดต่อได้เหล่านี้ จะได้ ตัวลูก #2 ที่ใกล้ตัวเป้าหมายมากที่สุด และตัวลูก #2 นี้ก็ย่อมมีความน่าจะเป็นที่จะสามารถติดต่อกับตัวลูกตัวอื่นอีกเพื่อไปถึงตัวเป้าหมายได้ ดังนั้น ตัวลูก #1 นี้จึงเลือก ตัวลูก #2 เป็นเส้นทางที่มีความสำคัญสูงสุดและ ตัวลูก #3 เป็นเส้นทางเลือกลำดับรองลงมา หากตัวลูก #2 ไม่ทำงาน

<u>ตัวลูกตัวที่ 2 (#2)</u> มีขอบเขตของสัญญาณที่สามารถติดต่อได้คือ ตัวลูก #1,ตัวลูก #3 และตัวลูก #4 และเมื่อวัดระยะเส้นทางจากตัวเป้าหมายมาสู่ตัวลูกที่ติดต่อได้เหล่านี้ จะได้ตัวลูก #4 ที่มีระยะทางใกล้ที่สุด ดังนั้น ตัวลูก #2 นี้ก็จะเลือก ตัวลูก #4 เป็นลำดับต้นในการส่งผ่านข้อมูล แต่หากตัวนี้ไม่ทำงาน (เสีย) ก็จะเลือก ตัวลูก #3 แทน ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวลูก #3 นี้ มีขอบเขตของสัญญาณที่ติดต่อได้คือ ตัวลูก #1,#2 และ #4 และ ตัวลูก #4 นี้มีเส้นทางสั้นสุด จึงถูกเลือกให้ส่งสัญญาณต่อไป คำสั่งจึงสามารถส่งต่อไปได้ แต่หาก ตัวลูก #4 ไม่ทำงานอีก ตัวลูก #3 ก็จะทำการส่งข้อมูลหมายเลขที่เสีย (ที่สะสมมา คือ ตัวลูก #2, #4) กลับไปสู่ตัวแม่คือหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ซึ่งก็คือ ตัวลูก #1 นั่นเอง ซึ่งก็จะเป็นเส้นทางใหม่ใช้ส่งข้อมูลกลับไปสู่ผู้ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวลูกตัวที่ 4 (#4) มีขอบเขตของสัญญาณที่สามารถติดต่อได้คือ ตัวลูก #2,ตัวลูก #3 และ ตัวลูก #5 ซึ่งกรณีนี้ก็จะทำการติดต่อไปที่ ตัวลูก #5 เลยเพราะเป็นตัวเป้าหมาย แต่หากติดต่อไม่ได้เพราะ ตัวลูก #5 ไม่ทำงานก็จะรายงานผลอันนี้ กลับสู่ตัวแม่ ด้วยหลักการอันเดียวกัน

ตัวลูกตัวที่ 5 (#5) มีขอบเขตของสัญญาณที่สามารถติดต่อได้คือ ตัวลูก #4 และเป็นตัวเป้าหมายเองจึงทำการเก็บค่าอุณหภูมิและส่งกลับสู่ตัวแม่ กลับผ่านมาที่ ตัวลูก #4 ด้วยหลักการอันเดียวกัน

ด้วยแนวคิดนี้จะเห็นได้ว่าเราได้ความน่าเชื่อถือของระบบมากขึ้น อีกทั้งนอกจากจะทราบถึงข้อมูลอุณหภูมิที่ต้องการอ่านแล้วยังทราบถึงตัวลูกที่เสียหวยได้ด้วย (หากมีตัวที่เสียหาย) ทำให้สามารถวางแผนแก้ไขได้ง่าย เพราะในสภาวะจริงนั้น ตัวลูกจะอยู่ห่างไกลกันมากและมีหลายตัว การเดินทางเข้าไปตรวจสอบในแต่ละตัวจึงเป็นเรื่องของการใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นการไม่เสียเที่ยวของการไปแก้ไขอุปกรณ์ข้อมูลว่าตัวลูกตัวใดเสียจึงเป็นสิ่งสำคัญ และอีกอย่างคือในการส่งคำสั่งนั้นในรูปแบบเดิมนั้นต้องมีการกำหนดเส้นทางตายตัวก่อน ดังนั้น หากเส้นทางต้องผ่านตัวลูกจำนวนมากก็จะมีขนาดของคำสั่งที่ยาวมากตามไปด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีเพราะการส่งคำสั่งด้วยคลื่นวิทยุนั้นจะเกิดการรบกวนได้ง่ายจากเหตุสุดวิสัย เช่นการทับซ้อนของความถี่ผู้อื่นที่ใช้งานพร้อมกัน ดังนั้นขนาดของคำสั่งควรจะสั้นมากๆ ซึ่งในแนวคิดใหม่ในรูปแบบของคำสั่งจะมีการบอกเพียงว่าจะติดต่อกับหมายเลขตัวลูกเบอร์อะไร เมื่อมีการส่งไปแล้วตัวลูกแต่ละตัวก็จะค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดเองอัตโนมัติ ซึ่งในส่วนของการค้นหานี้ก็สามารถทำได้ง่ายโดย เพราะในการใช้งานระบบในขั้นตอนแรกก็ต้องมีกาวางตำแหน่งของตัวลูกแต่ละตัวบนแผนที่ก่อนอยู่แล้ว นั่นหมายความว่าตัวลูกแต่ละตัวก็รู้ถึงตำแหน่งของตัวเองในแผนที่ และตัวลูกแต่ละตัวก็ทราบได้ว่าตัวลูกตัวอื่นที่อยู่รอบข้างที่ตนสามารถติดต่อได้มีตัวหมายเลขใดบ้างข้อมูลตรงนี้ของตัวลูกแต่ละตัวก็จะไม่หมือนกัน ส่วนระยะห่างของตัวเป้าหมายสู่ตัวลูกแต่ละตัวก็สามารถคำนวณได้ง่าย เพราะแต่ละตัวจะมีตำแหน่งบนแผนที่อยู่แล้วสามารถคำนวณโดยหลักตรีโกณมิติได้ นั่นเอง เพียงแต่จุดที่อาจเป็นจุดอ่อนบ้าง นั่นก็คือจะมีการติดต่อระหว่างตัวลูกกันเองมากครั้งขึ้นเพราะต้องมีการตรวจสอบว่าตัวลูกใดเสียหรือไม่นั่นเอง

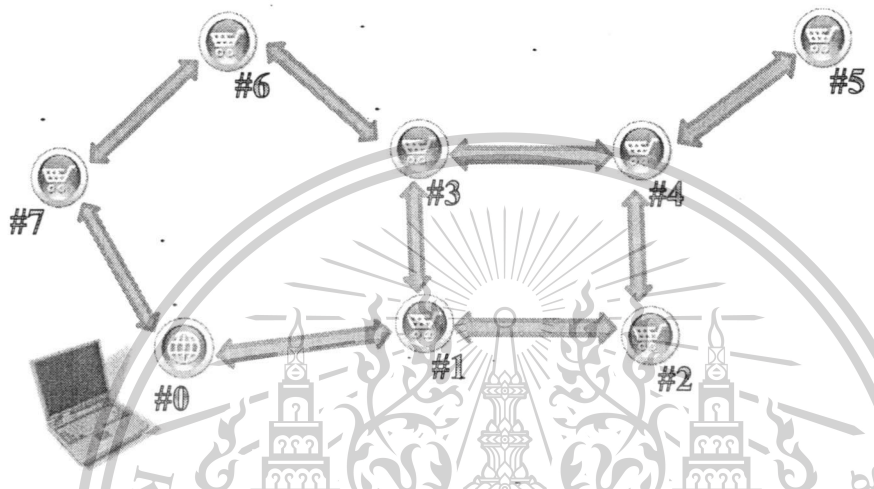
อนึ่ง ดังที่ได้กล่าวไว้ตอนต้นว่า ในการค้นหาเส้นทางนี้ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีกำหนดเส้นทางของแต่ละตัวโมดูลไว้ก่อนโดยผู้ติดตั้งระบบนั่นเอง ซึ่งผู้ติดตั้งระบบเริ่มต้นก็จะทราบอยู่แล้วมีจุดที่ติดตั้งโมดูลตัวลูกที่ตำแหน่งใดบ้างในแผนที่ ก็จะทราบว่าตัวใดอยู่ใกล้ตัวใดในรัศมีที่ติดต่อกันได้ จากนั้นก็หนดว่าจะต้องวิ่งสัญญาณอย่างไรเมื่อร่างเส้นทางการวิ่งแล้วจะทำให้เราทราบว่าตัวโมดูลตัวลูก นี้จะต้องมีการสแกนไปตัวอื่นๆรอบๆตัวอย่างไรนั่นเอง ก็จะได้เป็นรายชื่อติดตั้งให้กับโมดูลตัวนั้นๆนั่นเอง อันนี้จะได้แสดงให้เห็นในรายละเอียดตัวอย่างต่อไป

3.1.1 ตัวอย่างการหา รายชื่อของการแสกนของโมดูลตัวลูก

ขอใช้รูปตัวอย่างการวางตัวของโมดูลตัวลูกดังแสดงในรูปที่ 8 โดยกำหนดให้โมดูลหมายเลข 0 เป็นโมดูลตัวแม่ ส่วนหมายเลขอื่นๆ ก็จะเป็นโมดูลตัวลูกในตำแหน่งต่างๆนั่นเอง ในแต่ละตัวของโมดูลตัวลูกจะมี รายชื่อเก็บไว้ที่ตัวเองสองรายชื่อคือ รายชื่อสำหรับการส่งคำสั่ง (Send list) และรายชื่อสำหรับการส่งข้อมูลกลับสู่ตัวแม่ (Back list) นั่นเอง ดังตัวอย่างข้างล่างต่อไปนี้ ในช่องแรกนั้นจะเป็นช่องบอกถึงตัวเป้าหมายที่ส่งมาจากตัวแม่ว่าต้องการจะติดต่อไปสู่ตัวลูกที่เป็นเป้าหมายเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิตัวใด ค่าในช่องที่สองจะเป็นรายชื่อโมดูลตัวลูกโดยจะมีการเรียงลำดับการเริ่มต้นแสกนเพื่อการส่งคำสั่งต่อไปสู่โมดูลตัวลูกตัวอื่น ค่าในช่องที่สามจะเป็นช่องตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป้าหมายสำหรับกรณีได้ข้อมูลแล้วต้องการส่งกลับสู่ตัวแม่ และในช่องสุดท้ายจะเป็นหมายเลขโมดูลตัวลูกที่ต้องทำการสแกนเพื่อการส่งข้อมูลกลับสู่ตัวแม่นั่นเอง



รูปที่ 8 ตัวอย่าง แผนผังการวางตำแหน่งของตัวโมดูลตัวลูก

เบอร์ #0 (ตัวแม่)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#6	#7, #1	#0	ไม่มีเพราะไม่ได้ส่งข้อมูลไปไหน
#3, #4, #2,#5	#1, #7		

เบอร์ #1 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#4,#5,#6,#7	#3, #2	#0	ไม่มีเพราะไม่ได้ใช้ตัวส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เบอร์ #2 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#5	#4	#0	#1,#4

เบอร์ #3 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#2, #5	#4	#0	#1, #6
#7	#6		

เบอร์ #4 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#5,#2	ไม่ต้องมีการส่งผ่านตัวใดอีก	#0	#3, #2

เบอร์ #5 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#5	ไม่ต้องมีการส่งผ่านตัวใดอีก	#0	#4

เบอร์ #6 (โมดูลตัวลูก)

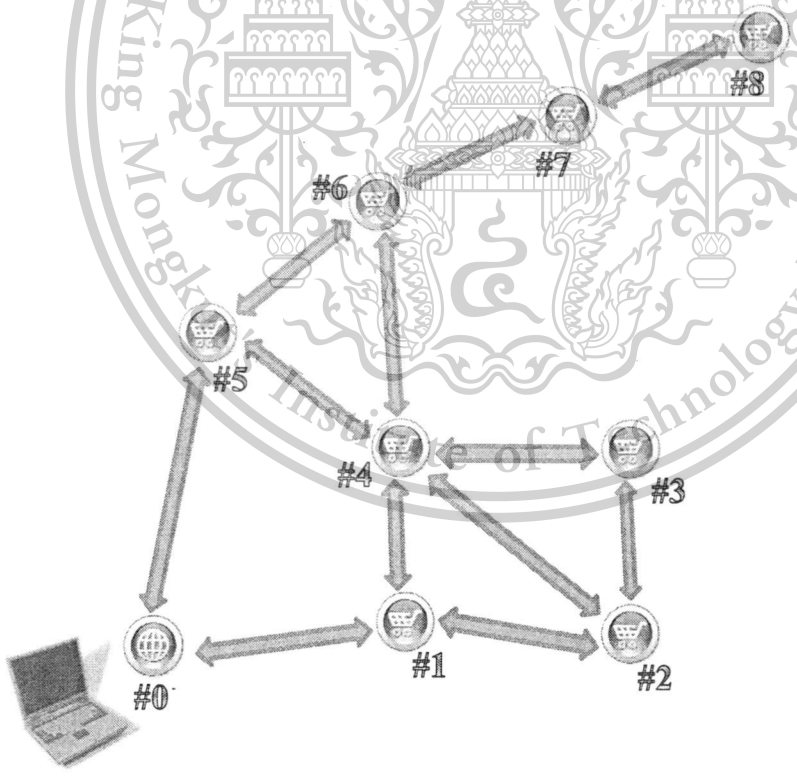
ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#2,#4,#5	#3	#0	#7, #3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เบอร์ #7 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#2,#3,#4,#5	#6	#0	ไม่มีเพราะไม่ได้ส่งข้อมูลผ่านตัวใด

จะเห็นได้ว่า จำนวนของตัวที่จะผ่าน(ตัวที่จะถูกสแกน)เพื่อใช้สำหรับส่งคำสั่งต่อไปหรือรับข้อมูลส่งกลับ ของแต่ละโมดูลตัวลูกนั้น จะมีจำนวนที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งบางตัวอาจไม่มีตัวอื่นที่ต้องส่งผ่านคำสั่งหรือข้อมูลก็เป็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่า เราจะต้องพิจารณาถึงเส้นทางที่จำเป็นต้องผ่านเฉพาะความเป็นจริงเท่านั้นก่อน (ซึ่งวิธีการนี้จะลดภาระและเวลาที่ต้องเสียไปกับการสแกนผ่านตัวที่ไม่มีความหมายอย่างไม่จำเป็น) จากนั้นจึงสามารถกำหนดตัวที่จะถูกสแกนได้และเรียงตามลำดับความสำคัญด้วย เมื่อได้ค่ารายชื่อเหล่านี้แล้วก็สามารถนำไปเป็นข้อมูลของแต่ละโมดูลได้ โดยอาจโปรแกรมเข้าไปเลยหรือทำเป็นแผ่น SD CARD ใส่กับโมดูลนั้นๆ ก็ได้ ซึ่งรายชื่อนี้จะถูกอ่านและดำเนินการสแกนโดยตัวลูกเอง และอีกตัวอย่างการหาเส้นทางก็ดังแสดงรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างการวางตำแหน่งของตัวโมดูลตัวลูกอีกรูปแบบหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เบอร์ #0 (โมดูลตัวแม่)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#4,#6,#7,#8	#5	#0	ไม่มีเพราะเป็นตัวแม่เอง
#2,#3	#1		

เบอร์ #1 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#3	#4, #2	#0	ไม่มีเพราะการส่งผ่าน
#6,#7,#8	#4		

เบอร์ #2 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
	ไม่มีเพราะไม่มีตัวที่ต้องผ่าน	#0	#1, #4

เบอร์ #3 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
	ไม่มีเพราะไม่มีตัวที่ต้องผ่าน	#0	#2, #4

เบอร์ #4 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#7,#8	#6	#0	#1, #5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เบอร์ #5 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#7,#8	#6	#0	ไม่มีเพราะไม่ต้องผ่านตัวใด
#2,#3	#4		

เบอร์ #6 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
#8	#7	#0	#5, #4

เบอร์ #7 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
	ไม่มีเพราะไม่มีตัวที่ต้องผ่าน	#0	#6

เบอร์ #8 (โมดูลตัวลูก)

ไป (คำสั่ง) Send list		กลับ (ข้อมูล) Back list	
โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน	โมดูลเป้าหมาย	ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน
	ไม่มีเพราะไม่มีตัวที่ต้องผ่าน	#0	#7

หมายเหตุ รายชื่อของตัวโมดูลตัวลูกที่ถูกสแกนเพื่อใช้ส่งผ่านคำสั่งหรือข้อมูล (ชื่อในช่อง ลำดับความสำคัญของโมดูลทางผ่าน) หมายถึงว่าเป็นรายชื่อโมดูลเพื่อจะใช้ผ่านไปถึงตัวเป้าหมาย(ชื่อในช่องโมดูลเป้าหมาย)ซึ่งมีการเรียงลำดับการสแกนไว้แล้ว ส่วนตัวเป้าหมายอื่นที่ไม่มีชื่อในช่อง(ช่องโมดูลเป้าหมาย)นี้นั้นก็หมายถึงใช้เบอร์นั้นในการส่งคำสั่งหรือรับข้อมูลไปเลยเพราะมันไม่จำเป็นต้องผ่านตัวใดไปนั่นเอง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้น จากตัวอย่างที่แสดงผ่านมา เราก็จะเห็นได้ว่าการวางตำแหน่งของตัวลูกแต่ละตัวจะทำให้มีผลต่อการสร้างรายชื่อของตัวที่ถูกสแกน ซึ่งยิ่งมีโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อได้หลายตัวก็จะยิ่งทำให้ระบบมีโอกาศใช้งานได้ดี คือรับส่งข้อมูลได้สำเร็จมาขึ้นทั้งนี้เพราะมีโอกาศเลือกเส้นทางอื่นในการไปและกลับได้มากขั้นนั่นเอง.

3.2 ส่วนของ Hardware

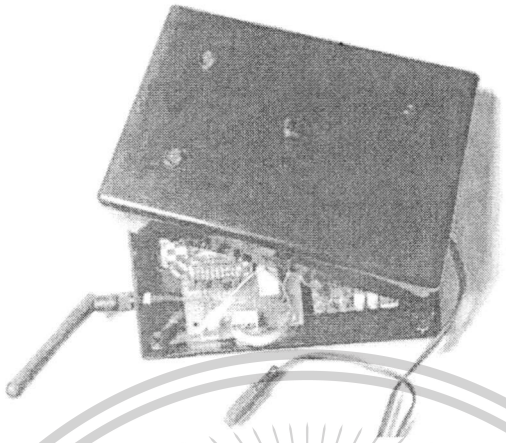
ในการสร้างฮาร์แวร์เพื่อทดสอบซึ่งมีรูปแบบดังนี้ ส่วนตัวโมดูลตัวลูกจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม โดยต่อร่วมกันกับ ชุดวิทยุสื่อสาร (โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โมดูล Xbee ที่มีคุณลักษณะสามารถส่งสัญญาณได้ไกล สามารถทดแทนการใช้ชุดวิทยุสื่อสารได้) ระบบจำเป็นต้องใช้ตัวลูกหลายตัวเพื่อพิสูจน์แนวคิดข้างต้น ดังนั้นตัวฮาร์ดแวร์ตัวแม่และตัวโมดูลตัวลูก จึงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 แสดงถึงบล็อกฮาร์แวร์เบื้องต้นของตัวแม่และตัวลูก

ตัวโมดูลตัวลูกนั้น ได้ออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุด และออกแบบให้ใช้พลังงานน้อยที่สุด เพราะต้องถูกนำไปติดตั้งในพื้นที่ห่างไกล พลังงานจึงต้องใช้จากแบตเตอร์รี่เท่านั้น ในส่วนของตัวแม่ จะมีขนาดที่เล็กเช่นกันเพราะไม่ต้องมีส่วนของแบตเตอร์รี่จ่ายแรงไฟ และทำให้ติดต่อกันในช่องอนุกรมซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้นและขนาดจะเล็กลงมาก ในรูปที่ 11 จะแสดงให้เห็นถึงฮาร์แวร์ของตัวลูกที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้ประกอบทุกชิ้นส่วน ทั้งส่วนประมวลผล,เซนเซอร์อุณหภูมิและส่วนของการสื่อสารด้วยโมดูล Xbee ได้ลงบนตัวกล่องขนาดเล็กเพียงประมาณ ยาว 7 นิ้ว แล้วกว้าง 4 นิ้ว เท่านั้นเอง ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก อนึ่งในส่วนของเสาอากาศนั้น ก็นับว่าสำคัญเช่นกัน จากการทดสอบได้ทราบว่าเราสามารถเพิ่มขนาดของระยะทางได้มากขึ้นไปอีกหาก เสาอากาศอยู่สูงขึ้นไป ซึ่งอันนี้ในทางปฏิบัติอาจต้องมีการสร้างระบบเสาอากาศต่างหากก็จะเป็นผลดีขึ้นไปอีก ส่วนในการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ใช้เสาขนาดเล็กดังในภาพโดยทำกาติดตั้งไว้ที่ตัวบ้านที่เป็น สองชั้น ก็สามารถทำการทดสอบได้เช่นเดียวกันหากแต่ระยะก็จะไกล้เข้ามาเล็กน้อย แต่จากความต้องการของงานวิจัยก็ต้องการระยะอย่างน้อย 1 กิโลเมตร ซึ่งตัวโมดูลก็สามารถให้ระยะได้ตามต้องการ จึงสามารถทำการทดสอบได้อย่างไม่มีปัญหานัก

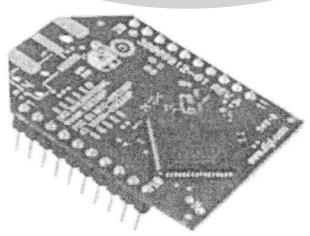
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 11 แสดงรูปตัวเครื่องโมดูลตัวลูกที่สามารถลงบนกล่องขนาดเล็กได้อย่างลงตัว

ในส่วนของโมดูลรับส่งนั้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าในงานวิจัยนี้ได้ใช้โมดูลสื่อสารวิทยุแบบ Xbee แทนโมดูลวิทยุที่เคยใช้ในงานวิจัยก่อนๆ อันเนื่องจากว่า สิ่งที่ต้องการในงานวิจัยนี้คือระบบการสื่อสารที่ไม่ใช่สัญญาณ GSM เพราะต้องใช้ในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีสัญญาณโทรศัพท์ ดังนั้นสัญญาณวิทยุ เช่น วิทยุสื่อสาร นับเป็นคำตอบที่ดี และได้มีการใช้งานมาในการวิจัยในตอนต้น ต่อมาประสิทธิภาพของโมดูลสื่อสารวิทยุที่เป็นขนาดเล็กและมีกำลังส่งที่ไม่มากในหลายปีก่อนนั้น ได้พัฒนาจุดด้อยนี้ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากขึ้นกว่าเดิมมาก ประกอบกับในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มคุณลักษณะของการส่งผ่านสัญญาณแบบเป็นการทวนสัญญาณ ดังนั้น ผลดีคือไม่ต้องการกำลังส่งที่มากแต่การมีตัวโมดูลตัวลูกมากๆ กลับเป็นผลดีต่อการวัดข้อมูลสภาพสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ละเอียดมากขึ้น ดังนั้นตัวรับส่งโมดูล Xbee นี้จึงน่าจะเหมาะสมกว่า การใช้ระบบวิทยุสื่อสารจริงๆ ยิ่งไปกว่านั้น ราคาก็ไม่แตกต่างกันแต่อย่างใด และนับวันกำลังส่งของ Xbee ก็จะยิ่งมีการพัฒนาให้ส่งได้ไกลขึ้นไปอีกในราคาที่ถูกลง ด้วยเหตุผลนี้ ผู้วิจัยจึงตัดสินใจใช้ Xbee เป็นโมดูลของการรับส่งข้อมูล ในตัวของ Xbee นั้นมีหลายแบบให้เลือกตามความเหมาะสม และที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ก็เป็นแบบ Xbee XSX [6] ซึ่งเหมาะสมตามที่ได้กล่าวมา ตัวโมดูลแสดงดังรูปที่ 12 ข้างล่างนี้

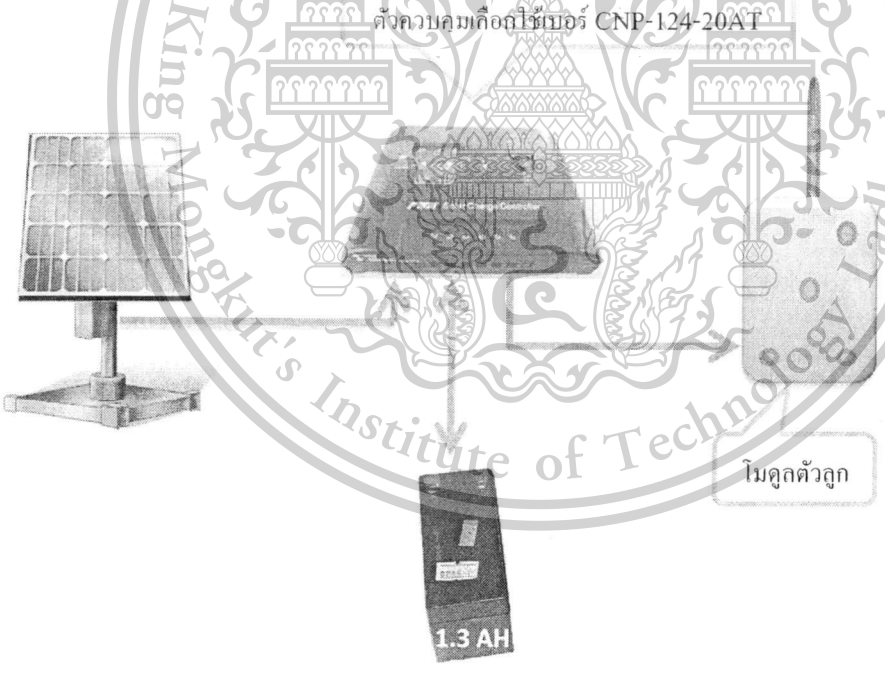


รูปที่ 12 แสดงโมดูล Xbee ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.
137808

ซึ่ง จากข้อมูลคุณสมบัติ นั้นตรงกับที่ต้องการคือ ส่งเป็นแบบไร้สายคลื่นวิทยุที่ 900 MHz ปรับความเร็วในการรับส่งได้ถึง 156 Kbps ระยะรับส่งปกติในแนวสายตาได้ 10 กิโลเมตร แต่ในโครงงานต้องการประมาณ 1-2 กิโลเท่านั้น ในขณะที่กำลังงานใช้งานขณะส่งสูงสุดที่ 210 มิลลิแอมป์ การเชื่อมต่อก็สามารถสร้างบอร์ดรองรับต่อกันกับชุด ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย เพราะเป็นการเชื่อมต่อเป็นแบบอนุกรม (RS-232C) ซึ่งเป็นมาตฐานปกติ และอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งคือส่วนของวัดค่าอุณหภูมิ ในงานวิจัยเลือกใช้ไอซีขนาด 3 ขา เบอร์ DS1820 ที่มีขนาดเล็กมากและสามารถติดตั้งต่อเชื่อมกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างลงตัว เนื่องจากการเชื่อมต่อเป็นแบบ I2C ที่ใช้จำนวนเส้นสัญญาณเพียง 3 เส้นเท่านั้น สามารถกำหนดความละเอียดของการวัดได้โดยการโปรแกรมค่าได้ตามต้องการ โดยรูปอุปกรณ์ไอซีนี้แสดงดังรูปที่ 2 ดังที่ได้แสดงไว้แล้ว

ส่วนรูปแบบการเชื่อมต่อและวงจรจะเป็นการเชื่อมต่อโมดูลต่อโมดูลซึ่งตรงไปตรงมา โดยก็ได้ให้เป็นข้อมูลไว้ในภาคผนวกแล้ว และสุดท้าย ในส่วนของตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าก็เช่นกัน คือก็ได้ใช้แผง Solar cell ผ่านตัวควบคุมการประจุไฟเข้าสู่แบตเตอร์รี่ ซึ่งในส่วนนี้ ก็ไปแบบทั่วๆไปที่มีในท้องตลาด คือเลือกขนาดที่ประจุไฟสำหรับ แบตเตอร์รี่ขนาด 12 VDC ได้ ซึ่งเป็นแบตเตอร์รี่ชนิดแห้ง โดยตัวครื่องและตัวเซล เองก็เป็นแบบที่มีขายทั่วไป ซึ่งไม่เกี่ยวกับการที่จะต้องออกแบบใหม่แต่อย่างใดนัก จึงขอใส่ไว้เป็นข้อมูลในภาคผนวก ท้ายรายงานฉบับสมบูรณ์นี้เช่นเดียวกัน ส่วนการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าก็เป็นดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าป้อนแก่ตัวโมดูลตัวลูก

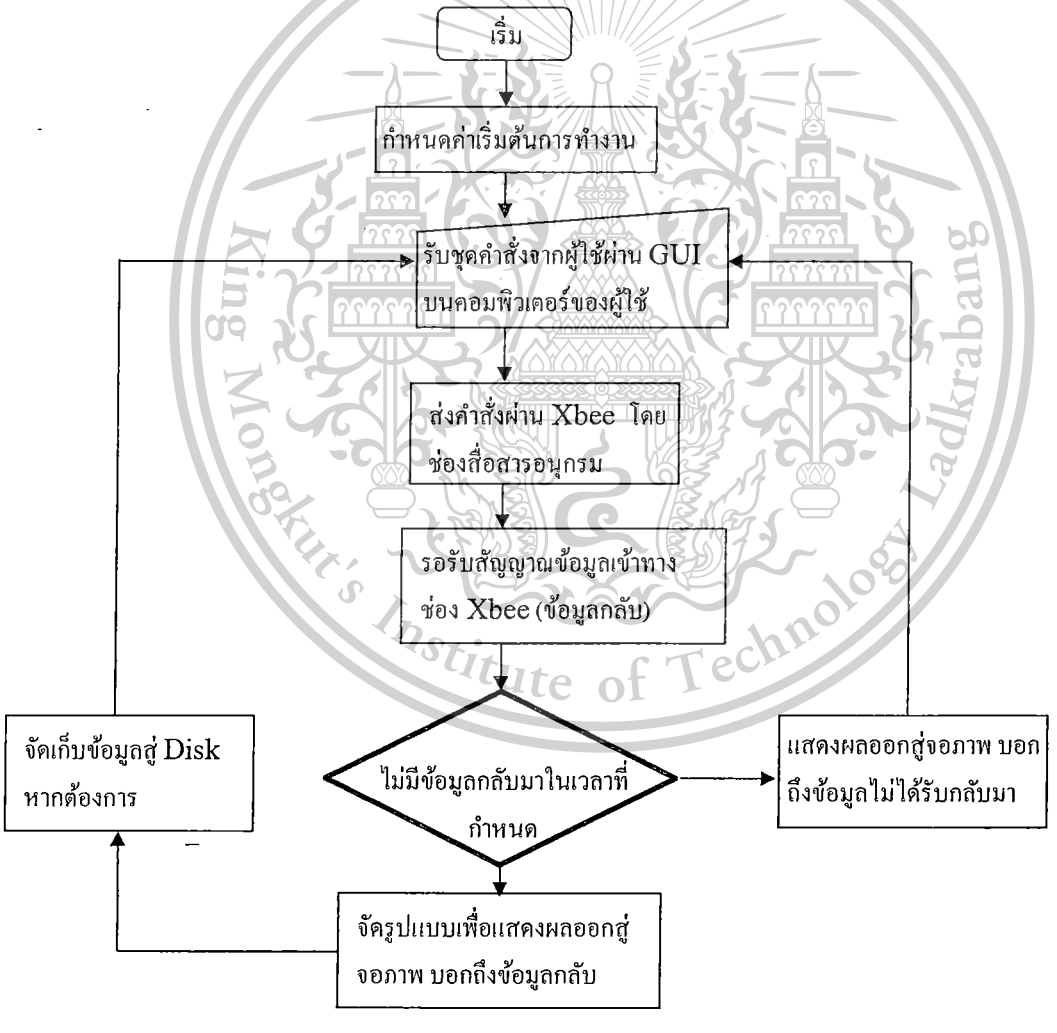
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 ส่วนของ Software

โปรแกรมจะมีการออกแบบไว้ทั้งหมด สามโปรแกรม โดยจะประกอบไปด้วยดังต่อไปนี้

3.3.1 โปรแกรมของตัวแม่ (Main module)

โมดูลตัวแม่นั้น เป็นโมดูลที่จะใช้ต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้โดยผ่านช่องทางพอร์ทอนุกรม (RS-232C) และตัวแม่จะทำหน้าที่เพียงส่งผ่านคำสั่งไปสู่โมดูลตัวลูกที่กำหนดไว้ในชุดคำสั่ง และรับผลจากตัวลูกกลับไปสู่คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลหรือจัดเก็บต่อไป ดังนั้นจึงไม่มีส่วนของการตรวจวัดอุณหภูมิ และส่วนของการควบคุมสวิทช์ (Relay) โดยการทำงานจะอยู่ในรูปแบบ GUI (ด้วยภาษา JAVA [3], [4]) ตามโฟร์ชาร์ทในรูปที่ 13 เป็นการเขียนด้วยภาษาจาวา ในแบบ GUI ซึ่งเป็นบล็อกที่เป็นภาพรวม ส่วนรายละเอียดต่างๆ เช่น รูปแบบของการเก็บข้อมูล (Format) จะได้จัดเก็บเป็นไฟล์โปรแกรมสมบูรณ์ไว้แล้วใน ภาค ผนวก



รูปที่ 13 โฟร์ชาร์ท โปรแกรมตัวแม่ (Main module)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการออกแบบส่วนของซอฟร์แวร์นี้นั้น เป็นแบบตรงไฟตรงมา ไม่ซับซ้อนใดๆ ตัวโปรแกรมนี้จะเขียนให้ทำงานในแบบ GUI ด้วยภาษา JAVA สามารถรันได้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปได้ โดยโปรแกรมจะรับคำสั่งที่สร้างจาก การกดปุ่มต่างๆของผู้ใช้ เช่น ต้องการติดต่อตัวโมดูลตัวลูกที่เท่าไหร่, ต้องการให้มีการกำหนดให้รีเลย์ทำงานแบบใด(เปิดหรือปิด) เหล่านี้เป็นต้น หลังจากนั้นเมื่อผู้ใช้กดปุ่มส่งคำสั่งออกไปแล้ว ตัวโปรแกรมก็จะทำการสร้างชุดคำสั่งตามรูปแบบที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นแล้ว ส่งออกไปสู่เครื่องรับส่ง Xbee ของตัวแม่ เนื่องจากชุดคำสั่งจะมีการระบุแล้วว่าต้องการติดต่อกับตัวโมดูลลูกตัวใด ก็จะเกิดการติดต่อกับตัวโมดูลลูกตามลำดับขั้นที่ได้กล่าวไว้แล้ว จะมีการส่งผ่านคำสั่งไปเรื่อยๆทีละโมดูลตัวลูก จนในที่สุดเมื่อคำสั่งไปถึงตัวโมดูลตัวลูกที่ต้องการก็จะมีการอ่านค่าอุณหภูมิและค่าการทำงานของรีเลย์ ตามกำหนด จากนั้นก็จะเป็นการส่งข้อมูลกลับตามเส้นทางที่ได้บันทึกไว้เป็นลำดับ จนข้อมูลดังกล่าวกลับมาถึงตัวของเครื่องรับตัวแม่ โปรแกรมของเครื่องรับตัวแม่ (GUI) ก็จะทำการนำข้อมูลที่ได้นั้น แสดงออกสู่จอภาพ โดยออกแสดงทั้งค่าของอุณหภูมิ และสถานะของรีเลย์ที่อ่านมาได้จากตัวเป้าหมาย พร้อมกันนี้หากมีการตรวจพบว่าระหว่างเส้นทางการไปสู่ตัวเป้าหมายและเส้นทางการย้อนกลับมาสู่ตัวแม่ นั้นมีการพบว่ามีโมดูลตัวลูกตัวใดเสียหาย ก็จะได้รับการบันทึกไว้เช่นกัน อนึ่งจากโฟร์ชาร์ทของโปรแกรมจะเห็นได้ว่า ตัวโปรแกรมเมื่อได้ส่งคำสั่งออกไปแล้วจะเข้าสู่วงรอบของการรอข้อมูลกลับมา ซึ่งช่วงนี้ตัวโปรแกรมก็จะไม่ตอบสนองใดๆกับผู้ใช้ผ่านจอ GUI และก็เป็นไปได้ที่การส่งคำสั่งไปอาจไม่มีข้อมูลกลับมาก็ได้เพราะสาเหตุอาจเกิดจาก ตัวโมดูลตัวลูกในเนวเส้นทางเกิดเสียหายไปทุกตัว ทำให้ข้อมูลไม่สามารถส่งกลับมาได้ ดังนั้น โปรแกรมจึงแก้ปัญหาโดยการนับเวลารอ ซึ่งจากการทดสอบนับเวลาของการส่งผ่านคำสั่งแต่ละครั้งของโมดูลตัวลูกจะใช้เวลาประมาณ 10 วินาที (มีการแสกนประมาณ 3 ตัว) ดังนั้น ก็จะประมาณเวลาได้ว่านับตั้งแต่ส่งข้อมูลออกไปจนข้อมูลกลับมาสู่ตัวแม่นั้นจะใช้เวลามากสุดที่เท่าใด ก็นำเวลานั้นมากำหนดให้กับโปรแกรมต่อไป ดังนั้นเมื่อโปรแกรมรอจนหมดเวลาแล้วไม่มีข้อมูลกลับมาโปรแกรมก็จะทำการแสดงผลผิดพลาดนี้และทำการย้อนกลับไปเริ่มต้นโปรแกรมใหม่นั่นเอง แต่หากมีข้อมูลกลับมาได้ ข้อมูลทุกอย่างเหล่านี้จะสามารถถูกบันทึกลงเก็บในแผ่นข้อมูลหรือ ฮาร์ดไดร์ฟ ก็ได้ตามความประสงค์ของผู้ใช้ โดยจะมีการเก็บค่าไว้ทุกครั้งที่มีการกดปุ่มอ่านค่าอุณหภูมิแต่ละครั้งของผู้ใช้ ดังนั้นข้อมูลของการอ่านทุกครั้งก็จะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ ในอนาคต รูปแบบของข้อมูลที่ได้เก็บไว้ สามารถแสดงให้เห็นได้ใน บทของการทดลองต่อไป

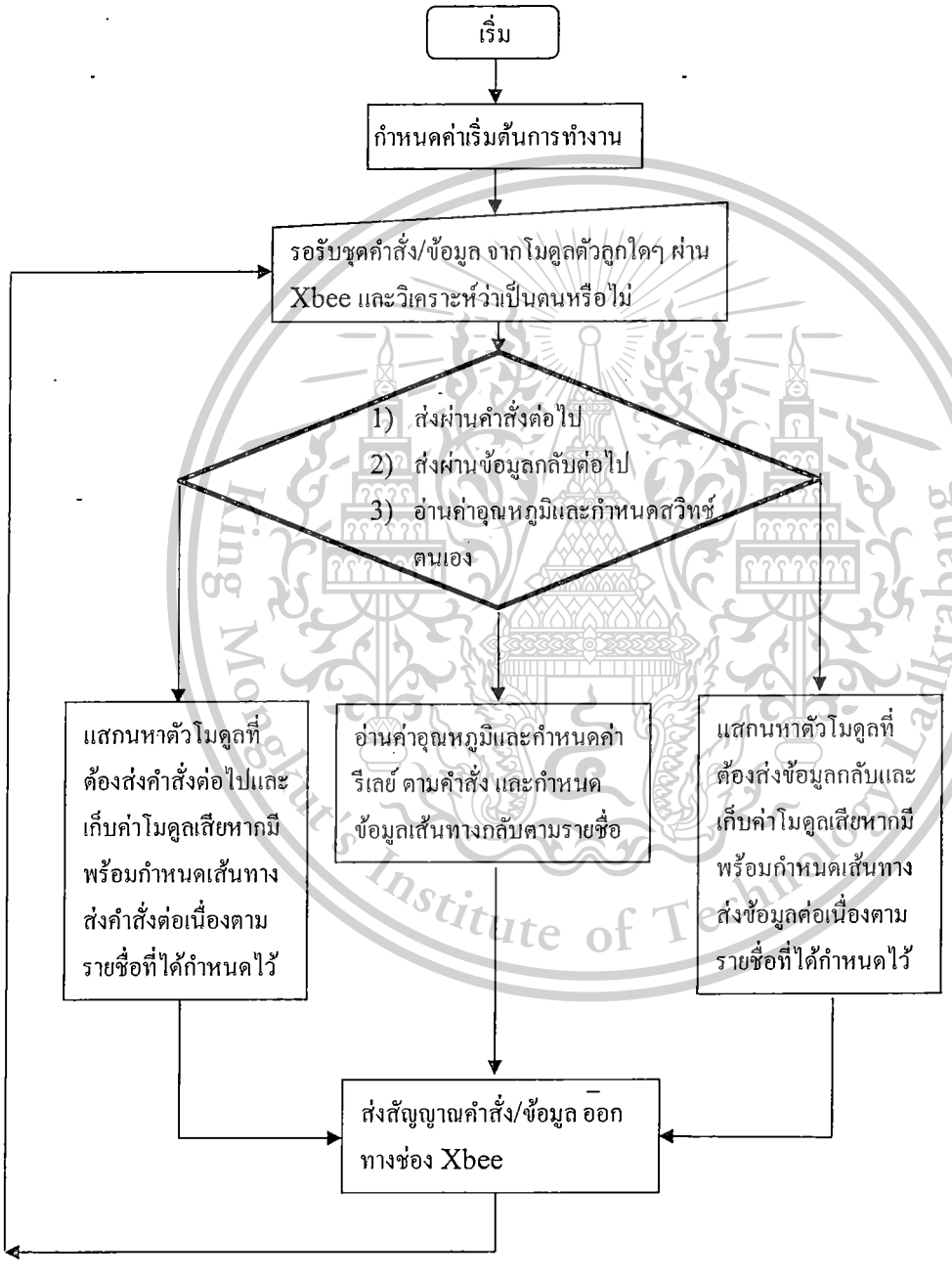
อนึ่ง จากโปรแกรม GUI นี้ หากเราต้องการเพิ่มการทำงานให้หลากหลายมากขึ้น เช่น เพื่อตัววัดตัวลูกให้มากขึ้น หรือแม้แต่เพิ่ม ตัวตรวจวัดคือ เซนเซอร์ แบบอื่นๆ ก็สามารถเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมได้ทันทีเพราะโปรแกรมหลักได้ทำเสร็จหมดแล้ว การเพิ่มเติมส่วนที่กล่าวมานี้จึงเป็นเพียงการเพิ่มเติม ปุ่มการทำงานเพิ่มขึ้นเท่านั้นเอง ผู้วิจัยท่านอื่นๆ สามารถนำไปต่อยอดได้อย่างง่ายดาย

3.3.2 โปรแกรมของโมดูลตัวลูก (Client module)

จุดสำคัญและค่อนข้างซับซ้อนมากอันหนึ่งของงานวิจัยนี้ก็คือ การนำแนวคิดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น นำมาสร้างเป็นโปรแกรมให้สามารถทำงานได้อย่างจริงจัง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโปรแกรมนอกจากจะสามารถใช้งานส่งข้อมูลหรือคำสั่งเป็นทอดๆ (ทวนสัญญาณ) ได้แล้วยังต้องมีการเก็บข้อมูลของตัวโมดูลลูกที่เสียหายกลับมาบอกต่อผู้ใช้ด้วย โปรแกรมจึงต้องมีการตรวจสอบในหลายๆเงื่อนไข แต่หากเรามีการตรวจสอบความถูกต้องมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไปก็จะทำให้การทำงานล้าช้าไปอีก ยิ่งจำนวนของตัวลูกที่จะต้องมีการส่งผ่านคำสั่งมีจำนวนหลายทอดก็จะยิ่งทำให้เสียเวลามากขึ้นได้ ตัวโปรแกรมนั้นโดยหลักแล้ว จะใช้เหมือนกันกับทุกโมดูลตัวลูกทุกตัว เพียงแต่แต่ละตัวก็จะมีรายชื่อของทิศทางการส่งผ่าน ทั้งด้านไป (Send list) และด้านกลับ (Back list) ดังนั้น โดยสรุปการสามารถนำมาเขียนเป็นโฟร์ชาร์ท ได้ดังรูปที่ 14 และโปรแกรมถูกเขียนด้วยภาษาซี [5]



รูปที่ 14 โฟร์ชาร์ท โปรแกรมตัวโมดูลตลูก (Client module)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากทิศทางของโฟร์ชาร์ทที่แสดงในรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า แต่ละโมดูลตัวลูกจะทำงานในสามเงื่อนไขใหญ่ๆ ก็คือ

ตรวจสอบว่าเป็นการเลือกติดต่อตนเองและเป็นคำสั่งเลือกอ่านค่าข้อมูลจากตนเอง หากใช่ก็ตรวจสอบต่อว่าเป็นคำสั่งหรือข้อมูลหากเป็นคำสั่ง ตรวจสอบต่อว่าเป็นการสั่งมาอ่านข้อมูลอุณหภูมิของตนเองหรือไม่ ถ้าใช่ก็ดำเนินการอ่านค่าอุณหภูมิ พร้อมกับปฏิบัติตามคำสั่งเรื่องของการสั่ง เปิดหรือปิด รีเลย์ จากนั้นก็จัดรูปแบบข้อมูลเพื่อการส่งกลับไปสู่ตัวแม่ โดยทำการสแกนหาเส้นทางที่จะต้องส่งข้อมูลกลับ ตามรายชื่อของแต่ละโมดูลตัวลูกที่ได้มาตอนติดตั้งระบบเมื่อสแกนและหากพบระหว่างสแกนมีตัวที่เสียหาย ก็ต้องเก็บหมายเลขของโมดูลตัวลูกที่เสียหายนั้นไว้ และหากตัวที่เสียหายนั้นเป็นตัวที่จะต้องส่งผ่านข้อมูลกลับก็ต้องเลือกใช้ตัวที่มีความสำคัญรองลงมาแทน ซึ่งอันนี้ก็เรียงลำดับไว้เรียบร้อยแล้วในตารางรายชื่อเลขโมดูลส่งข้อมูลกลับของแต่ละตัว สุดท้ายจากนั้นก็ส่งข้อมูลกลับได้ผ่านทางช่อง Xbee (อนึ่งในช่วงการแสกนหาเส้นทางกลับ ก็มีการใช้ช่องทาง Xbee นี้ในการแสกน เช่นกัน)

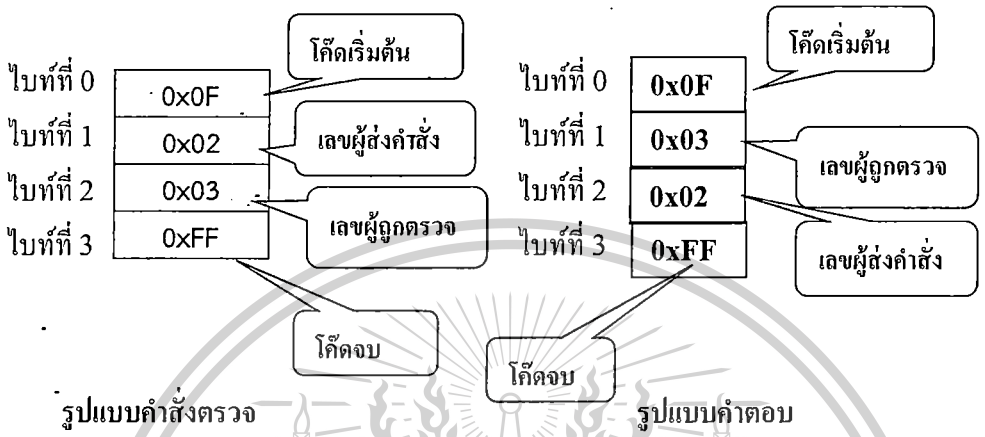
ตรวจสอบว่าเป็นการเลือกติดต่อตนเองและเป็นการส่งผ่านคำสั่ง ในกรณีนี้ ก็จะทำการ แสกนเส้นทางการส่งต่อเนื่องผ่านโมดูลตัวลูกอื่นในรายชื่อการส่งคำสั่ง (Send list) ต่อไป โดยจะมีการเก็บหมายเลขของตัวลูกอื่นที่เมื่อแสกนแล้วพบว่าเสียหาย เก็บไว้ในชุดคำสั่ง จากนั้นก็จะทำการจัดเรียงชุดคำสั่งใหม่ โดยมีตัวรหัสเริ่มและจบตามที่กล่าวมาตอนต้น แล้วส่งคำสั่งออกไปที่ช่อง Xbee ต่อไป

ตรวจสอบว่าเป็นการเลือกติดต่อกับตนเองและเป็นการส่งข้อมูลกลับ ในกรณีนี้ จะทำการสแกนเส้นทางการส่งข้อมูลกลับตามรายชื่อที่อยู่ในการส่งข้อมูลกลับ (Back list) โดยการจัดรูปแบบของข้อมูลที่จะส่งกลับใหม่ โดยการเพิ่มส่วนของข้อมูลเบอร์โมดูลตัวลูกที่เสียหายเข้าไป หากมี หลังจากสแกนหาเส้นทางได้แล้ว ก็ส่งข้อมูลนั้นออกที่ช่อง Xbee ต่อไป

จากที่กล่าวมาทั้งหมด นั้นแสดงให้เห็นภาพรวมว่ามีหลักใหญ่ๆอยู่ สามเงื่อนไขดังกล่าวมา แต่ก็มีส่วนของโปรแกรมย่อยมากมายที่ต้องสร้าง เช่น ส่วนของโปรแกรมย่อยของการแสกนหาเส้นทางเป็นต้น ซึ่งการทำแสกนหาเส้นทาง (ไม่ว่าจะส่งคำสั่งต่อผ่านตัวอื่น หรือการส่งข้อมูลผ่านตัวอื่น) นี้ จะใช้วิธี ส่งชุดคำสั่งตรวจสอบออกไป ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยจะเริ่มด้วยระหัส 0x0F ออกไปเป็นการบอกว่าจะเริ่มส่งคำสั่งแล้ว จากนั้นในไบท์ที่สองก็เป็นเบอร์ของตนเอง (ตัวลูกที่ส่งคำสั่งตรวจสอบออกไป) ไบท์ต่อมาเป็นหมายเลขตัวโมดูลตัวอื่นที่ต้องการตรวจสอบว่าทำงานได้หรือไม่ และสุดท้ายก็เป็นรหัสปิดคำสั่งนั่นเอง โดยใช้ระหัสเป็น 0xFF ก็จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการส่งคำสั่งตรวจสอบนี้ออกไป ทุกตัวที่อยู่รอบๆ ก็จะสามารถรับข้อมูลเริ่มต้นนี้ได้เช่นเดียวกันหมด เพียงแต่ทุกตัวที่รับค่า เริ่มต้นนี้ได้ ก็ต้องตรวจสอบต่อไปว่าในไบท์ที่สองนั้นเป็นหมายเลขของตนเองหรือไม่ หากไม่ใช่ก็จะไม่ต้องทำอะไรเลย แต่หากใช่ก็ต้องมีการส่งคำตอบออกไป โดยคำตอบก็จะมีลักษณะเดียวกันคือ เริ่มด้วยระหัส 0x0F และตามด้วยเบอร์ของตนเอง, เบอร์ของผู้ส่งระหัสคำสั่งตรวจสอบออกมา และสุดท้ายก็เป็นระหัสปิด 0xFF นั่นเอง การทำอย่างนี้ ก็จะเห็นได้ว่า หากมีการตรวจสอบหมายเลขของโมดูลตัวลูกตัวใด โมดูลตัวลูกตัวนั้นจะต้องส่งคำสั่งตอบรับกลับมาเสมอ แต่หากไม่มีการส่งกลับมาในเวลาที่สมควร (ในงานวิจัยใช้เวลารอประมาณ 5 วินาที) ก็จะถือว่าตัวที่ถูกตรวจสอบนั้นมีปัญหา ก็จะเก็บเบอร์ของตัวที่มีปัญหานั้นไวใน ชุดของคำสั่ง/ข้อมูล ต่อไป อนึ่งหากตัวที่เสียหายมีเพียงหนึ่งหรือสองตัว คือไม่ทั้งหมดก็จะสามารถส่งคำสั่ง/ข้อมูลต่อไปได้แต่หากเสียหมด ก็เป็นเหตุสุดวิสัยที่จะส่งคำสั่ง/ข้อมูล ต่อไปได้ แต่กรณีนี้ ในทางตัวแม่ก็จะทราบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ว่าไม่มีข้อมูลกลับ คือมีตัวที่เสียหลายตัวแน่ๆ เพราะจะมีการจับเวลานับตั้งแต่ส่งคำสั่งจากตัวแม่ ว่ามีการรอคำตอบเกินกว่ากำหนดหรือไม่



รูปที่ 15 แสดงรูปแบบของคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบ (สแกน) หาตัวที่เป็นเส้นทางส่งคำสั่ง/ข้อมูลต่อ

ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จึงอยู่ที่การสร้างโปรแกรมให้ทำงานได้ตามจุดมุ่งหมายนั่นเอง ดังนั้นในตารางของการวางแผนงานวิจัยใน ตารางที่ 1 นี้ จึงมีส่วนของการออกแบบ Hard & Software ที่ต้องใช้แวลามากนั่นเอง

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
ศึกษาส่วนของโมดูลต่าง ๆที่จะต้องใช้งาน													
ออกแบบส่วนของ Hard & Software													
ทดสอบแต่ละส่วน													
จัดทำเอกสาร													

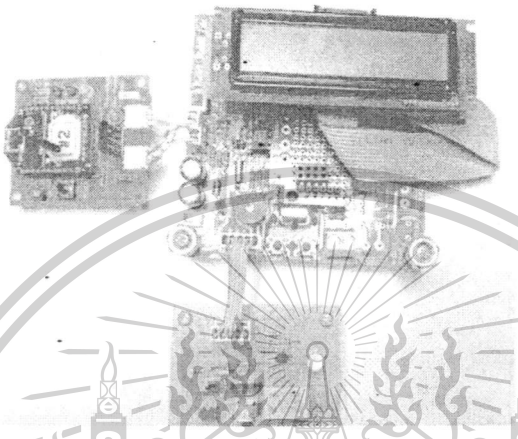
ตารางที่ 1 แสดงตารางเวลาการดำเนินการวิจัย

ดังรายละเอียดในแต่ละส่วนที่ได้กล่าวมา ตอนแรกต้องยอมรับว่าในบางรายละเอียดย่อมไม่สามารถเจาะจงลงไปได้ ว่าต้องเป็นเช่นไร เพราะต้องอาศัยการลงใช้งานในพื้นที่ก่อน ถึงจะได้ข้อสรุปจริงๆ และถึงตอนนี้ ก็ได้ข้อมูลในบางรายละเอียดจริงๆที่ต้องใช้งาน ซึ่งก็คือจะปรากฏในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้แล้วนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

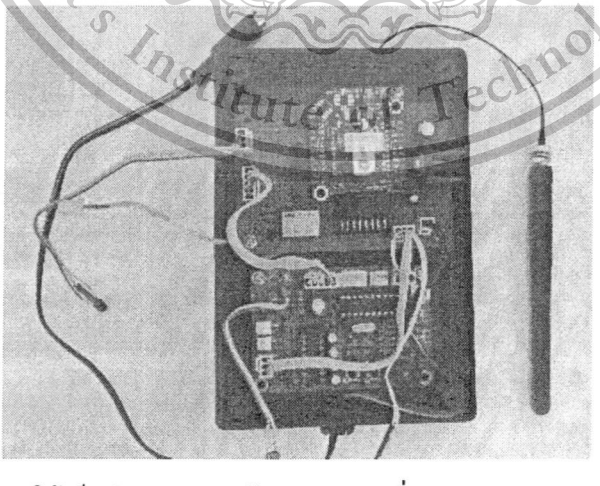
3.4 การใช้งานของอุปกรณ์

ในส่วนนี้จะขอเริ่มแสดงให้เห็นการสร้างเล็กน้อย แล้วค่อยไปถึงการทดลองใช้งาน คือขอเริ่มจากการออกแบบตัวต้นแบบ โดยได้นำส่วนโมดูลต่างๆมาประกอบกันดังไดอะแกรมที่ได้นำเสนอในหัวข้อไปแล้วนั้น ดังรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นถึงบอร์ดทดลองเริ่มต้น



รูปที่ 16 แสดงรูปของต้นแบบส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทดสอบเบื้องต้น

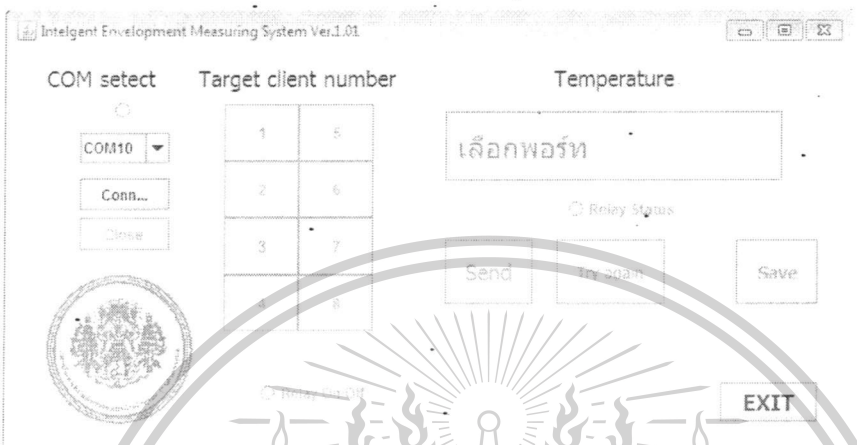
นอกจากบอร์ดที่เป็นบอร์ดประมวลผลที่ใช้เบอร์ 87FE6051 แล้ว ผู้วิจัยก็ได้ออกแบบบอร์ดเสริม ที่รวมทั้งส่วนของวงจร รีเลย์ และส่วนของวงจรรับส่ง Xbee ไว้ในบอร์ดเดียวกัน ให้มีขนาดเล็กเพื่อการเชื่อมต่อที่ง่าย ในบอร์ดนี้ยังรวมส่วนของภาคจ่ายกำลังไฟเลี้ยงทั้งหมดไว้ด้วย ในส่วนของตัวบอร์ดเป็นแสดงดังรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าได้ออกแบบให้มี ตัวแสดลผลการทำงานในขั้นตอนต่างๆ เช่น ภาวะที่บอร์ดอยู่ในสภาวะทำงาน โดยใช้ LED สีเขียว และ สภาวะที่รีเลย์อยู่ในสภาวะ เปิดหรือปิด ก็จะใช้ LED สีเหลืองแสดงผล เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองก็ทำให้ทราบว่าสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังทำให้ตัวบอร์ด สังเกตุการทำงานได้ง่ายอีกด้วย



รูปที่ 17 แสดงให้เห็นส่วนของสายสัญญาณต่างเพื่อการแสดงสภาวะการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวโปรแกรมของตัวแม่ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ นั้นเมื่อทำการติดตั้งแล้วก็สามารถรันใช้งานได้ซึ่งหน้าจอก็จะเป็นดังรูที่ 18



รูปที่ 18 แสดงส่วนของโปรแกรมหลักตัวแม่ (GUI) ที่ผู้ใช้จะต้องสั่งงานผ่าน

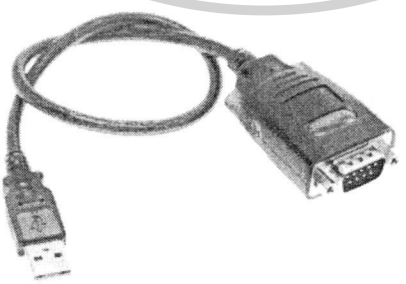
ตัวโปรแกรมจะแบ่งการทำงานเป็นสาม ส่วนคือส่วนด้านซ้าย, ส่วนตรงกลาง และส่วนด้านขวา ซึ่งใช้งานได้ง่ายมากเพราะมีปุ่มหน้าที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 18 ในการใช้งานก็จะเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ต้องกำหนดจุดที่วางตัวโมดูลตัวลูกก่อน โดยวางไว้ตามต้องการแต่ต้องมีระยะห่างที่สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ ดังตัวอย่างในหัวข้อที่ผ่านมา

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาค่าของรายชื่อ Send list และ Back list ของแต่ละโมดูลตัวลูก ดังได้แสดงการหาเป็นตัวอย่างไปแล้วในตอนต้น และทำการใส่ข้อมูลเหล่านี้ให้ตัวโมดูลตัวลูกแต่ละตัวให้ครบ

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากได้ติดตั้งตัวโมดูลตัวลูกเรียบร้อยแล้ว ก็ติดตั้งโปรแกรม GUI สำหรับผู้ใช้และรันโปรกรม ซึ่งจะได้หน้าตาดังรูปที่ 18

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเชื่อมต่อโมดูลตัวแม่กับตัวคอมพิวเตอร์โดยผ่านที่ช่องอนุกรมหรือผ่าน ตัวเปลี่ยน USB to Serial ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 19 และ รูปที่ 20

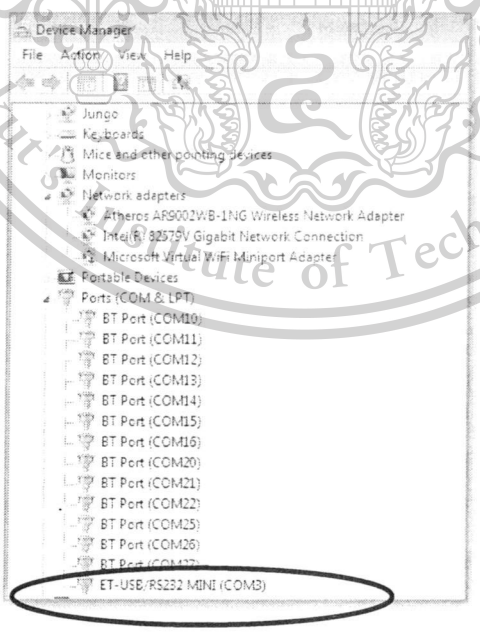


รูปที่ 19 แสดงตัวเปลี่ยนหัวต่อแบบอนุกรม (RS-232C) เป็น USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 20 แสดงตัวเครื่องโมดูลตัวแม่และสายเชื่อมต่อ USB to Serial สำหรับตัวคอมพิวเตอร์

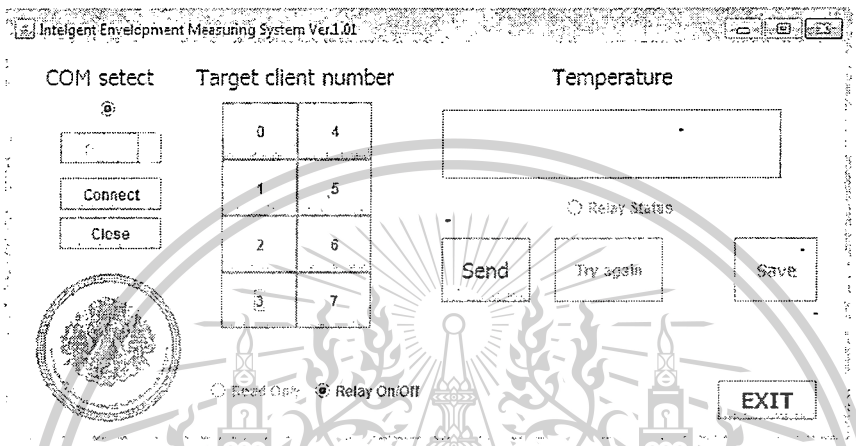
ขั้นตอนที่ 5 ทำการเชื่อมต่อโปรแกรมกับพอร์ทที่ช่อง USB ที่ต้องการใช้งาน ซึ่งผู้ใช้สามารถดูว่าอุปกรณ์ USB to Serial เป็นช่องหมายเลขอะไร (COM1, COM2, ...) โดยไปที่ Devices manager ของ Windows ดังรูปที่ 21 โดยคลิ๊กดูได้ที่ Comport and Printer



รูปที่ 21 แสดงจุดที่ผู้ใช้จะต้องใช้เป็นข้อมูลใช้งานโปรแกรม GUI

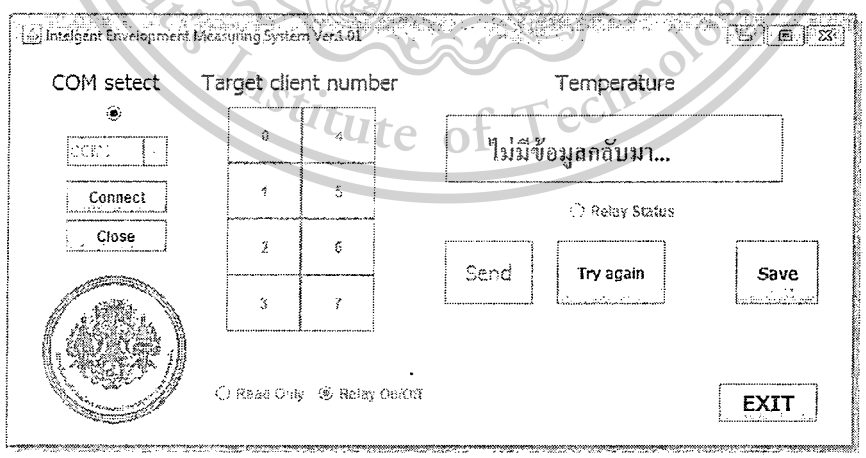
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> ทำการสั่งโปรแกรมให้ต่อเชื่อมช่องที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 โดยกดที่ปุ่มด้านซ้าย เลือก Com select ให้ได้เบอร์ช่องเดียวกัน แล้วกด ปุ่ม Connect ตอนนี้โปรแกรมก็จะแสดงผลของปุ่มเลือกตัวโมดูลตัวลูกที่จะติดต่อและรูปแบบของ รีเลย์ ว่าต้องการจะ ปิดหรือเปิด สมมุติเลือกเป็นช่องสื่อสารช่อง COM 3 และเลือกติดต่อกับโมดูลตัวลูกตัวที่ 3 โดยกำหนดให้สั่ง รีเลย์ เปิด (On) ก็จะได้รูปเป็นดังรูปที่ 22



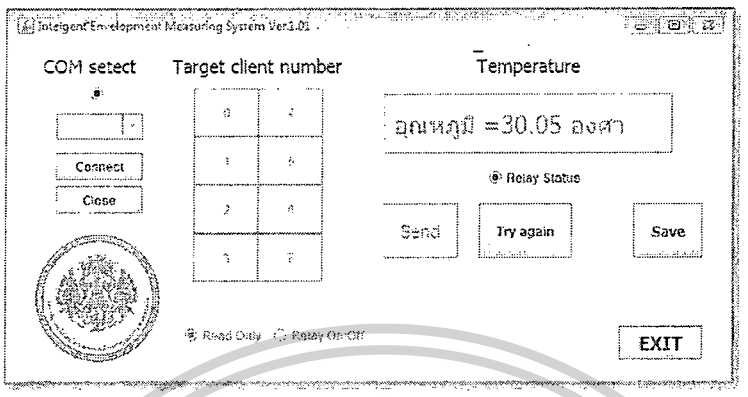
รูปที่ 22 แสดงการสั่งให้ติดต่ออ่านอุณหภูมิกับโมดูลตัวลูกตัวหมายเลข 3 และสั่งให้รีเลย์เปิดด้วย

จากนั้น กดปุ่มส่ง (Send) คำสั่งก็จะถูกส่งไปตามลำดับ ช่วงนี้ผู้ใช้ต้องรอในเวลาที่กำหนด โดยตัวโปรแกรมจะวนรอรับข้อมูลกลับ หากไม่มีมาในเวลาที่กำหนดก็จะแสดงผลดังรูปที่ 23 แต่หากมีข้อมูลกลับมาก็จะแสดงดังรูปที่ 24



รูปที่ 23 แสงผลหากไม่มีข้อมูลกลับมาที่ตัวแม่ในเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 24 แสดงผลของข้อมูลอุณหภูมิและสถานะของรีเลย์ที่กลับมาสู่ตัวแม่

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ถึงตรงนี้หากผู้ใช้ต้องการเคลียร์ค่าเพื่อเริ่มอ่านข้อมูลใหม่ ก็สามารถทำได้โดยกดที่ปุ่ม Try again ก่อน ค่าต่างๆที่อ่านได้ก่อนหน้า ก็จะถูกลบใหม่ทั้งในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์และหน้าจอแสดงผล และเช่นเดียวกัน หากผู้ใช้ได้ทำการอ่านข้อมูลมาแล้วหลายๆครั้งหากต้องการเก็บข้อมูลทั้งหมดนั้นไว้ใน ไฟล์ข้อมูล ก็สามารถทำได้ง่ายโดยการ กดปุ่ม Save ตัวโปรแกรมก็จะทำการเซฟ ไปไว้ในไฟล์ ชื่อ Data_Two.txt โดยไฟล์จะถูกตั้งชื่อตามกำหนดนี้และเซฟไว้โดยอัตโนมัติที่หน้า Desk top ผู้ใช้สามาถเคลื่อนย้ายไปเก็บไว้วิเคราะห์ต่อไปในอนาคตได้ทันที โดยรูปแบบของข้อมูลที่เก็บ ดังแสดงอย่างในรูปที่ 25

```
[เครื่องโมดูลหมายเลข 3]
  อุณหภูมิ = 30.05 องศา
[] สถานะรีเลย์ คือ ปิดอยู่
[] มีโมดูลที่เสีย ดังนี้
 โมดูลหมายเลข 1
[] เวลาที่อ่านข้อมูล:
5/10/2556 11:23:13
-----------------------
[เครื่องโมดูลหมายเลข 7]
  อุณหภูมิ = 30.05 องศา
[] สถานะรีเลย์ คือ เปิดอยู่
[] มีโมดูลที่เสีย ดังนี้
[]เวลาที่อ่านข้อมูล:
5/10/2556 11:25:17
-----------------------
```

รูปที่ 25 แสดงผลของตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการอ่านเก็บบันทึกไว้ในไฟล์ชื่อ Data_Two.txt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

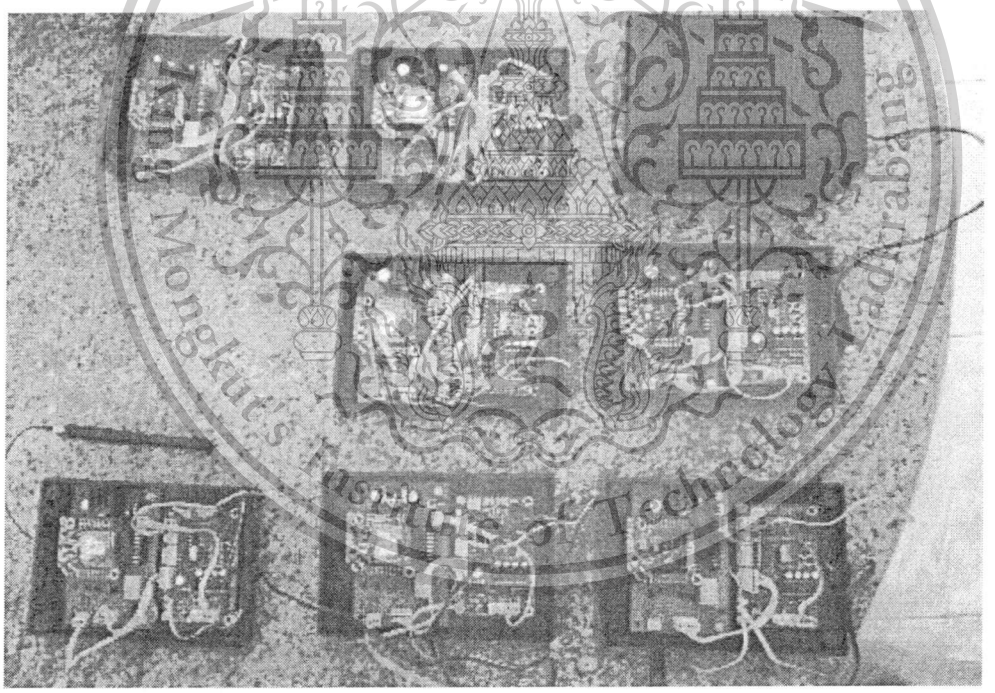
บทที่ 4
ผลงานวิจัย

ในการทดลองได้ทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อน (ตึก 12 คณะวิศวกรรมศาสตร์) โดยได้ทำการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการเอง หลายครั้งในลักษณะที่การวางตัวโมดูลตัวลูกหลายๆแบบ จากนั้นก็นำไปทำการทดสอบในพื้นที่จริง โดยได้เลือก พื้นที่ๆเป็นทั้งในบ้านและสถานที่อื่นผสมกันไป ในเขตลาดกระบัง ซึ่งผลก็สามารถทำงานได้ตามเป้าหมาย

4.1 ผลต่างๆ

4.1.1 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

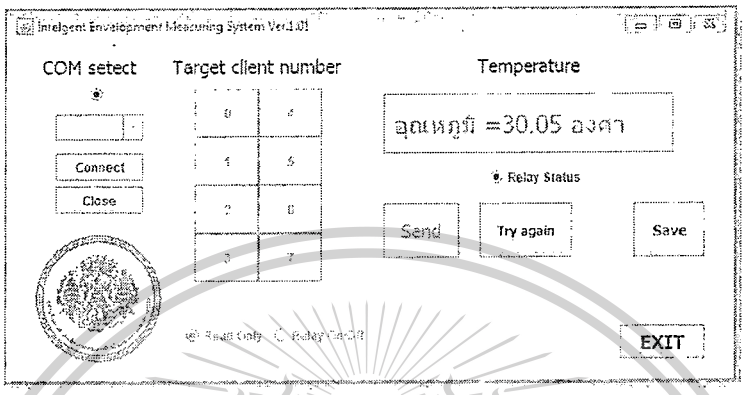
เริ่มต้นผู้วิจัยได้ทดสอบในห้องปฏิบัติการก่อนโดยมีการจัดเรียงโมดูลตัวลูกดังแสดงในรูปที่ 26 โดยตัวที่ไม่มีโมดูล Xbee คือตัวที่สมมุติว่าเสีย



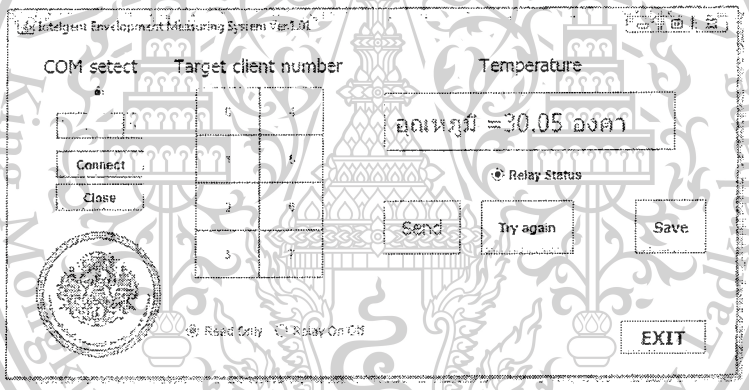
รูปที่ 26 แสดงการจัดวางโมดูลตัวลูกในการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

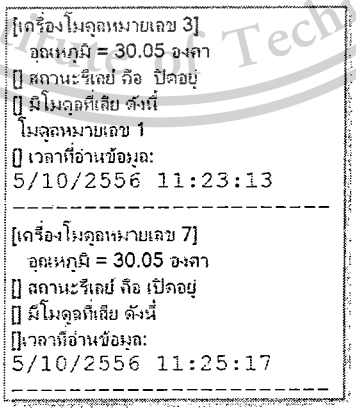
เลือกการติดต่อในหลายตัวคือตัวที่ 3, 7 เป็นต้น และยังมีการทดสอบว่ามีโมดูลตัวลูกที่เสียหายในเส้นทางการวิ่งของคำสั่งด้วย ผลการทำงานของโปรแกรมสามารถทำงานได้ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 27, 28 ตามลำดับ และรูปที่ 29 เป็นค่าของไฟล์ที่อ่านได้จากการอ่าน โมดูลตัวลูกหมายเลข 3 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 27 ผลที่กลับมาจากการส่งคำสั่งไปอ่านอุณหภูมิตัวลูกหมายเลข 3



รูปที่ 28 ผลที่กลับมาจากการส่งคำสั่งไปอ่านอุณหภูมิตัวลูกหมายเลข 7

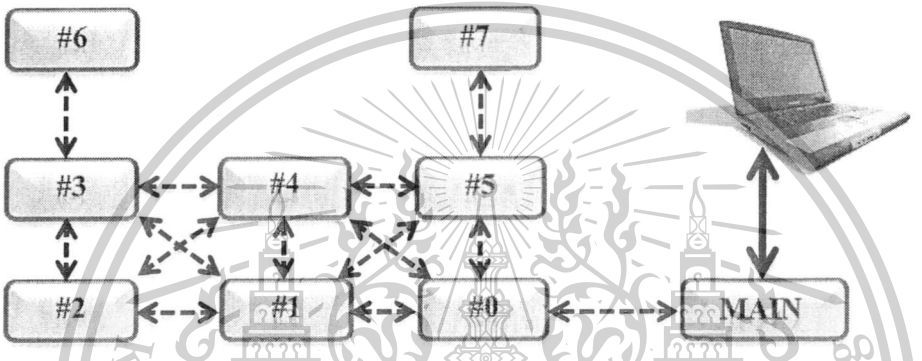


รูปที่ 29 ผลที่ได้จากการเซฟไฟล์เก็บไว้ในแผ่นข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 ทดสอบในสถานที่จริง

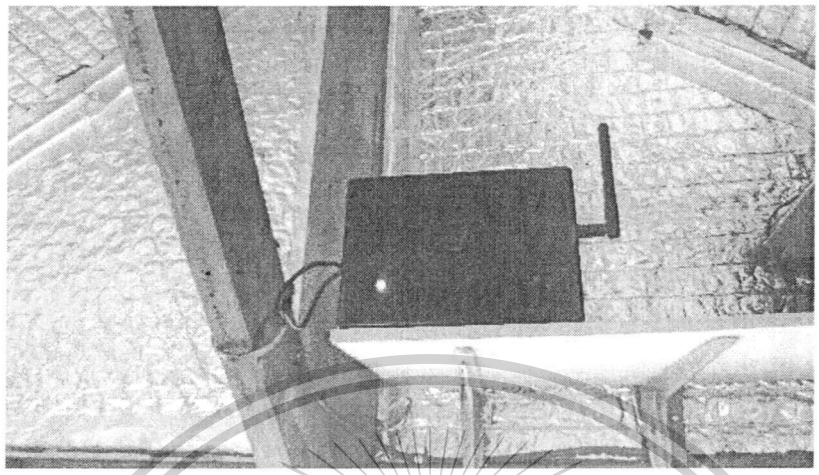
เมื่อได้ผลการทำงานในห้องปฏิบัติการแล้ว ผู้วิจัยได้มีการนำไปทดสอบในสถานที่จริง โดยลักษณะของการจัดวางก็เป็นดังแสดงในรูปที่ 30 ข้างล่างนี้ และได้เลือกสถานที่หลายๆแบบ ทั้งติดตั้งในบ้านและที่อื่นๆ ดังแสดงในรูปตัวอย่าง รูปที่ 31 ถึง 33 และผลของการอ่านค่าได้จากสถานที่จริงดังรูปที่ 34 และ 35 โดยกำหนดให้อ่านตัวที่ 4 และสุดท้าย รูปที่ 37 ก็เป็นภาพของไฟล์ที่บันทึกไว้ ตามลำดับ



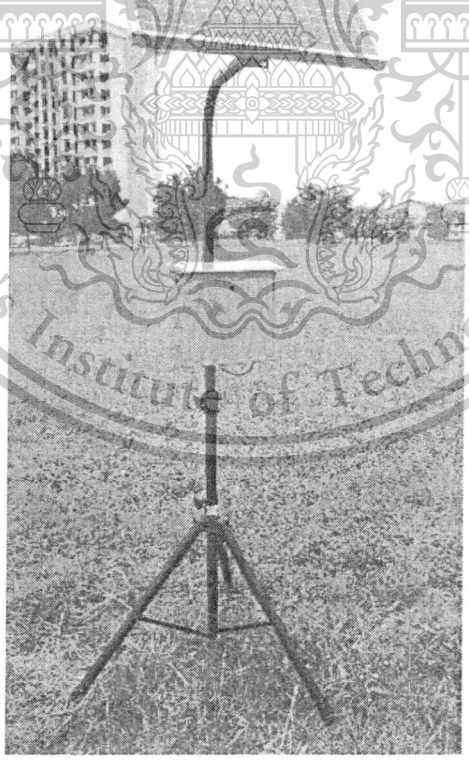
รูปที่ 30 แสดงรูปแบบของการจัดวางตัวโมดูลตัวลูกทั้ง 8 ตัว

รูปที่ 31 แสดงรูปแบบติดตั้งตัวลูกในบ้านหลังแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

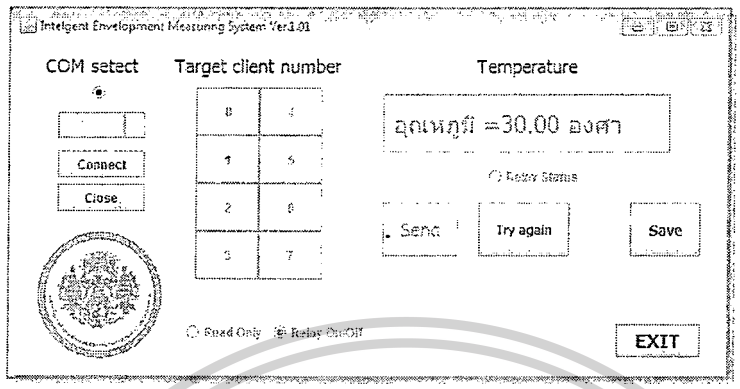


รูปที่ 32 แสดงรูปแบบการติดตั้งตัวโมดูลตัวลูกในบ้านหลังที่สอง

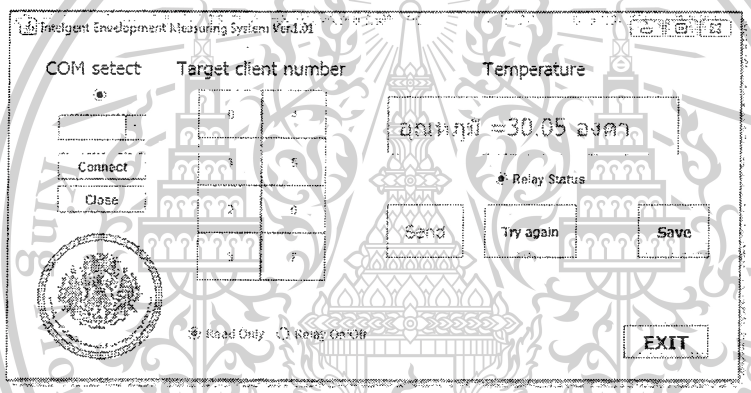


รูปที่ 33 แสดงรูปแบบการติดตั้งโมดูลตัวลูกในพื้นที่สนาม

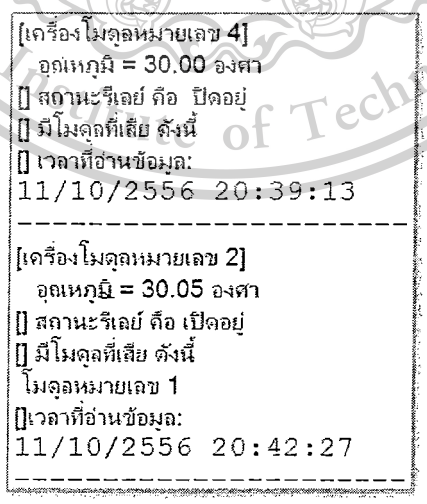
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 34 แสดงผลที่อ่านได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกตัวที่ 4



รูปที่ 35 แสดงผลที่อ่านได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกตัวที่ 2



รูปที่ 36 แสดงผลของการเซฟไฟล์ที่ได้จากการอ่านโมดูลตัวลูกทั้งสองคือ 4 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 จุดเด่นของงานวิจัยนี้

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอถึงการวัดค่าสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกล โดยมีความสามารถดังนี้ คือ เมื่อระบบได้รับการติดตั้งแล้ว โดยประกอบไปด้วย ส่วนที่หนึ่งซอฟร์แวร์สั่งงานที่ติดตั้งได้บนคอมพิวเตอร์ทั่วไปของผู้ใช้ โดยจะมีลักษณะทำงานแบบ GUI ทำให้ใช้งานง่าย ส่วนที่สองก็เป็นการนำตัวโมดูลตัลลูกไปติดตั้งในพื้นที่ต่างๆโดยเพียงคำนึงถึง รัสมีของการรับส่งที่ต้องมีการเชื่อมโยงกันเป็นทอดๆ อันนี้ทำห้สามารถติดตั้งตัวลูกได้ไกลมากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มกำลังส่งของตัวโมดูลตัวลูก เพราะตัวโมดูลตัวลูกเหล่านี้จะทำงานได้ในรูปแบบทวนสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถบอกได้ถึงหมายเลขของโมดูลตัวลูกที่เสียหาย อันนี้ย่อมเป็นผลดีต่อการบำรุงรักษาลดค่าใช้จ่ายการที่ต้องส่งพนักงานออกไปค้นหาตัวที่เสียหาย เพราะจะทราบเลยว่าโมดูลตัวไหนเสียหาย และชุดโมดูลที่ออกแบบนี้ จะสามารถสร้างได้อย่างไม่ลำบากใดๆเพราะอุปรณ์ทุกชิ้นสามารถหาซื้อสร้างได้ในเมืองไทย อีกทั้งราคาที่ไม่แพง เพราะจุดที่ซับซ้อนจะเป็นการสร้างโปรแกรมสำหรับโมดูลตัวลูกนี้มากกว่า ซึ่งผู้วิจัยก็ได้สร้างเป็นต้นแบบไว้แล้ว เป็นภาษาซี ที่นักวิจัยท่านอื่นๆ สามารถนำไปต่อยอดพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และด้วยการออกแบบซอฟร์แวร์ที่นำเสนอนี้ จะสามารถที่ทำงานได้กับระบบรับส่งวิทยุทั่วไป (วิทยุสื่อสารทั่วไป, โมดูล Xbee หรือ ระบบวิทยุอื่นๆ) โดยไม่ต้องอาศัยโปโตคอลของ Xbee หรือ จะเป็นมาตฐานอื่นๆ ก็นับเป็นจุดเริ่มต้นอันหนึ่งของการสร้างและพัฒนาเพื่อใช้งานเองโดยไม่ต้องอาศัยผูกขาดกับสินค้า ชนิดใด.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและคำเสนอแนะ

จากการทดสอบใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพสิ่งเวดล้อมระยะไกล ทั้งในห้องปฏิบัติการและในพื้นที่ต่างๆนั้น พอสรุปถึงการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

ประการแรกนั้น เรื่องของการติดตั้งโมดูลตัวลูกใช้งาน จุดนี้นับเป็นภาระอันหนัก เพราะต้องออกพื้นที่หลายพื้นที่และในแต่ละจุดก็อาจต้องมีการออกแบบลักษณะของการติดตั้งที่แตกต่างกัน อย่างตัวอย่างที่งานวิจัยนี้ทำก็คือจะมีการติดตั้งในบ้านของชาวบ้านที่เค้าอนุญาตให้เข้าไปติดตั้งได้ อันนี้จะง่ายหน่อยเพราะสามารถติดตั้งได้บนชั้นสองหรือสามที่ตำแหน่งเสาใดก็ได้ แต่ด้วยขนาดของตัวโมดูลตัวลูกที่ออกแบบให้เล็กทำให้ง่ายต่อการติดตั้งให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ใช้งาน อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

ประการที่สอง เรื่องของการทำรายชื่อการส่งผ่าน คือ จัดทำตาราง Send list และ Back list เพื่อใส่ให้กับตัวโมดูลแต่ละตัว อันนี้ผู้ติดตั้งจะต้องนำรูปแบบของการวางตำแหน่งทั้งหมดของตัวโมดูลตัวลูก มาวิเคราะห์จัดเส้นทางของการส่งผ่านคำสั่ง/ข้อมูล ของแต่ละโมดูลเอง ซึ่งข้อเสียคือจะเสียเวลาบ้างกับขั้นตอนนี้ เพราะยังไม่มีซอฟร์แวร์ที่สามารถสร้างไฟล์ตารางของการจัดเส้นทางเองอัตโนมัติจากรูปแบบการวาง และต้องทำใหม่ทุกครั้งที่มีการติดตั้งจัดวางโมดูลตัวลูกใหม่ แต่อย่างไรก็แล้วแต่ก็จะเป็นเพียงขั้นตอนเดียวที่ทำเพียงครั้งเดียวตัวติดตั้งเท่านั้น

ประการที่สาม เรื่องของการใช้งาน เมื่อได้จัดวางและติดตั้งอุปกรณ์ตัวตรวจวัดต่างๆ พร้อมทั้งเชื่อมต่อสายอนุกรมระหว่างตัวแม่และคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ เรียบร้อยแล้ว (ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดน่าจะเป็นวิศวกรเป็นผู้จัดการทั้งหมด) ต่อไปก็เป็นขั้นตอนของการใช้งานซึ่งอันนี้ ผู้ใช้งานก็ไม่จำเป็นต้องเป็นวิศวกรแต่อย่างใด เนื่องด้วยระบบได้ออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายมากๆ เพียงผู้ใช้ ทำการเปิดโปรแกรมที่ติดตั้งไว้บนคอมพิวเตอร์ และทำการเลือกช่องการเชื่อมต่อ หลังจากนั้น ก็เลือกได้เลยว่าจะต้องการอ่านค่าของอุณหภูมิของตัวโมดูลตัวลูกตัวใด โดยการคลิ๊กที่หมายเลขโมดูลตามต้องการ เลือกการใช้งานรีเลย์ แล้วก็กดส่งได้เลย จากนั้นผู้ใช้ก็เพียงรอผลการอ่านค่ากลับมา ซึ่งโปรแกรม GUI นี้ ก็จะแสดงผลออกสู่จอภาพทั้งค่าอุณหภูมิที่ได้, สถานะของรีเลย์ และบอกได้ถึงมีตัวใดของโมดูลตัวลูกที่เสียหายไม่ทำงานบ้าง ผู้ใช้สามารถจัดเก็บข้อมูลลงบนไฟล์ได้ตามต้องการ ทั้งหมดนี้ผู้ใช้สามารถทำได้ทันทีและง่ายดาย เพราะเพียงคลิ๊กตามหน้าจอภาพของ GUI เท่านั้น ดังนั้น ถึงตรงนี้พอจะสรุปได้ว่า การใช้งานของ เครื่องวัดสภาพสิ่งแวดล้อมระยะไกลอัจฉริยะ นี้ มีข้อที่อาจต้องซับซ้อนบ้างก็ตรงเรื่องของการติดตั้งระบบเท่านั้น ซึ่งควรจะเป็นวิศวกร ส่วนในเรื่องของการใช้งานนั้น นับว่าง่ายมากทุกคนสามารถใช้งานได้ในเวลาอันรวดเร็ว เพราะโปรแกรม GUI ได้ออกแบบทดสอบมาหลายครั้งจากผู้ใช้ทดสอบ และได้รับคำชมว่าสามารถใช้งานได้ง่าย นั่นเอง

ประการสุดท้าย จากส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าแม้จะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในเมืองไทย แต่หากมีการพัฒนาต่อยอด โดยการนำทุกส่วนของแผนวงจรนั้น ไปออกแบบเป็นวงจรขนาดเล็ก (Embedded) ลงไปอีก ก็จะส่งผลดีมากมาย เพราะนอกจากจะทำให้น้ำหนักลดลงไปอีก ทำให้เครื่องเคลื่อนที่ได้ง่ายแล้ว ยังราคาก็ต้องถูกลงด้วยเพราะจะเหมาะกับการสร้างเป็นจำนวนมากๆ เพื่อกระจายวัดในที่ต่างๆ ให้ได้ข้อมูลมาประกอบการสร้างระบบป้องกันอุทกภัย หรือภัยอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม เอกสารอ้างอิง

[1] www.silaresearch.com

[2] http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf

[3] Java GUI Development (Sams Professional) by Vartan Piroumian (Aug 1999)

[4] Java: Graphical User Interface for Desktop and Web by Timur Mashnin (Jun 13, 2012)

[5] Embedded C by Michael J Pont (May 4, 2002)

[6] www.sysnergy.com

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

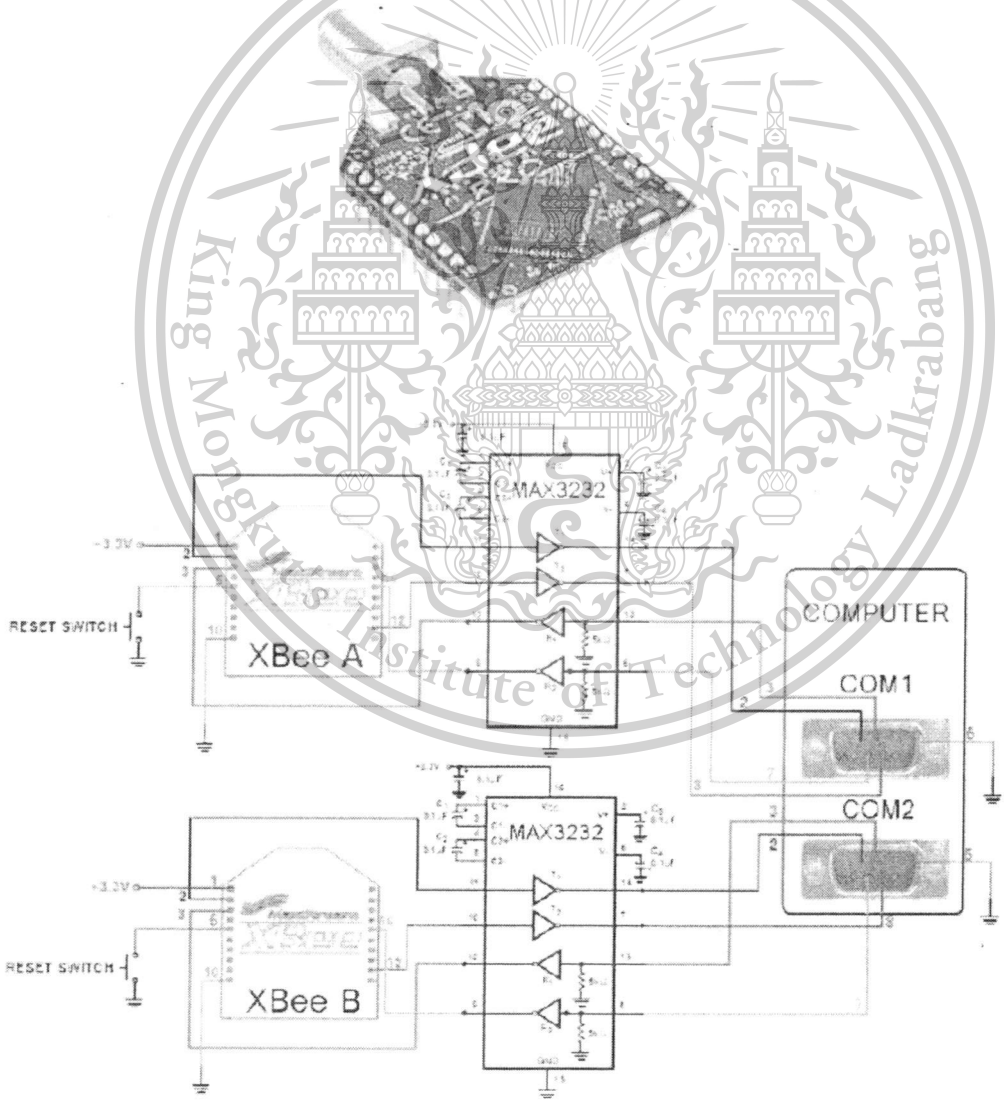
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

ส่วนนี้จะได้เสริม ส่วนของอุปกรณ์และโปรแกรมที่สำคัญในการสร้างและออกแบบทำงานของตัวเครื่อง เพื่อจะได้เป็นข้อมูลต่อนักวิจัยผู้อื่นจะได้นำไปพัฒนาต่อยอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาคผนวก ก.

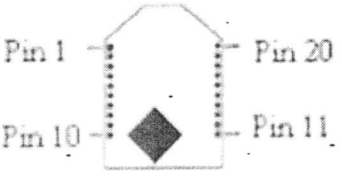
อุปกรณ์โมดูลการรับส่งข้อมูล Xbee Medel: Xbee-Pro XSC Rf module



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Pin #	Name	Direction	Description
1	Vcc		Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / $\overline{\text{CONFIG}}$	Input	UART Data In
4	DIO12	Either	Digital I/O 12
5	$\overline{\text{RESET}}$	Input/Open drain output	Module Reset (reset pulse must be at least 100 us. This must be driven as an open drain/collector. The module will drive this line low when a reset occurs. This line should never be driven high.)
6	PWM0 / RSSI / DIO10	Either	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	PWM1 / DIO11	Either	PWM Output 1 / Digital I/O 11
8	[reserved]		Do not connect
9	$\overline{\text{DTR}}$ / SLEEP_RQ/ DIO8	Either	Pin Sleep Control Line or Digital IO 8
10	GND		Ground
11	AD4/DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	$\overline{\text{CTS}}$ / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / $\overline{\text{SLEEP}}$	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9
14	VREF		This line must be connected if analog IO sampling is desired. Must be between 2.6 V and Vcc.
15	Associate / DIO5/AD5	Either	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	$\overline{\text{RTS}}$ / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / Commissioning Button	Either	Analog Input 0, Digital I/O 0, or Commissioning Button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปรกรณ์โมดูลวัดค่าอุณหภูมิ DS1820

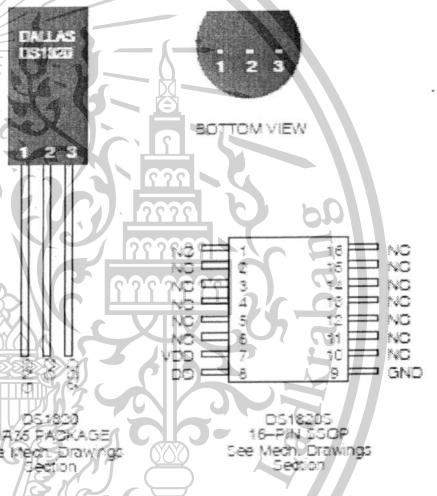
DALLAS
SEMICONDUCTOR

DS1820
1–Wire™ Digital Thermometer

FEATURES

- Unique 1–Wire™ interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line
- Zero standby power required
- Measures temperatures from –55°C to +125°C in 0.5°C increments. Fahrenheit equivalent is –67°F to +257°F in 0.9°F increments
- Temperature is read as a 9–bit digital value
- Converts temperature to digital word in 200 ms (typ.)
- User–definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND	–	Ground
DQ	–	Data In/Out
V_{DD}	–	Optional V_{DD}
NC	–	No Connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข
ส่วนของโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 โปรแกรมคือ โปรแกรมส่วนตัวแม่หรือของผู้ใช้งานคือส่วน GUI ซึ่งโปรแกรมส่วนนี้เขียนโดย JAVA GUI โดยสามารถนำไปลงบน คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ ส่วนนี้จะเป็นแบบโปรเจ็กไฟล์ที่ลงไว้ในแผ่น CD แล้ว, ส่วนต่อมาเป็นโปรแกรมของตัวโมดูลตัวลูก ซึ่งจะมีลักษณะมีส่วนของการติดต่อกับเซนเซอร์และรีเลย์ ดังนั้นจึงขอแสดงเฉพาะโปรแกรมหลักของตัวโมดูลตัวลูก เท่านั้น ในรายละเอียดทั้งหมดจะมีขนาดหลายบรรทัด ได้ใส่ไว้ใน CD ทั้งหมดแล้ว

```
//======================== MAIN ============================
//
void main (void) {
  unsigned char a;
   bit f;
   a = 0;
   start ();
   f = 1;
   P10=1;  //Off GREEN LED
  dmsec(1000);
   while(1){
  //1] wait for Com/Dat
    waitFor(0xF0,0xFF); // wait...Get data
    P10=0;  //ON GREEN LED
    if(STRBUF[1]==0x00)
    { // Command forward
      if(STRBUF[4]==MY_ID) // if Own then Read Temp and Send back to PC
      {
         Read_Tem();
        dmsec(500);
        Read_Temp();
        dmsec(500);
        Set_Relay();
//Prepare for Data Back to PC
        if(Check_suround(1)) // 0: command, 1: data
    { // Suround ok!
         Send_data();
    }else {//Can not Send back.... so Blink GREEN LED
          while(1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
{
   P10=0; dmsec(500);
   P10=1; dmsec(500);
   }
}
    }else{ //if Not own then Tranfer Command to the next Module
      dmsec(500);
      if(Check_suround(0))
{ // Suround ok!

      Transfer_command();
}else { //Not ok! so... back ward to pc
       if(Check_suround(1))
            { // Suround ok!
               Send_data();
        }else {//Can not Send back.... so Blink GREEN LED
while(1);
{
     P10=0; dmsec(500);
     P10=1; dmsec(500);
}
     }
       }
   }else{ //Command back ward
     // //Prepare for Data Back to PC
          if(Check_suround(1)) // 0: command, 1: data
  { // Suround ok!
          Send_data();
   }else {//Can not Send back.... so Blink GREEN LED
          while(1)
         {
             P10=0; dmsec(500);
              P10=1; dmsec(500);
   }
  }
 }
   P10=1;  //Off GREEN LED
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) .....อรรถสิทธิ์ หล่าสกุล.....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) .....ATTASIT LASAKUL.....

ตำแหน่งทางวิชาการ ...รองศาสตราจารย์..... **สัดส่วนการวิจัย** .....100 %.....

ภาควิชา .....สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... **คณะ** .....วิศวกรรมศาสตร์.....

โทรศัพท์ ...0840270185..... **โทรสาร** .....

E-mail .....klattasi@kmitl.ac.th.....

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	ปี ค.ศ. ที่สาเร็จ	สถาบันการศึกษา	วิชาเอก	ชื่อปริญญา
ปริญญาตร	1987	KMITL	อิเลกทรอนิกส์	B.Ind.Tech
ปริญญาโท	1990	KMITL	ไฟฟ้า	M.Eng
ปริญญเอก	2000	Tokai University	ไฟฟ้า	D.Eng

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....

การออกแบบวงจรดิจิตอลและการใช้งาน, ระบบดิจิตอล อัตโนมัติ เช่น ไมโครคอนโทลเลอร์.....

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2544	“เครื่องคอบคุมสวิทช์แบบหลายช่องพร้อมกัน”	สกว.
2551	“อุปกรณ์เสริมคีย์บอร์ดสำหรับผู้พิการทางสายตา”	พระจอมเกล้าลาดกระบัง
2552	“เครื่องวัดระยะไกลผ่านวิทยุสื่อสาร”	พระจอมเกล้าลาดกระบัง
2553	“เครื่องติดตามยานพาหนะแสดงผลภาษาไทย”	พระจอมเกล้าลาดกระบัง
2554	“เครื่องบันทึกการสอน”	พระจอมเกล้าลาดกระบัง
2554	“เครื่องวัดสิ่งแวดล้อมระยะไกลผ่านวิทยุสื่อสาร”	วช.
2555	“เครื่องวัดสิ่งแวดล้อมระยะไกลอัจฉริยะ”	พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.