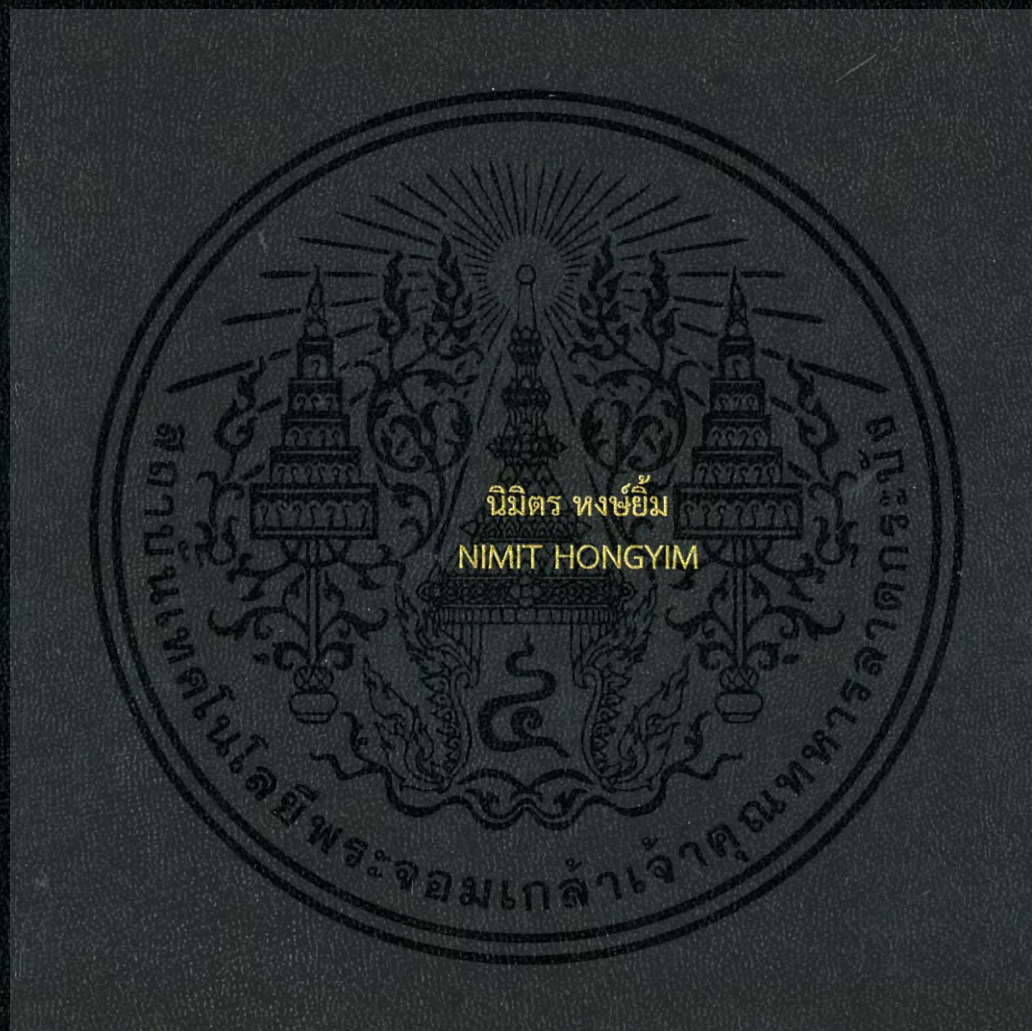


ออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวเพื่อรายงานตำแหน่งของวัตถุและสอบข้อมูล
เซ็นเซอร์โดยใช้ APRS โพรโตคอล

DESIGNING EMBEDDED SYSTEM DEVICE TO REPORT OBJECT
POSITION AND DETECT SENSOR DATA USING APRS PROTOCOL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-M-070-081

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวเพื่อรายงานตำแหน่งของวัตถุและสอบข้อมูล
เซ็นเซอร์โดยใช้ APRS โพรโตคอล

DESIGNING EMBEDDED SYSTEM DEVICE TO REPORT OBJECT
POSITION AND DETECT SENSOR DATA USING APRS PROTOCOL



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148680**
รับเดือนปี **14 ๗๑. 2560**

b. **00267608**
f.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-070-081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGNING EMBEDDED SYSTEM DEVICE TO REPORT OBJECT
POSITION AND DETECT SENSOR DATA USING APRS PROTOCOL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-070-081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017





FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวเพื่อรายงานตำแหน่งของวัตถุและสอบข้อมูลเซ็นเซอร์ โดยใช้ APRS โพรโตคอล
Thesis Title Designing Embedded System Device to Report Object Position and Detect Sensor Data using APRS Protocol
นักศึกษา นายนิมิตร หงษ์ยิ้ม
รหัสประจำตัว 58601098
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-070-081

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภูษงค์	อุทโยภาส	
ผศ.ดร.สุรินทร์	กิตติธรรกุล	
ดร.ธัญชัย	ตรีภาค	
รศ.ดร.อรฉัตร	จิตตโสภักตร์	
รศ.ดร.สมศักดิ์	มิตะถา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดสิทธิ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ รั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวเพื่อรายงานตำแหน่งของวัตถุและ สอบข้อมูลเซ็นเซอร์โดยใช้ APRS โพรโตคอล
นักศึกษา	นายนิมิตร หงษ์ยิ้ม
รหัสประจำตัว	58601098
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวกับการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวที่สามารถรับข้อมูลพิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์GPSแล้วมาผสมกับข้อมูลที่ได้รับจากตัวเซ็นเซอร์แปลงเป็นโปรโตคอล APRS (Automatic Position Report System) เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลระยะไกล, มีขนาดเล็กและฟังก์ชันยืดหยุ่นตามลักษณะการประยุกต์ใช้งาน

ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระยะทางการสื่อสารกับอุปกรณ์ระบบฝังตัวที่นำเสนอ โดยเทียบกับการคำนวณตามทฤษฎี Link Budget เป็นตัวอ้างอิง ผลการทดลองของระบบฝังตัวที่นำเสนอ กำลังส่ง 20 mW ได้ระยะทาง 18 km ผลการทดลองสอดคล้องและเป็นที่ยอมรับได้ตามการคำนวณของทฤษฎี Link Budget และ มีการทดลองอีกแบบหนึ่งเพื่อหาระยะทางสูงสุดจากระดับความสูงเดียวกันของระบบฝังตัวที่นำเสนอกับอุปกรณ์รับสัญญาณแบบ Line of sight โดยใช้เครื่องมือวัด Spectrum Analyzer นอกจากนี้ ระบบที่เรานำเสนอยังมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีกว่า ทั้งขนาด ราคา และการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าระบบที่มีใช้ทั่วไป โดยวิทยานิพนธ์นี้ ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเพื่อการงานวัดกัมมันตภาพรังสี การเก็บข้อมูลเพื่อการเกษตร การบันทึกข้อมูลการปลูกเห็ดในโรงเรือน และ การบันทึกข้อมูลวัดขนาดต้นไม้ในอุตสาหกรรมสวนป่าขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Designing Embedded system device to Report Object Position and Detect Sensor data Using APRS Protocol
Student	Mr.Nimit Hongyim
Student ID.	58601098
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Mithata

ABSTRACT

This thesis is about the study and design of embedded devices that can receive location coordinates from a GPS device and mixes the data received from the sensor into the APRS (Automatic Position Report System) protocol for data communications applications. Remote, small and flexible functions based on application characteristics.

Results of the experiment to compare the communication distance performance with the proposed side-system devices. Compared with the Link Budget theory as a reference. Experimental results of the proposed embedded system are sending 20 mW at a distance of 18 km. The results are consistent and validated by the Link Budget theory and another experiment is used to find the maximum distance from the same level of embedded system offered with the Line of sight receiver using the Spectrum Analyzer. In addition, the system we offer is better at both cost and price. These lower power consumption than systems that are commonly used. By this thesis has applied to research for radioactivity measurement. Data collection for agriculture of mushroom growing cropping system and recording of tree growth rate measurements in large forest industry.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยการดูแลที่เต็มเปี่ยมด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. สมศักดิ์ มิตะธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำชี้แนะแนวทางตรวจสอบ ความถูกต้องเพิ่มเติมที่มีความสำคัญและให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งแล้วเสร็จ ชี้แนะแนวทาง ตรวจสอบความถูกต้องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบังทุกท่าน และ ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงเพื่อนรุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจในการออกแบบและออกแรงช่วยในการทดลองเพื่อการวิจัยและขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อันถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้และที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ ได้ให้กำลังใจในการศึกษาและการสนับสนุนในการทำวิจัยตลอดมา รวมถึงผู้เขียนตำรา เอกสาร บทความงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำมาอ้างอิงในงานวิจัยครั้งนี้ รวมไปถึงขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกด้านเป็นอย่างดี จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

อนึ่ง คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีซึ่งเป็นผลมาจากงานวิจัยนี้ ขอมอบแด่พระคุณบิดา มารดา ญาติ พี่น้อง ครู อาจารย์ ที่ให้มีโอกาสทางการศึกษาและผู้มีพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

นิมิตร หงษ์ขี้ม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความเป็นมาของ APRS โพรโตคอลโดยสังเขป.....	1
1.3 ปัญหาในการประยุกต์ใช้งานการสื่อสารข้อมูล.....	2
1.4 เป้าหมายของวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.6 ขอบเขตการทำงานของวิทยานิพนธ์.....	4
1.7 ผลที่คาดว่าจะได้จากการศึกษาและวิจัย.....	4
1.8 ขั้นตอนของการทดลอง.....	4
1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 งานวิจัย APRS โพรโตคอลมาพัฒนางานสื่อสารดาวเทียมแบบต้นทุนต่ำ.....	6
2.2 การวิจัยเกี่ยวกับการใช้ APRS Protocol เพื่อตรวจจับ Flash Flood.....	9
2.3 สรุปผลท้ายบท (Summary).....	11
บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของโปรโตคอล APRS.....	12
3.1 AX.25 โพรโตคอล.....	14
3.2 AX.25 Data Frame.....	14
3.2.1 รูปแบบ Data Frame.....	14
3.3 AX.25 โพรโตคอล และ APRS โพรโตคอล.....	15
3.4 APRS โพรโตคอลรูปแบบเพื่อการรายงาน (APRS data format report).....	16
3.5 APRS โพรโตคอลรูปแบบเพื่อการรายงานสภาพอากาศ (Weather Reports).....	16
3.5.1 การรายงานสภาพอากาศข้อมูลดิบ.....	17
3.5.2 รายงานสภาพอากาศแบบสมบูรณ์.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 BELL 202 ในกิจการวิทยุสมัครเล่น.....	18
3.6.1 Bell202 Frame Format.....	18
3.7 ลักษณะทางกายภาพ APRS ของฮาร์ดแวร์.....	19
3.7.1 Digipeater.....	19
3.7.2 I-Gate (Internet gateway).....	20
3.7.3 Tracker Unit (Embedded Design ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้).....	20
3.8 วิทยุ (Transceiver).....	21
3.9 อุปกรณ์ Radio Modem หรือ TNC (Terminal Node Controller).....	21
3.10 อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS (Global Positioning System).....	22
3.11 ชุดอุปกรณ์สำหรับ APRS โปรโตคอล.....	22
3.11.1 สถานีเครื่องรับ.....	23
3.11.2 TH-D7 Kenwood และ GPS Module.....	23
3.12 สรุปผลท้ายบท (Summary).....	24
บทที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัว.....	25
4.1 Hardware Design.....	26
4.2 Software Programing Technique.....	30
4.2.1 การทดลองของชุด Radio Matrix (HX-1).....	42
4.3 ส่วนประกอบทางด้านระบบเครือข่ายฐานข้อมูล.....	43
4.3.1 APRS Internet Service.....	44
4.3.2 APRS.FI Web Query tools.....	45
4.3.3 Exporting Tool.....	46
บทที่ 5 การทดลองการสื่อสารระยะไกล.....	48
5.1 การทดลองวัดระยะทางที่ไกลที่สุด.....	50
5.1.1 การทดลองหาระยะทางไกลที่สุดของ Tracker # 1 กับสถานีรับ Ground Station.....	50
5.1.2 Tracker # 2 Kenwood Th-D7+GPS module.....	56
5.2 การวัดระยะทางที่ไกลจากเครื่องวัดสเปกตรัม.....	62
5.3 สรุปผลการทดลองท้ายบท (Summary).....	65
บทที่ 6 ผลงานการวิจัยที่ได้พัฒนาไปในงานจริง.....	66
6.1 การออกแบบ Sensor Node.....	66
6.2 ออกแบบ เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี ส่ง APRS เพื่อติดตั้งบนหุ่นยนต์อัตโนมัติ.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.1 ที่มาและแรงจูงใจเพื่อวิจัยและการทดลอง.....	68
6.2.2 ออกแบบการวัดค่ากัมมันตภาพรังสี (Geiger Counter)	69
6.2.3 ออกแบบชุด APRS ที่มีการรวมข้อมูลตำแหน่งและข้อมูลการวัดกัมมันตภาพรังสี	69
6.3 ออกแบบ การควบคุมอุณหภูมิความชื้นโดยใช้ APRS ทำ Dataloging สำหรับปลูกเห็ด .	71
6.3.1 ระบบ EVAP (Evaporative Air Cooling System).....	71
6.3.2 โรงเรือน.....	72
6.3.3 ชุดควบคุมและ APRS	73
6.3.4 การเขียนโปรแกรม	74
6.4 ระบบการติดตามการวัดขนาดลำต้นต้นไม้เพื่อบันทึกการเติบโตใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ.....	75
6.4.1 ที่มาและแรงจูงใจเพื่อวิจัยและการทดลอง.....	75
6.4.2 หลักการทำงานของระบบ.....	76
6.4.3 Outpost Station.....	78
6.4.4 รูปแบบของข้อมูลผ่าน APRS.....	79
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการศึกษาวิจัยในอนาคต.....	80
7.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	80
7.2 แนวทางในการศึกษาวิจัยในอนาคต.....	82
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก.....	90
ก. Experiment data collection.....	90
ข. Tracker Schematic Diagram ของ ชุดที่ออกแบบระบบฝังตัว	96
ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	97
ประวัติผู้เขียน.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางของค่า Link Budget ที่ทำการคำนวณหาค่าที่แน่นอนของการสื่อสาร	8
2.2 Status report Format	10
2.3 Telemetry Report Format	11
3.1 รูปแบบ FRAME ทั่วไปของ AX.25 โพรโทคอล	14
3.2 AX.25 Frames ที่ใช้กับการส่ง APRS ด้วยข้อมูลจำนวน 9 fields	15
3.3 รูปแบบข้อมูลดิบที่ต่อจากอุปกรณ์ตรวจอากาศ	17
3.4 รูปแบบมาตรฐานที่มีการแนบพิกัดแต่ไม่ต้องส่งเวลา	17
4.1 Data Frame Format	32
4.2 APRS Data Frame Format กับ ค่าข้อมูลตัวอย่าง	34
6.1 เงื่อนไขการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกตามช่วงเวลา	74
7.1 สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบจากปัจจัยหลักและผลการทดลอง	81



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 APRS มาใช้ในการส่งต่อข้อมูลที่ได้รับแบบ Store&Forward	6
2.2 รายละเอียดการทำงาน ของ สถานีพื้นดิน.....	7
2.3 โครงสร้างของระบบ APRS บนดาวเทียม.....	7
2.4 การออกแบบระบบHardware buses.....	9
2.5 รูปแบบโมดูลของการเขียนโปรแกรม	10
3.1 หลักการพื้นฐานของระบบ Packet Radio ที่มาเป็น APRS	12
3.2 OSI Network Model สำหรับการใช้งานของ Packet Radio.....	18
3.3 ลักษณะทางกายภาพของระบบ APRS ทั้งหมด.....	19
3.4 Block Diagram ของ Digipeater.....	19
3.5 Block Diagram ของ I-Gate.....	20
3.6 Block Diagram ของ Tracker Unit ที่ออกแบบ.....	20
3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องส่งโมดูล	21
3.8 รูปแบบทั่วไปของการใช้งานTNC ใน AX.25 โปรโตคอล.....	22
3.9 สายอากาศที่ใช้ต่อจากวิทยุที่ความสูง45 เมตร.....	23
3.10 วิทยุ + TNC ทำหน้าที่ DigiPeater / I-Gate (MicroSat) Embedded Computer.....	23
3.11 ชุดทดลองระบบ APRS ที่ได้ใช้ TH-D7 – ต่อ GPS Module.....	24
4.1 Block Diagram ของอุปกรณ์หลัก APRS	25
4.2 Block Diagram ของ AVR Chip เบอร์ ATmega 328.....	27
4.3 Block Diagram ของระบบฝังตัวที่ออกแบบ.....	28
4.4 Schematic Diagram ของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับ APRS (แนบไว้ในภาคผนวก).....	29
4.5 Output ของ AFSK ที่ออกจาก Digital I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	29
4.6 ชุดทดลองระบบ APRS Tracker ขนาดเล็กที่ออกแบบเพื่อการทดลอง	30
4.7 การออกแบบเพื่อจัดวางให้มีขนาดเล็ก	30
4.8 ลำดับชั้นของโมดูลซอฟต์แวร์ (Software Module Hirachy)	31
4.9 Flowchart รวมของทั้งระบบ	31
4.10 ลำดับชั้นของฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้าง Frame Data AX.25	35
4.11 พื้นฐานระบบ DDS (Direct Digital Synthesis)	38
4.12 Digital Phase Wheel.....	39
4.13 ตาราง สำหรับสร้างคลื่นรูป Sinwave สองความถี่	40
4.14 ชุดคำสั่งโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการส่ง Bytes	41
4.15 Flow ของการสร้างสัญญาณ AFSK.....	41
4.16 PWM filtered/unfiltered.....	42
4.17 Received signal at Transmitter module.....	42
4.18 ตัวอย่าง โมดูล ส่งวิทยุ VHF Radio Matrix (HX-1)	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้ในการป้อนเข้าโมดูล HX-1.....	43
4.20 ผังเส้นทางการเดินของข้อมูล APRS เข้า APRS.IS	44
4.21 องค์ประกอบของ APRS.FI service tools	45
4.22 ตัวอย่างของ Web Query tools	46
4.23 การใช้ Export tool.....	46
4.24 แสดงข้อมูลเมื่อนำไฟล์ .KMZ เข้าไปเปิดใน Google Earth	47
5.1 สถานี Ground Station	48
5.2 สายอากาศที่ใช้บนความสูง 45 เมตร	49
5.3 Tracker #1 ที่ใช้ในการทดลอง	49
5.4 เครื่องวิทยุ Kenwood TH-D7 (TNC built-in) ต่อกับ GPS โมดูล	50
5.5 เส้นทางการของการทดสอบ Tracker#1	51
5.6 ข้อมูลดิบที่บันทึกเข้า APRS.IS ของ Tracker#1.....	51
5.7 แสดงค่าต่างๆของ Link Budget และ Link Margin ของ Tracker#1.....	55
5.8 แสดงค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Radio Mobile.....	55
5.9 โปรแกรมคำนวณ Range Coverage ที่ตรงกับการทดลอง กับ การสื่อสาร Tracker#1	56
5.10 สายอากาศ วิทยุ และ สายอากาศ GPS ติดตั้งบนหลังคารถที่ทดสอบ.....	57
5.11 แสดงถึงการส่งพิกัดตามเส้นทางที่รถทดลองได้เดินทาง.....	57
5.12 ข้อมูลดิบบางส่วนที่รับได้จาก Tracker#2.....	58
5.13 แสดงค่าต่างๆของ Link Budget และ Link Margin ของ Tracker#2.....	61
5.14 แสดงค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Radio Mobile กับ Tracker#2.....	62
5.15 โปรแกรมคำนวณ Range Coverage ที่ตรงกับการทดลอง กับ Tracker #2.....	62
5.16 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (10MHz - 6GHz)	63
5.17 การวัดที่ระยะ 0 เมตร อ่านได้ -34dBm.....	63
5.18 การวัดที่ระยะ 100 เมตร อ่านได้ -54.2 dBm.....	64
5.19 การวัดที่ระยะ 200 เมตร อ่านได้ -68.14 dBm.....	64
5.20 การวัดที่ระยะ 300 เมตร อ่านได้ -73.12 dBm.....	64
5.21 การวัดที่ระยะ 400 เมตร อ่านได้ -75 dBm (Signal=Noise Floor มีค่ามากกว่า -80 dBm) 65	
6.1 Block Diagram ของ Sensor Node.....	67
6.2 แผงวงจรที่ได้ออกแบบ.....	67
6.3 รูปแบบของ APRS ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้	68
6.4 จำลองหลักการทำงานของ Geiger Tube.....	69
6.5 Block Diagram การออกแบบ	70
6.6 ชุดต้นแบบ APRS Geiger Unit (Visual Diagram).....	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.7 APRS Message Formatสำหรับส่งค่าวัดกัมมตภาพรังสี CPM unit.....	71
6.8 ระบบ EVAP ที่นำมาใช้เป็นต้นกำเนิดความชื้น	72
6.9 การวางแผนการติดตั้ง เซ็นเซอร์และพัดลมระบายความชื้น	72
6.10 โรงเรือนที่ใช้ในการทดลองกับระบบ APRS.....	72
6.11 Block Diagram ระบบ APRS และ ระบบควบคุมความชื้น	73
6.12 ชุดควบคุมความชื้นที่ใช้ระบบ APRS บันทึกค่าเซนเซอร์.....	74
6.13 Flow Chart ของการเขียนโปรแกรมควบคุมความชื้น และ ส่งค่าผ่าน APRS	75
6.14 แนวคิดของการออกแบบ และ รูปแบบส่งข้อมูลระยะไกลผ่าน APRS	76
6.15 Block Diagram โดยรวมของ แต่ละ Section.....	77
6.16 Characteristic ของ Flex Sensor	77
6.17 วงจรของ Tree Unit.....	78
6.18 การติดตั้ง Flex Sensor บน ต้นไม้Tree Unit.....	78
6.19 การติดตั้ง ชุด Outpost Station บน ต้นไม้.....	79
6.20 APRS FORMAT ที่กำหนดให้มาใช้ในการทดลองนี้.....	79
7.1 แสดงการนำ APRS ไปใช้ในระบบเตือนภัยเพื่อป้องกันการลักลอบตัดต้นไม้ป่าสงวน.....	82
7.2 การนำ FHSS มาใช้ อธิบายตาม Block Diagram	83
7.3 การแบ่งช่วงเวลาเพื่อให้สัญญาณจากหลายๆจุดสามารถทำงานร่วมได้.....	83
7.4 Timing Diagram of Confirmed Data Message.....	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จุดเริ่มต้นงานวิจัยนี้เป็นแนวคิดงานวิจัย เริ่มขึ้นเมื่อเกิด Tsunami ที่ Fukushima เมื่อปี 2011 และ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้มีกัมมันตภาพรังสีรั่วไหล แต่ไม่มีใครสามารถเข้าไปวัดได้ ต้องส่งคนไปเสี่ยงตายเพื่อวัดค่าต่างๆนั้น

การออกแบบวิจัยนี้เน้นการ Implementation and innovation จากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ และ GPS บอกตำแหน่งโดยในขณะที่ Microcontroller ดำเนินการอ่านข้อมูลที่วัดจากเซ็นเซอร์และ GPS ก็มีการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องทางในย่านความถี่วิทยุ VHF/UHF โดยใช้ APRS โพรโตคอล (Automatic Packet Report System) เพื่อส่งต่อไป อินเทอร์เน็ตเพื่อจัดเก็บข้อมูลใน Database Server แต่งานวิจัยสามารถรวมไปถึงการใช้ APRS protocol ในงานการเกษตร Data-logging ระยะไกลผ่านดาวเทียม หรือแม้แต่การสื่อสารในโครงการอวกาศหรือ เพื่อควบคุมหุ่นยนต์

การวิจัยเพื่อศึกษาและออกแบบ อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลขนาดเล็ก กินพลังงานน้อยมาก สามารถต่อเซ็นเซอร์รวมกับการบอกตำแหน่ง เช่น การวัดอุณหภูมิ, การวัดความชื้น และ ใช้GPSบอกตำแหน่งที่อยู่ โดยในขณะที่ไม่มีใครคอนโทรลเลอร์จะดำเนินการอ่านข้อมูลที่วัดจากเซ็นเซอร์แปลงเป็นสัญญาณเสียงแบบดิจิทัลเพื่อการส่งสัญญาณออกทางคลื่นพาหะที่เป็นย่านความถี่วิทยุ UHF/VHF โดยใช้ APRS โพรโตคอล (Automatic Position Report System) ในการแปลงข้อมูลเหล่านั้น โดยการออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวนี้จะให้มีขนาดเล็ก ราคาประหยัด และไม่ต้องการการสร้างเครือข่ายให้มีความยุ่งยาก แต่สามารถเชื่อมเครือข่ายได้ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่ในอดีตและมีการเปรียบเทียบกับระบบไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันรวมถึงอุปกรณ์ที่มีอยู่ในการใช้โปรโตคอลนี้มาเปรียบเทียบในการวิจัย

1.2 ความเป็นมาของ APRS โพรโตคอลโดยสังเขป

APRS (Automatic Position Report System) โพรโตคอล คือการสื่อสารแบบแพ็คเก็ตที่ถูกออกแบบได้ดีมากชนิดหนึ่งที่ถูกใช้เป็นหลักโดยนักวิทยุสมัครสมาชิกแบบแพ็คเก็ต APRS นำเสนอแอปพลิเคชันแบบกราฟิกอินเทอร์เน็ตเฟซผู้ใช้ที่จะแสดงตำแหน่งของโฮสต์บนแผนที่ระดับภูมิภาคไปทั่วโลกโดยใช้ Global Positioning System (GPS) อินเทอร์เน็ตเฟซผู้ใช้ยังให้ข้อความส่งข้อความแบบ peer-to-peer ไปยังโฮสต์ APRS

APRS รองรับโฮสต์ที่ติดตั้งระบบวิทยุแบบสองทิศทาง ได้แก่ วิทยุสมัครเล่น, วิทยุสำหรับเดินเรือและโทรศัพท์มือถือ โฮสต์เผยแพร่แพ็คเก็ตข้อมูลของตนตลอดเครือข่าย APRS โดยใช้อัลกอริทึมที่เรียกว่า Flooding อัลกอริทึม ที่เลือกใช้เส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนของเครือข่ายที่เชื่อมต่อและทำให้โปรโตคอลปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงได้โทโพโลยีเครือข่าย ทำให้เครือข่าย APRS ต่างๆสามารถเชื่อมต่อกันผ่านทางอินเทอร์เน็ตแกนหลักโดยใช้โฮสต์ที่ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APRS โปรโตคอลเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการดำเนินการตั้งระบบสื่อสารแบบพกพาโดยที่การสื่อสารข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือที่มักเป็นไปไม่ได้ในการประสานงานกับเครือข่ายโฮสต์หลายแห่งล่วงหน้าตัวอย่างกรณีฉุกเฉินสถานการณ์และการบริการสาธารณะที่ใช้งานการสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยไม่ได้มีการวางโครงสร้างพื้นฐานไว้ล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น APRS เหมาะจะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบตำแหน่งเรียลไทม์ของหน่วยและทำให้การสื่อสารแบบ peer-to-peer ที่จำเป็นสำหรับ การประสานงานในงานส่งข้อมูล

1.3 ปัญหาในการประยุกต์ใช้งานการสื่อสารข้อมูล

โดยเจตน์เกี่ยวกับระยะทางการส่งข้อมูลระยะไกล ความยุ่งยากซับซ้อน และ ขนาดของอุปกรณ์ว่าทำไมจึงเลือกใช้ APRS โปรโตคอล? คำตอบคือเพราะว่า APRS เป็นการติดต่อสื่อสารที่ง่ายมากในเรื่องของความสามารถในการส่งข้อมูลระยะไกล การติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานที่มีความรวดเร็วในการเปิดใช้งานไม่ต้องทำการตั้งค่าซึ่งจะแตกต่างจากอินเทอร์เน็ตไร้สาย หรือ WIFI ซึ่งจะมีความซับซ้อนในการติดตั้งและมีระยะทางที่จำกัดเพียง 100 ฟุตหรือ30เมตร หรือ ต้องอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายโทรศัพท์ แต่การนำโปรโตคอล APRS มาใช้จะสามารถขยายช่วงการสื่อสารๆ ได้ไกลมากกว่า 10 กิโลเมตร ขึ้นไปโดยขึ้นอยู่กับตัวแปรในการส่งข้อมูลซึ่งเป็นแบบ Line of Sight ตัวแปรเหล่านี้เช่นกำลังส่ง และความสูงของสถานีรับและสถานีส่ง จะเป็นตัวกำหนดระยะทางในการสื่อสารข้อมูล

แต่ยังมีสิ่งที่ท้าทายมากกว่านั้นเพราะว่า APRS เป็น โปรโตคอล ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการเพื่อชดเชยการทำงานของสองเครือข่ายที่มีปัญหาทั้งด้านราคาและขนาดรวมไปถึงการตั้งค่าในการติดตั้งระบบInfrastructure โดยที่ APRS ได้แก้ปัญหา ความยืดหยุ่นและความซับซ้อน โดยความยืดหยุ่นของเครือข่ายนั้นหมายถึงความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสนับสนุนประชากรเครือข่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งจะรวมถึงการลดการกำหนดเส้นทางใหม่ของเส้นทางของเครือข่ายและจำนวนของความรู้เบื้องต้นที่จำเป็นของโครงสร้างเครือข่ายความซับซ้อนของเครือข่ายหมายถึงสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีโฮสต์ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ และการวัดความฉลาดทางเครือข่ายที่จำเป็นสำหรับแต่ละโฮสต์

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้ ต้องการที่จะนำเสนอโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูลด้วย APRS โปรโตคอล โดยการศึกษา และ ออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์พัฒนาให้มีขนาดเล็กเพื่อนำไปติดตั้งร่วมกับระบบเครือข่ายการสื่อสารแบบใช้ความถี่คลื่นวิทยุ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ APRS มากนักให้มีขนาดเล็กและต่อเซ็นเซอร์ได้ แต่มีขนาดที่ใหญ่และยังไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในการสร้างระบบเครือข่ายที่มีขนาดเล็กได้ ที่เปรียบเทียบกับขนาดของ Radio Modem ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดซึ่งมีขนาดใหญ่เท่ากับสมุดหรือขนาดประมาณกระดาษA4 กับ อุปกรณ์ที่ได้ออกแบบสร้างให้มีขนาดเล็กกว่าฝ่ามือได้และอีกทั้งยังสามารถโปรแกรมเพื่อให้บริการวัดจากเซ็นเซอร์และพิกัดจากGPS ได้ตามต้องการ นั่นคือเป้าหมายของวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เป้าหมายใหญ่การออกแบบระบบอุปกรณ์นี้จะสามารถที่ทำหน้าที่ได้ทุกอย่างตามที่ได้ ออกแบบนั้นซึ่งต่างจากการนำเอา APRS ในอดีตที่ต้องใช้อุปกรณ์ TNC ไม่สามารถเอาข้อมูลที่ได้จาก GPS และเซ็นเซอร์ใส่เข้าไปที่ Radio Modem ได้เลยต้องมีการออกแบบหรือต่ออุปกรณ์พวงอีกเพื่อ ทำให้มีความสามารถทำงานได้ โดยการออกแบบอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้จะเป็นการดึงเอาความสามารถ ทั้งหมดที่มีในการเอา APRS โปรโตคอลมาใช้ตามที่เราต้องการเพราะว่าจะใช้อุปกรณ์ที่เขียนโปรแกรม ให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นทั้ง Radio Modem และ ข้อมูล GPS และ เซ็นเซอร์ได้ใน ขณะเดียวกัน เพื่อนำออกมาเป็น APRS โปรโตคอล แปลงออกเป็น AFSK (Audio Frequency Shift Keying) เพื่อส่งผ่านคลื่นวิทยุได้และมีขนาดเล็กและประหยัดพลังงานได้เพราะใช้อุปกรณ์ที่น้อยกว่า มาก

1.4 เป้าหมายของวิทยานิพนธ์

เป้าหมายหลักของวิทยานิพนธ์นี้คือ การศึกษารูปแบบของโปรโตคอล และ การออกแบบ อุปกรณ์ที่สามารถประมวลผลเพื่อการส่งข้อมูลโดยอินพุทคือสัญญาณและข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ พิกัดตำแหน่งจาก GPS และประมวลผลการแปลงข้อมูลโดยใช้ APRS โปรโตคอลและมี เอ้าท์พุทคือข้อมูลที่ส่งออกไปยังตัวรับข้อมูล โดยโปรแกรมที่เขียนในระบบฝังตัวด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็ก ซึ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบจะมีการทดลองและได้ผลลัพธ์สอดคล้องเมื่อ เทียบกับทางทฤษฎี Link Budget และเปรียบเทียบจากขนาดและอุปกรณ์ระบบที่มีอยู่แล้วและมี ขนาดใหญ่กว่า และมีราคาแพงกว่า รวมไปถึงการทดลองระยะทางของการสื่อสารข้อมูล

1.5 จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- i. เพื่อศึกษาพื้นฐานและทดลองการทำงานของ APRS โปรโตคอล
- ii. เพื่อทำการออกแบบระบบฝังตัวโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับงานที่ต้องการรับค่า พิกัดตำแหน่งและค่าการอ่านเซ็นเซอร์ ให้มีขนาดเล็กและสามารถนำไปติดตั้งเพื่อทดลอง ตามวัตถุประสงค์ของการสื่อสารระยะไกลและคล่องตัวในการสื่อสาร
- iii. เพื่อเป็นการปรับปรุงอุปกรณ์ให้เหมาะกับงานที่ต้องการส่งข้อมูลแบบ Peer to peer โดย ใช้ระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในย่านต่างๆ
- iv. เพื่อนำเสนอโปรโตคอลการส่งข้อมูล APRS สำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสาร ด้วยคลื่นวิทยุโดยมีแนวคิดพื้นฐานแบบเกี่ยวกับการสื่อสารชนิดอื่นที่มีข้อจำกัดในเรื่อง ระยะและความซับซ้อนในการสร้างเครือข่าย ซึ่ง APRS โปรโตคอลจะสามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการสื่อสารที่ใช้แบบ WIFI หรือ ระบบ ข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในระบบ โครงข่ายการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในงานที่ต้องการสร้างการสื่อสารระยะไกลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขอบเขตการทำงานของวิทยานิพนธ์

- i. ออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวขนาดเล็กที่สามารถรับข้อมูลจาก เซ็นเซอร์ และ GPS เป็นอินพุทของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ เอาพุทไปเข้าเครื่องส่ง (Transmitter Module) สำหรับการทดลองเพื่องานวิจัยและเปรียบเทียบกับทฤษฎี
- ii. ทำการทดลองเพื่อหาความสามารถของอุปกรณ์ที่การออกแบบรวมไปถึงข้อดีข้อเสียของระบบที่ออกแบบขึ้น
- iii. นำเสนอ APRS โปรโตคอลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมให้กับระบบฝังตัวที่ออกแบบขึ้นนี้ โดยใช้เพียงไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงตัวเดียวเพื่อการทำงานและพัฒนางานวิจัยต่อยอดออกไปอีกเพื่องานจริง

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้จากการศึกษาและวิจัย

- i. สามารถสร้างและออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวให้มีขนาดเล็กโดยใช้ APRS โปรโตคอล โดยใช้การคลื่นความถี่วิทยุเป็นพาหะ
- ii. สามารถพิสูจน์จากการทดลองที่มีการประยุกต์ในการรับข้อมูลตำแหน่งพิกัดและค่าการวัดจากเซ็นเซอร์ส่งออกโดยใช้หลักการของการส่งคลื่นวิทยุจากจุดหรือตำแหน่งสองจุดที่อยู่ไกลโดยมีเงื่อนไขของกำลังส่ง ความสูงของสายอากาศ และ ค่าตัวแปรในการออกแบบระบบการสื่อสารวิทยุตามที่กำหนดในการทดลอง
- iii. APRS โปรโตคอลที่ได้นำเสนอนี้ มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและมีคุณสมบัติในการใช้งานแบบพิเศษที่มีเงื่อนไขของพื้นที่ๆห่างไกลจาก แทนการใช้เครือข่าย WIFI หรือ เครือข่ายของโทรศัพท์มือถือ โดยเป็นเครือข่ายทางเลือกที่ทำงานโดยไม่ต้องมี Infrastructure ที่ยุ่งยาก

1.8 ขั้นตอนของการทดลอง

- i. ศึกษาการทำงานของ APRS โปรโตคอลเพื่อการส่งข้อมูล โดยการศึกษาจากงานวิจัยที่มีการศึกษามาแล้วเพื่อนำมาปรับปรุงและเปรียบเทียบ
- ii. ศึกษาจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วและหาข้อที่สามารถนำมาปรับปรุงต่อได้
- iii. ทำการทดลองการส่งข้อมูลจากระบบฝังตัวที่ได้ออกแบบไปยังอุปกรณ์ที่รับสัญญาณเพื่อทดลองในห้องแลป
- iv. ทำการทดลองจริงในภาคสนามเพื่อให้ทราบถึงระยะทางสูงสุดของกำลังส่งต่ำสุดที่ 0.020 watt และ คำนวณโดยใช้สมการ Link Budget เพื่อหาความสอดคล้องและยอมรับได้จากทางทฤษฎี
- v. ทำการทดลองแบบเดียวกับข้อ 1.8.4 แต่เปลี่ยนกำลังส่งให้เป็น 5 watts เพื่อหา ระยะทางสูงสุด และ คำนวณโดยใช้สมการ Link Budget เพื่อหาความสอดคล้องและยอมรับได้จากทางทฤษฎี
- vi. ทำการทดลองหาระยะทางสูงสุดของการรับส่งสัญญาณที่กำลังส่ง 0.020 watt แบบ Line of sight โดยการใช้เครื่องมือวัด Spectrum Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

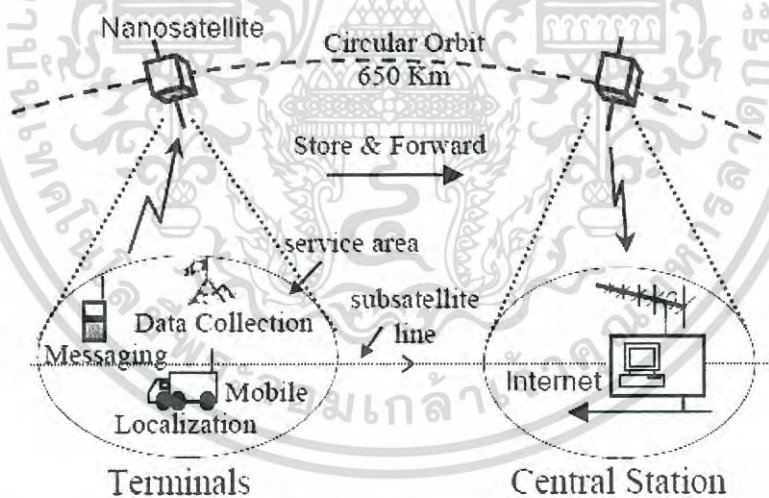
- บทที่1 อธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ปัญหาของการประยุกต์ในการสื่อสารข้อมูลเพื่อนำเสนอ APRS โปรโตคอล เป้าหมายการศึกษาวิจัย จุดประสงค์ขอบเขตการทำงาน และ ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย
- บทที่2 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- บทที่3 อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วยความต้องการพื้นฐานของระบบที่ต้องการในการออกแบบ รวมไปถึงวิธีการทำงานของโปรโตคอลและการประยุกต์การใช้งานโดยใช้โปรโตคอลนี้
- บทที่4 ขั้นตอนการออกแบบระบบฝังตัวทั้งในส่วนHardware และ Software
- บทที่5 การทดลองและนำไปติดตั้งบนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยที่ได้ออกแบบเอาไว้ เป็นการทดลองหาระยะทางที่ไกลที่สุดของกำลังส่ง 0.20w และ 5w ตามลำดับ และคำนวณเพื่อหาความสอดคล้องระหว่างทฤษฎีและการทดลองภาคสนาม
- บทที่6 ผลงานงานวิจัยที่ได้นำงานวิจัยนี้ไปนำเสนอผลงานจากงานประชุมทางวิชาการที่ผ่านมาของการประยุกต์ใช้งานAPRS โปรโตคอลจำนวน 4 papers
- บทที่7 สรุปผลการทดลองและสรุปผลเปรียบเทียบการวิจัยและทดลอง และ แนวทางในการศึกษาและพัฒนางานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อทำความเข้าใจถึงแนวคิดและหลักการทำงานของการเข้าถึงข้อมูลกับการสื่อสารข้อมูล การนำเสนอการส่งข้อมูลที่มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ ระบบพื้นฐานสำหรับการสื่อสารข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงกับการวิจัยนี้ เพื่อการทดลองในการออกแบบพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถมีคุณสมบัติเหมาะสมและตามที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.1 งานวิจัย APRS โปรโตคอลมาพัฒนางานสื่อสารดาวเทียมแบบต้นทุนต่ำ

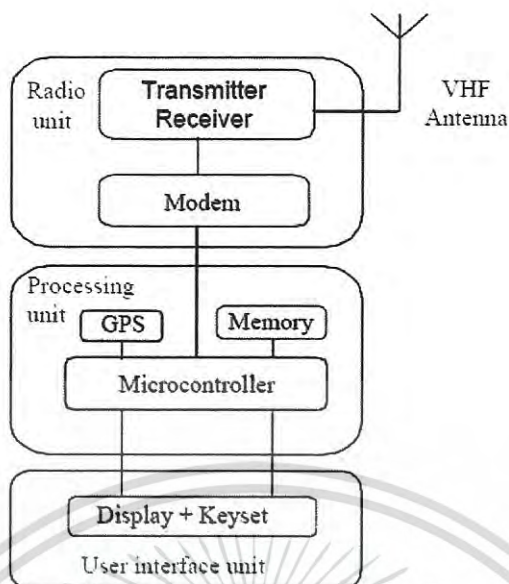
โดยมีงานวิจัยของ A ADDAIM, A KHERRAS (2005) ออกแบบสร้างดาวเทียมแบบ NanoSatellite ราคาต่ำ (Design of APRS Network using Low Cost Nanosatellite) โดยที่งานวิจัยนี้ ออกแบบระบบที่เอา APRS โปรโตคอลเพื่อไปใช้งาน แสดงการนำไปใช้ของ APRS โปรโตคอลที่มีความสามารถในการรับและส่งต่อข้อมูลบนดาวเทียมโดยรับข้อมูลจากสถานีพื้นดินที่อยู่ห่างไกลไปและส่งต่อไปอีกสถานี โดยที่มีสถานีจากภาคพื้นดินมากมายไม่จำกัดในจำนวนที่สามารถติดต่อดาวเทียมผ่าน APRS โปรโตคอลนี้ได้ ดังในแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 APRS มาใช้ในการส่งต่อข้อมูลที่ได้รับแบบ Store&Forward [22]

โดยที่สถานีพื้นดิน (terminal) รวบรวมข้อมูลเพื่อส่งขึ้นดาวเทียมผ่าน Nano Satellite โดยที่การใช้คนเป็นคนส่งข้อมูลมีค่าใช้จ่ายสูง แต่การส่งข้อมูลผ่านดาวเทียมสามารถให้มีการส่งต่อระหว่างสถานีได้มีระยะทางที่มากขึ้นเมื่อดาวเทียมมีการโคจรผ่านไป

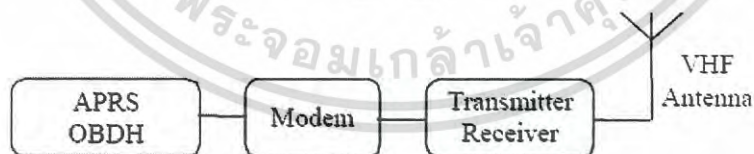
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รายละเอียดการทำงาน ของ สถานีพื้นดิน [22]

โดยที่สถานี (Terminal) ประกอบไปด้วยชุดของอุปกรณ์ฝังตัวหรือ Embedded System ผ่านเข้ามาในไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการรับส่งข้อมูลผ่านเข้ามาทางเครื่องรับส่ง โดยที่ดาวเทียมเอง ก็จะมีการคำนวณวงโคจรโดยใช้ข้อมูล TLE (Two Line Element) มาทำการคำนวณมาใช้เพื่อบอก ตำแหน่งของดาวเทียมบนท้องฟ้าให้ถูกต้อง โดยรายละเอียดอุปกรณ์ที่ประกอบออกมาเป็นสถานีรับดัง รูปที่ 2.2 (M. Wirner, A. Jahn, E. Lutz and A. Bottcher, 1995)

อีกส่วนสำคัญและจำเป็นในการอธิบายองค์ประกอบของระบบที่ใช้ APRS โพรโตคอล คือ ส่วนระบบ APRS ที่บรรจุอยู่บนดาวเทียมที่เรียกว่า APRS payload หรือที่เรียกได้อีกอย่างว่า OBDDH (On Board Data Handling) คือส่วนที่รับข้อมูลจากสถานี Terminal ทำการบันทึกไว้เพื่อทำการส่ง ต่อไปให้กับสถานีที่อยู่ด้านล่างในระยะทางที่ห่างออกไป แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบ APRS บนดาวเทียม [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางของค่า Link Budget ที่ทำการคำนวณหาค่าที่แน่นอนของการสื่อสาร [22]

Terminal Parameter	
Antenna Gain	0 dBi
Tranmisted Power	5W
Antanna Feed Loss	0.5dB
T_{sys}	2000k
Channael Parameters	
Free Space Losses	-141 dB
Polarization Losses	3 dB
Addition Losses	0.5dB
Satellite Parameters	
Antenna gain	0dBi
Transmitted Power	1W
Antanna Feed Losses	0.5dB
T_{sys}	5000k
Operational Parameter	
BuadRate	1200 bps
E_bN_0 Required	13.6 dB
Link margin for Uplink	
E_bN_0 Estimated	21.42 db
Margin	7.82 dB
Link margin for Downlink	
E_bN_0 Estimated	18.42 dB
Margin	4.82 dB

Link Budget ที่แสดงในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า สามารถรับบริการที่ยอมรับได้ในทางทฤษฎีระหว่าง Nanosatellite กับ สายอากาศรอบทิศทางที่เรียบง่ายในการสื่อสารสู่พื้นโลก โดยเอาหลักการนี้มาใช้ในการคำนวณของการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอการใช้งาน APRS ptocol ในการสื่อสารระยะไกลมากๆ ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกไปชั้นอวกาศโดยมีการพยายามที่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กแต่การออกแบบยังไม่สามารถที่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กเท่าที่ควรโดยงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาให้ได้ตามนั้นโดยการทดลองนี้ ยังมีการหยาบยกการคำนวณเพื่อหาระยะทางจากพื้นโลกถึงดาวเทียมกว่า 650 km ด้วยซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าทำไม APRS มีความสามารถได้จริงเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบงานวิจัยนี้

2.2 การวิจัยเกี่ยวกับการใช้ APRS Protocol เพื่อตรวจจับ Flash Flood

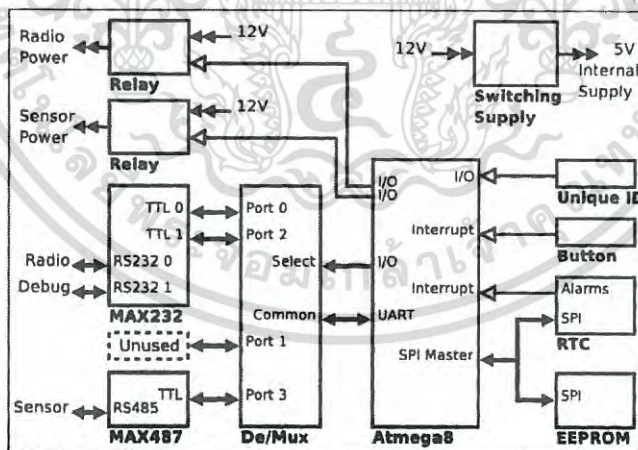
โดยมีงานวิจัยของ Weaver, J. A. (2005) วิจัยโดยใช้โปรโตคอล APRS เพื่อส่งข้อมูลเซ็นเซอร์ เพื่อตรวจจับน้ำท่วมแบบ Flash ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากและ Wireless Protocol อื่น ๆ สามารถทำงานได้ในสถานการณ์เช่นนี้ [65]

งานต่อไปนี้จะถูกระบุว่าเป็นความต้องการหลักของระบบเตือนภัยน้ำท่วม:

- ตรวจสอบระดับน้ำบนทีกข้อมูลทั้งหมดของเซ็นเซอร์เพื่อการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยาในภายหลัง
- สื่อสารข้อมูลเซ็นเซอร์ไปยังสถานที่ตรวจสอบส่วนกลางที่อยู่ห่างออกไปประมาณ 50 ไมล์
- ตรวจสอบเหตุการณ์น้ำท่วมเร็วพอที่จะทำให้ชุมชนล่องในเวลาอพยพ

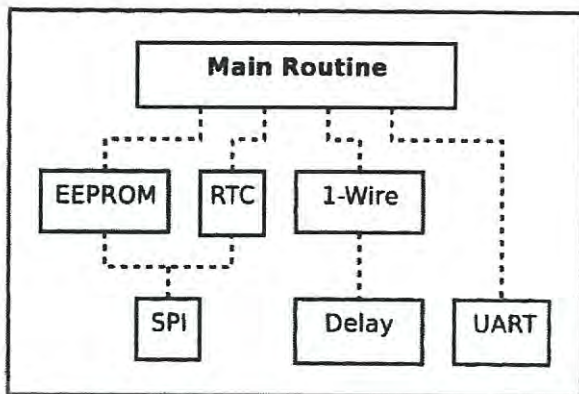
สถานีตรวจสอบที่ตั้งขึ้นเองซึ่งตั้งอยู่เหนือธนาคารของแม่น้ำจะสำรวจเซ็นเซอร์เหล่านี้เป็นระยะโดยใช้ลิงก์การสื่อสารที่มีข้อผิดพลาด ข้อมูลเซ็นเซอร์ทั้งหมดจะถูกบันทึกในที่จัดเก็บชั่วคราว ถ้าเซ็นเซอร์ระบุว่าน้ำท่วมสถานีตรวจสอบจะแจ้งเตือนให้ล่วงหน้าทันที มีเซ็นเซอร์ข้อมูลบัพเฟอร์ เซ็นเซอร์จะถูกส่งผ่านข้อมูลแบบ burst-transmission ในการอัปโหลดข้อมูลรายวัน การใช้สถานีตรวจสอบหลายแห่งช่วยให้มีความซ้ำซ้อนและความสามารถในการติดตามความเร็วในการขยายพันธุ์ของน้ำท่วมถึงแม้ว่าระบบสื่อสารจะต้องมีระบบหลายระบบอย่างถูกต้อง [65]

รูปที่ 2.4 แสดงภาพรวมการออกแบบระดับสูงของฮาร์ดแวร์ที่ตรงกับเป้าหมายการออกแบบเหล่านี้ ส่วนต่อมาอธิบายองค์ประกอบแต่ละอย่างโดยละเอียดและทำงานอย่างเป็นระบบผ่านการตัดสินใจในการออกแบบที่สำคัญ



รูปที่ 2.4 การออกแบบระบบ Hardware buses.[65]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รูปแบบโมดูลของการเขียนโปรแกรม[65]

รูปที่ 2.5 จะแสดงการแบ่งระบบในระบบฝังตัวที่แบ่งออกมาเป็นโมดูลเพื่อง่ายต่อการออกแบบระบบและการเชื่อมต่อภายในเพื่อการทำงานร่วมของแต่ละโมดูล

โปรโตคอล APRS ใช้รายงานสถานะปัจจุบันของสถานีหรือสถานะบรรทัดเดียวอื่น ๆ ให้แก่ผู้รับทั้งหมดภายในระยะที่สามารถรับได้ ตารางที่ 2.2 สรุปบทที่ 16 "รายงานสถานะ" ของ APRS Protocol Reference[13]

ตารางที่ 2.2 Status report Format [65]

Field	Info	Time	Status Text
Format	>	DDHHMMz	Text
Bytes	1	7	0-55
Example	>160900zRadio Online		

ข้อความ APRS คือสตริงข้อความที่มีผู้รับที่ระบุ พิลด์ 9 ตัวที่กำหนดไว้ (มีช่องว่างหากจำเป็น) ตาม ":" ตัวระบุชนิดข้อมูล พิลด์ผู้รับถูกยกเลิกโดย ":" อื่นแล้วตามด้วยข้อความของข้อความ ข้อความนี้สามารถรวมอักขระ ASCII ที่สามารถพิมพ์ได้ทั้งหมดไว้ด้วย ", ~ {" ผู้ส่งร้องขอการรับทราบข้อความโดยการรวม Message Identifier ซึ่งประกอบด้วยอักขระ "{" ตามด้วยอักขระตัวเลขและตัวอักษรไม่เกินห้าตัว สถานีส่งจะส่งข้อความดังกล่าวซ้ำจนกว่าจะได้รับการตอบรับหรือหมดเวลา สถานีที่รับสัญญาณใช้รูปแบบคล้ายกันสำหรับการรับรู้ข้อความแค่เปลี่ยนข้อความด้วย "แอ็กชัน" ตามด้วยหมายเลขข้อความห้าตัว ตำแหน่งรับกลางจะสั่งให้สถานีตรวจสอบผ่านห้าข้อความ APRS พิเศษดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตัวอย่างที่ปรากฏในตาราง 2.3 แสดงการส่งผ่านจาก BASECAMP เพื่อสั่งให้ SITE00001 อัปเดตนาฬิกาให้เป็นเวลาที่ส่งและขอรับการตอบรับ SITE00001 ตอบว่าได้รับข้อความแล้วจึงทำคำสั่ง APRS สนับสนุนรูปแบบข้อมูล telemetry มาตรฐานที่ใช้โดยตัวรับส่งสัญญาณจำนวนมากและรวมอยู่ในโครงการลูกโป่งสมัครเล่นและโครงการบอลูนสภาพอากาศ ข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมดได้อธิบายไว้ในบทที่ 13 "ข้อมูลทางไกล" ของ APRS Protocol Reference [13] และสรุปไว้ในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 Telemetry Report Format [65]

Field	Info	Sequence	Value1	Value2	Value3	Value4	Value5	Digital
Format	T	#xxx	aaa,	aaa,	aaa,	aaa,	aaa,	bbbbbb
Bytes	4	5	4	4	4	4	4	8
Example	T#001,211,211,211,000,00,00000000 T#002,211,211,211,000,00,00000000							

- พิลด์ข้อมูลใช้ "T" เพื่อระบุข้อความนี้เป็นข้อมูลทางไกล
- ลำดับรายงานเป็นค่าอักขระ 3 ตัวโดยปกติจะเป็นลำดับ 3 หลัก
- สถานีรับสามารถตรวจสอบจำนวนแพ็คเกจเกิดและขอให้ข้อมูลที่ขาดหายไปถูกทำร้าย
- มีค่าข้อมูลนาฬิกา 8 บิตที่ไม่ได้เข้ารหัส 8 บิต (แสดงเป็นตัวเลขทศนิยม 3 หลักในช่วง 000-255) ตามด้วยเลขฐานสอง 8 บิตเดียว เมื่อได้รับคำสั่ง "Send Data" จากสถานีฐานระบบจะส่งสถานะ

ข้อความประกาศเวลาเริ่มต้นของข้อมูลที่เก็บรวบรวมและจำนวนเฟรมที่จะส่ง สมมติว่าอัตราเริ่มต้นสำหรับการอ่านเซ็นเซอร์ (6 ต่อชั่วโมง) ระบบจะส่งข้อมูล 24 ชั่วโมงเป็น 144 เฟรม ระบบนี้จำกัด ระบบไว้ 6 เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งหรือต้องใช้การปรับรูปแบบ Telemetry เพื่อแก้ไข หากติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้น้อยลงตัวอย่างข้อมูลจำนวนมากจะถูกบีบอัดในเฟรมข้อมูลเดียวเพื่อลดเวลาในการรับส่งตัวอย่างข้างต้นแสดงเฟรมแรกของลำดับข้อมูลสองชุดโดยมีเซ็นเซอร์สามตัวที่รายงานค่าใกล้เคียงกัน นี่คือนิ่งในโครงการวิจัยที่น่าสนใจซึ่งทำให้โปรโตคอล APRS ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 สรุปผลท้ายบท (Summary)

ในบทนี้ได้นำเสนองานวิจัยของการสื่อสารในชนิดต่างๆที่ใช้ APRS โปรโตคอล ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ได้ถูกพัฒนามาจาก Packet Radio AX.25 ตั้งแต่ปี 1992 และโปรโตคอลนี้ได้ถูกพัฒนาไปใช้กับการสื่อสารข้อมูลที่มีความต้องการส่งข้อมูลระยะไกล แต่เนื่องด้วยในอดีตการออกแบบโปรโตคอลก็มีข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ ทำให้การพัฒนาอุปกรณ์และมีขนาดใหญ่ ซึ่งแนวทางของการศึกษาวิจัยนี้ คือการปรับปรุงและออกแบบอุปกรณ์โดยใช้เทคโนโลยีระบบฝังตัวมาเป็นตัวแทนของอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และมีการเปลี่ยนแปลงงานจนไม่สามารถนำไปติดตั้งบนอุปกรณ์ในการใช้งานจริงได้ โดยการเปรียบเทียบขนาดและการศึกษาระบบที่มีอยู่แล้วมาพัฒนาให้มีขนาดเล็กและกินพลังงานน้อยเพื่อานที่มีประโยชน์และต้องการขนาดเล็กเช่นงานการส่งบอลลุนตรวจอากาศหรืองานการติดตั้งเพื่อสื่อสารข้อมูลบนดาวเทียม NanoSat และ งานวิจัยการนำไปใช้ในระบบเตือนภัยน้ำท่วม

ในบทต่อไปจะเป็นการนำเสนอทฤษฎีพื้นฐานทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ซึ่งจะช่วยให้สามารถทำความเข้าใจและอธิบายถึงหลักการการทำงานของ APRS โปรโตคอล เพื่อนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์สำหรับอ่านค่าเซ็นเซอร์และข้อมูลตำแหน่งที่กีดจากGPS ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นเฉพาะใน APRS UNIT ของสัญญาณเหล่านี้เพื่อดูว่าจะสามารถปรับปรุงซอฟต์แวร์บนพื้นฐานของวิธีการระบบแบบฝัง (Embedded system) ในการปรับแพ็คเกจ (encoding) ซึ่งแสดงโดยอุปกรณ์ APRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

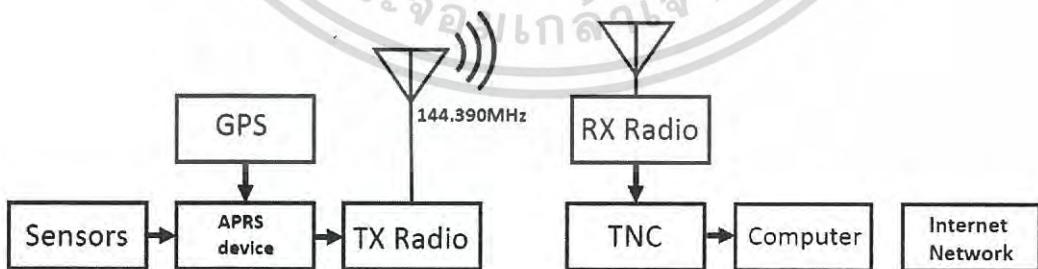
บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของโปรโตคอล APRS

เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานต่างที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ในลำดับแรกจะนำเสนอหลักการพื้นฐานของ AX.25 พื้นฐานโปรโตคอลที่ APRS โปรโตคอลระบบ Packet Radio ที่มาเป็น APRS โปรโตคอล

Bob Bruninga วิศวกรวิจัยอาวุโสที่สหรัฐอเมริกาโรงเรียนนายเรือได้เริ่มพัฒนา APRS โปรโตคอลบนคอมพิวเตอร์แอปเปิ้ลทู ในปี 1982 นี้รุ่นแรกถูกใช้ในการ map ความถี่สูงเพื่อรายงานตำแหน่งของกองทัพเรือ ครั้งแรกที่ใช้ APRS เป็นในปี 1984 เมื่อ Bruninga พัฒารุ่นที่สูงขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Comadore VIC-20 สำหรับการรายงานตำแหน่งและสถานะของม้าใน 100 ไมล์ (160 กิโลเมตร) ทดสอบการวิ่งมาราธอน. [13-14]

APRS โปรโตคอลใช้หลักการของการส่งข้อมูล Packet Radio ที่เรียกว่า AX-25 โดยข้อมูลดิจิทัลกับสัญญาณGPSทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นความถี่เสียงสองเสียงโดย Binary 1 แทนด้วยความถี่เสียง 1200 Hz; Binary 0 แทนด้วยความถี่เสียง 2200 Hz แล้วความถี่ของข้อมูลจะส่งต่อไปยังไมโครโฟนของวิทยุมือถือหรือโทรศัพท์มือถือและจะถูกส่งเป็น Audio Frequency Shift Keying (AFSK) สัญญาณไปยังสถานีที่ได้รับ เมื่อสิ้นสุดการรับข้อมูล demodulated จากตัวรับสัญญาณวิทยุจะถูกส่งไปยังไมโครโฟนและจะถูกแปลงกลับไปเป็นกระแสข้อมูลดิจิทัลและถอดรหัส โดยข้อมูลที่ที่ได้รับจะถูกสร้างขึ้นใหม่จะใช้ในบอกพิกัดสถานที่ตั้งของสถานีที่ส่งสัญญาณเพื่อปรากฏในระบบการทำแผนที่ หรือ บน google Map และในหลายส่วนของโลก ก็ จะมีการใช้ digipeaters ที่ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณหรือส่งต่อสัญญาณต่อไป จนในที่สุดของข้อมูลมีการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์อินเทอร์เน็ต (I-GATE) เพื่อที่จะส่งข้อมูลลงใน WWW เว็บไซต์หลายตัวอย่างเช่น APRS.FI และ Findu.com, ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลตำแหน่งเหล่านี้และสามารถเฝ้าสังเกตการจราจร APRS ในแบบ Real time



รูปที่ 3.1 หลักการพื้นฐานของระบบ Packet Radio ที่มาเป็น APRS [13-14]

ดังนั้น APRS คืออะไร คำอธิบายโดยย่อเกี่ยวกับ APRS คือว่า รูปแบบการสื่อสารแบบดิจิทัลที่ใช้โดย นักวิทยุสมัครเล่น ซึ่งเป็นแพ็คเกจ (ซึ่งเนื้อหามีความหลากหลาย แต่โดยปกติจะเป็นตำแหน่ง GPS - ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้ APRS เป็นชื่อเต็ม "Automatic Position Reporting System ถูกส่งผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางวิทยุแล้วแปลโดยผู้อื่นสถานี ซึ่งขึ้นต้นด้วย GPS สื่อสารข้อมูลโดยใช้ NEMA กับเครื่องติดตาม APRS เครื่องติดตามแล้วใช้ข้อมูลนี้และการตั้งค่าในการกำหนดค่าเพื่อกำหนดแพ็คเกจ APRS แพ็คเกจ APRS ถูกเข้ารหัสโดย tracker และเสียงที่ได้ส่งผ่านไปยังการส่งข้อมูลวิทยุซึ่งจะส่งข้อมูล โดยปกติแล้วจะทำในความถี่ 144.390MHz ในประเทศไทยโดย กสทช อนุญาต วิทยุรับสัญญาณที่ได้รับการปรับความถี่เดียวกันผ่านเสียงที่ได้รับไปยัง TNC ซึ่งจะถอดรหัสแพ็คเกจและส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์โดยใช้ RS-232

APRS เป็นแบบ real-time เหมาะกับงานสนามโดยเป็นโปรโตคอล Communications แบบดิจิทัลสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างจำนวนมากของสถานีครอบคลุมขนาดใหญ่ (ท้องถิ่น) พื้นที่ ในฐานะที่เป็นเครือข่ายข้อมูลผู้ใช้หลายคนก็ค่อนข้างแตกต่างจากการสื่อสารแบบ Packet Radio ทั่วไป APRS จะแตกต่างจากแพ็คเกจปกติในวิธีวิธี เป็นครั้งแรกโดยการบูรณาการแผนที่และข้อมูลอื่น ๆ ที่แสดงในการจัดระเบียบและการแสดงผล ข้อมูลที่สองโดยใช้โปรโตคอลแบบหนึ่งต่อหลายเพื่ออัปเดตทุกคนในจริง เวลาที่สามโดยใช้ digipeating ทั่วไปได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการตั้งค่าง่วงหน้า และ ข้อที่สี่คือตั้งแต่ปี 1997 ทั่วโลกได้มีการสื่อสารข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเชื่อมโยงทุกคนทั่วโลก และ APRS เป็นการพัฒนาระบบเปิดใน Packet Radio แบบ real time ที่เหมาะกับการสื่อสารทางยุทธวิธีและระบบการแสดงผลสำหรับกรณีฉุกเฉินและมีการประยุกต์ใช้การบริการสาธารณะ (และการสื่อสารทั่วโลก) ปกติ Packet Radio จะเป็นประโยชน์ในการผ่านการจราจรของข้อความจำนวนมาก (อีเมล) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง แต่ก็ไม่ได้ทำดีที่เหตุการณ์แบบ Realtime ที่ข้อมูลมีช่วงเวลาที่สูงมากและความต้องการที่จะได้รับให้กับทุกคนได้อย่างรวดเร็วแบบกระจายข่าวสารได้ด้วย APRS เป็นเครือข่าย RF ท้องถิ่น นี้แหละคือข้อดีของ APRS โปรโตคอล แม้ว่าอินเทอร์เน็ตจะคอยตรวจสอบรับข้อมูลจาก APRS ทั่วโลกนี้ไม่ได้เป็นวัตถุประสงค์หลัก แต่ APRS ในกรณีฉุกเฉินหรือเหตุการณ์พิเศษซึ่งเป็นสิ่งที่ผลักดันการพัฒนาและออกแบบของโปรโตคอล APRS แม้ว่า APRS ถูกนำมาใช้ 99% มากกว่าในแง่ของการส่งข้อมูลโดยมีระยะทางไกลมากและ Realtime เงื่อนไขของโปรโตคอลถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการดำเนินงานการส่งข้อมูลระยะสั้น ๆ ในช่วงเวลาวิกฤตเวลาจริงบนความถี่วิทยุ APRS ให้การเชื่อมต่อสากลเพื่อทุกสถานีโดยการหลีกเลี่ยงความซับซ้อนและข้อจำกัดของเครือข่ายที่เชื่อมต่อ โดยจะอนุญาตให้จำนวนสถานีใด ๆ ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเช่นเดียวกับผู้ใช้เสียงจะอยู่บนการพูดคุยกับสถานีใดๆด้วยเสียงและมีข้อมูลที่จะมีส่วนร่วมเพียงแค่ส่งมันและทุกสถานีได้รับมันและเข้าสู่ระบบมัน ประการที่สอง APRS ตระหนักว่าในเวลาจริงที่ยิ่งใหญ่ที่สุดในเหตุการณ์ที่ความต้องการพิเศษใด ๆ หรือกรณีเหตุฉุกเฉินคือการติดตามของสินทรัพย์ที่สำคัญ หรือเป็นการตามหาบุคคล หาพิกัดสถานีอยู่ที่ไหน ยานพาหนะฉุกเฉิน สภาพอากาศตามจุดต่าง ๆ ในเขต เพื่อที่จะตอบคำถามเหล่านี้โดยใช้ APRS และจับตำแหน่งและสถานะของทุกสถานี มันสามารถใช้งานผ่านระบบวิทยุสื่อสารแบบ 2 ทางชนิดใดก็ได้รวมทั้ง HAM, CB, วิทยุเดินเรือ ฯลฯ

ในประเทศไทย ทาง กสทช ได้กำหนดให้ใช้บนเงื่อนไขต้องมีใบอนุญาตนักวิทยุขึ้นต้นเป็นอย่างน้อยในการใช้ โดย APRS อยู่บน 144.39 MHz เหมือนกับทางประเทศสหรัฐฯ แต่ในการทดลองนี้จะใช้ ISM Band เพื่อการทดลองในงานวิจัยนี้ คือ UHF 430 MHz เพื่อให้การทดลองปราศจากการรบกวนจากสัญญาณในย่าน VHF ที่หนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 AX.25 โพรโทคอล

โพรโทคอลนี้ได้ถูกนำมาใช้โดยส่วนใหญ่ในกลุ่มของนักวิทยุสมัครเล่นในการสร้างเครือข่าย Packet Radio โดยที่เป็นโพรโทคอลในรุ่นที่ดัดแปลง HDLC โพรโทคอลแต่ AX.25 มีส่วนประกอบที่มีส่วนโครงสร้างที่สูงกว่า HDLC มีบางส่วนของ Transport Layer เช่น Flow Control ที่แยกออกมาจาก HDLC ขณะที่ทำบน Network layer (การส่ง แบบ Frame ผ่านไปยังแต่ละสถานี) คือ AX.25 ที่ถูกใช้โดยการใช้งานของนักวิทยุสมัครเล่น [18]

การใช้งานของเครือข่าย Packet Radio ในกลุ่มนักวิทยุสมัครเล่นเป็นตัวอย่างแบบหนึ่งของการสร้างระบบเครือข่ายไร้สาย ที่ออกแบบมาตั้งแต่ 1980 นอกเหนือจากการสื่อสารไร้สายผ่านระบบโทรศัพท์ หรือ ระบบอินเทอร์เน็ต โดยที่ วิทยุสมัครเล่นเป็นการติดต่อแบบพื้นฐานที่ทำกันระหว่างบุคคลต่อบุคคล แต่ในปัจจุบันระบบอินเทอร์เน็ตมีความนิยมมากขึ้นดังนั้นระบบการสื่อสารแบบนี้จะถูกเชื่อมต่อเอาข้อมูลเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ตโดยผ่านข้อกำหนดตามที่ระบบ APRS (Automatic Position Report System) [22]

การอธิบายแบบสังเขปของ AX.25 ลักษณะ Frame ของข้อมูล และ อธิบายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัส ที่เรียกว่า TNC (Terminal Node Controller)

3.2 AX.25 Data Frame

โดยที่ AX.25 โพรโทคอลนี้ [20] ใช้ Datalink Layer ใน packet radio network. จัดอยู่ในกลุ่มของ เครือข่าย HDLC ดัดแปลงมาใช้ใน APRS ส่วนใหญ่ในส่วนของ Address Field ให้สามารถบรรจุได้ 7 Bytes โดยมีมี Network Layer บนนั้นการส่งเส้นทางจะทำได้บน Datalink Layer (A. Da_browski, 1994) โดยปัจจุบันยังมี เครือข่ายที่ยังเอา AX.25 ไปใช้งาน

3.2.1 รูปแบบ Data Frame

ตารางที่ 3.1 รูปแบบ FRAME ทั่วไปของ AX.25 โพรโทคอล [13-19]

Flag (BOF)	Address	Control	PID	DATA	CRC	FLAG (EOF)
1byte	14 to 70b	1byte	1byte	Up to 256b	2bytes	1byte

เหมือนกับ HDLC โพรโทคอลในทุกๆ Frame จะเริ่มต้นด้วย Flag ของค่าคงที่ '01111110' โดยที่ Adress field จะบรรจุ 2-10 ชื่อสถานี โดยที่แต่ละสถานีจะบรรจุได้มากถึง 6 ตัวอักษร ซึ่งเอามาใช้เป็นชื่อ หรือ ID ของสถานีรับและส่ง และมีส่วนที่สามารถเพิ่มเติมได้เป็นการระบุตัวตนและใช้ในวัตถุประสงค์อื่นที่สามารถบรรจุได้ 14 Bytes และ ยาวได้ถึง 70 Bytes

Control Field มีการกำหนดโดยการจัดลำดับของตัวเลข และบางชนิด ดังนี้ โดย I (Informatino), S (Supervisor) และ U (unnumbers) Frames โดยที่ ชนิดของ I ทั่วๆไปจะบรรจุข้อมูล หลังจากที่มีการเชื่อมต่อทางเครือข่ายได้เริ่มขึ้น โดยที่ ชนิด U Frame ถูกใช้ในการบริการการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PID (Protocol ID) เป็นการระบุว่ามี Network layer ที่อยู่เหนือ AX.25 และชนิดไหนซึ่งที่พบคืออาจจะเป็น TCP/IP ที่อยู่บนชั้นโปรโตคอล

Data Field จะถูกจองเอาไว้เพื่อ I และ U Frame เท่านั้น และ อาจจะมีที่ว่างให้ถึง 256 Bytes โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพการเชื่อมต่อ โดยจำกัดที่ตัวแปร N1

CRC Field จะถูกคำนวณขึ้นกับ CRC-CCITT อัลกอริทึม ($X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$) [11] โดยการคำนวณและการรับ CRC เท่ากัน Positive หรือ Negative Acknowledge ถูกส่ง เหมือนกับ HDLC มีการบรรจุได้ถึง 7 Frames อาจจะมีการส่งออกไปก่อนที่ positive Acknowledge ถูกส่ง อาจจะถูกกำหนดโดยตัวแปร K ขึ้นอยู่กับคุณภาพของการส่งข้อมูล

เพื่อรักษาความโปร่งใสโปรโตคอลที่อาจถูกละเมิดโดยการใช้พิเศษ bit เป็น FLAG ที่เรียกว่า BIT Stuffing " ใช้ที่ประกอบด้วยทั้ง FRAME ยกเว้น หลังจากทุกกลุ่มมีห้าบิตเท่ากับ '1' หนึ่งบิต '0' จะทำงานโดยอัตโนมัติ แทรกลงในสตรีมบิต ในตัวรับการดำเนินการนี้จะเปลี่ยนกลับไป

3.3 AX.25 โปรโตคอล และ APRS โปรโตคอล

บน Link Level นั้น APRS ใช้ AX.25 โปรโตคอล ตามที่กำหนดไว้ใน Amature Packet Radio Lnk Layer ใช้ Unnumbered Information (UI) Frames อย่างพิเศษ หมายความว่า APRS นั้นทำงานโดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่อ โดยที่ AX.25 Frames จะถูกส่งออกไปโดยที่ไม่ได้สนใจว่าจะมีการตอบรับแต่อย่างใด ในที่สถานีรับโดยไม่มีการรับประกันว่าจะได้รับหรือไม่

ในบางกรณีการนำไปใช้ใน level ที่สูงขึ้น APRS สามารถรองรับการส่งข้อความแบบสั้นๆ หรือ ตัวอักษรหนึ่งบรรทัด (One Line Text) แล้วทำการส่งออกไปโดยสามารถทำการตั้งรับการตอบรับจากสถานีรับได้เหมือนกัน [13-14]

ตารางที่ 3.2 AX.25 Frames ที่ใช้กับ การส่ง APRS ด้วยข้อมูลจำนวน 9 fields [13]

AX.25UI-Frame Format								
Flag	Destination Address	Source Address	Digipeater Address	Control Field (UI)	Protocol ID	Information	FCS	Flag
1	7	7	0-56	1	1	1-256	2	1

APRS ใช้ AX.25 UI Frames [13-14]

- Flag ในแต่ละ Flag Field ในตอนท้ายต้องมี Bit Sequence 0x7E เป็นการแยก Frame
- Destination Address โดยใน Field นี้ จะเป็นการบอกชื่อเรียกขานหรือ ID สถานี (SSID) ข้อมูล APRS จะต้องเข้ารหัสให้ตรงตามมาตรฐานของ รหัสเรียกขาน AX.25 (6 ตัวอักษร และตัวเลข)
- Source Address ใน Field นี้ ประกอบไปด้วยสัญญาณเรียกขานและ SSID ของสถานีส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Digipeater Address จาก 0 ถึง 8 ที่สามารถกำหนดให้มีการส่งต่อข้อมูล สามารถกำหนดได้ใน Field นี้
- Control Field ใน Field นี้ ถูกตั้งให้มีค่าคงที่ 0x03 (UI-Frame)
- Protocol Field ใน Field นี้ ถูกตั้งให้มีค่าคงที่ 0xF0 (no Layer 3 โปรโตคอล)
- Information Field ใน Field นี้ คือข้อมูลที่ต้องการฝากส่งใน APRS
- Frame Check Sequence หรือ FCS คือการเรียงตัว 16 Bits ใช้เพื่อการตรวจสอบข้อมูล เมื่อมีการรับ Frame เข้ามา

3.4 APRS โปรโตคอลรูปแบบเพื่อการรายงาน (APRS data format report)

ใน APRS โปรโตคอลมีรูปแบบในการส่งข้อมูลอยู่ทั้งหมด 3 รูปแบบ

1. Object Report การรายงานตำแหน่งหรือวัตถุโดยใช้ตำแหน่งพิกัดจาก GPS หรือ บอกรหัสพิกัดจากสถานีไม่เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียวรวมถึงความเร็วทิศทางและความสูง โดยอาจจะใช้ในการติดตามเครื่องบิน บอลลูน รถยนต์ จักรยาน หรือ บุคคลเพื่อการใช้งานภาคสนามเช่นการค้นหา กู้ภัย เป็นต้น
2. Telemetry Data Reports เป็นการรายงานข้อมูลเกี่ยวกับค่าตัวแปรต่างๆของสถานีนั้นๆหรือการส่งข้อมูลที่เป็นการเก็บมาจากการวัดค่าของงานที่ต้องการออกแบบโดยเฉพาะ สามารถใช้รูปแบบนี้ได้เช่นการส่งข้อมูลความสูงของสายอากาศ กำลังส่ง ความสามารถของเครื่องส่งหรือเครื่องรับหรือเครื่องวัดการส่งกำลังเพื่อออกไปควบคุมอุปกรณ์ที่ห่างไกลหรือควบคุมระบบต่างๆ
3. Weather Data Reports เป็นรูปแบบการนำเอาการวัดอุปกรณ์เพื่อการวัดทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และยังสามารถเอาค่าต่างๆออกไปผสมกับรูปแบบนี้เพิ่มได้ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะขอลำดับถึงเพียงรูปแบบสุดท้ายคือ Weather Data Reports เท่านั้นในการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการนำการอ่านค่าเซ็นเซอร์มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัว

3.5 APRS โปรโตคอลรูปแบบเพื่อการรายงานสภาพอากาศ (Weather Reports)

APRS เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการรายงานสภาพอากาศผ่านทางแพ็คเกจ APRS นั้นแต่เดิมสนับสนุนการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจากอุปกรณ์ตรวจอากาศที่มีขายในตลาดทั่วไปเช่น Peet Brothers, Ultimeter และ อุปกรณ์ตรวจอากาศยี่ห้อ ดวิส ก็ยังสามารถติดตั้งได้โดยต่อและป้อนข้อมูลผ่าน TNC และ ไปยังวิทยุในการรายงานข้อมูลสภาพอากาศ APRS คือเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับความคิดริเริ่มของผู้สังเกตการณ์สภาพอากาศ ระบบ Skywarn หรือระบบเตือนภัยธรรมชาติ

APRS สนับสนุนการรายงานสภาพอากาศโดยมีรูปแบบที่แบ่งได้ 3 ประเภท:

- รายงานสภาพอากาศข้อมูลดิบ (Raw Data)
- รายงานสภาพอากาศที่ไม่มีตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รายงานสภาพอากาศที่มีรูปแบบสมบูรณ์

3.5.1 การรายงานสภาพอากาศข้อมูลดิบ

ข้อมูลดิบที่ได้มาจากสถานีตรวจอากาศแบบโดดเดี่ยว (Stand Alone) ถูกบรรจุใน Information Field ของ APRS AX.25 Frame ดังรูป [13-14]

ตารางที่ 3.3 รูปแบบข้อมูลดิบที่ต่อจากอุปกรณ์ตรวจอากาศ [13-14]

Raw Weather Report Format	
! or # or \$ or +	Raw Weather Data
1	Byte: n
Examples: !!006B005803500000--03E9-----0022105140000005D	

3.5.2 รายงานสภาพอากาศแบบสมบูรณ์

โดยรูปแบบการรายงานสภาพอากาศจะบรรจุ เวลาและตำแหน่ง และต้องมี ตำแหน่งพิกัด Lat/long แสดงได้ในรูปด้านล่างนี้

ตารางที่ 3.4 รูปแบบมาตรฐานที่มีการแนบพิกัดแต่ไม่ต้องส่งเวลา[13-14]

Complete Weather Report Format – with lat/Long position. no time Stamp								
! or #	Lat	ID	Long	Symb	Wind/Directon	Weather Data	APRS software	WX unit
1	8	1	9	1	7	n	1	2-4
Example: !4903.50N/07201.75W_220/004g005t077r000p000P000h50b08000wRSW								

- s ความเร็วลม (mph)
- g ลมกระโชก (mph)
- t อุณหภูมิ (F)
- r ปริมาณน้ำฝนในชั่วโมงที่ผ่านมา (1000 นิ้ว)
- p ปริมาณน้ำฝนใน 24 ชั่วโมงที่ผ่านมา (1000 นิ้ว)
- P ปริมาณน้ำฝนตั้งแต่เที่ยงคืนที่ผ่านมา (1000 นิ้ว)
- h ความชื้น (%)
- b ความกดอากาศ (Bar)

มีข้อกำหนดที่ต้องมีอย่างน้อยในรูปแบบข้อมูลนี้ Date/times, wind direction. Wind speed, gust and temperature. แต่หากไม่มีข้อมูลหรือไม่มีเซ็นเซอร์ต่อไว้ก็มีข้อเสนอแนะให้ใส่จุดแทนเช่น

C...s...g... หรือ C __, S __, G __

ตามตัวอย่าง

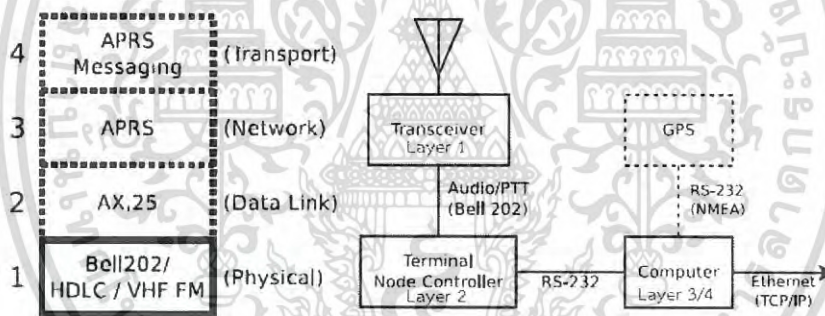
_10090556c...s...g...t...

(The date/timestamp, wind direction/speed/gust and temperature ต้องมีใส่ไว้)

3.6 BELL 202 ในกิจการวิทยุสมัครเล่น

3.6.1 Bell202 Frame Format

โปรโตคอล Bell 202 คือ Audio Frequency Shift Keying (AFSK) โดยมีการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้การเลื่อน(Shift) ระหว่างความถี่เสียงสองความถี่ 1200Hz และ 2200 Hz โดยที่เสียงนี้จะแทน โลจิก 0 และ โลจิก1 โดยมีความเร็วที่ 1200 bps โดยมีการพัฒนาครั้งแรกโดย AT&T เพื่อใช้ในโทรศัพท์และโมเด็มในสมัยแรกๆเมื่อปี1981และได้รับการอนุมัติจาก FCC ให้ใช้ได้ในการวิทยุสมัครเล่น [15] มีการอธิบายง่าย ๆ ในการเทียบของ Packet Radio กับ OSI model ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 3.2 OSI Network Model สำหรับการใช้งานของ Packet Radio [24]

โดยที่นักวิทยุสมัครเล่นเอา Bell202 มาเป็น Modem ต่ำกว่า AX.25 ซึ่งใน Layer ที่สูงกว่า โดยใน Physical Layer จะสร้าง AFSK ต่อกับวิทยุเพื่อทำการรับส่งข้อมูล High-Level Data Link Control (HDLC) protocol สำหรับ framing and bit stuffing [24] ตั้งแต่ใช้ HDLC กับ Bell 202 ในจำนวนมากของกิจการวิทยุสมัครเล่น Layer 1 ซึ่งน่าจะเรียกได้เป็น “Amature Bell 202”

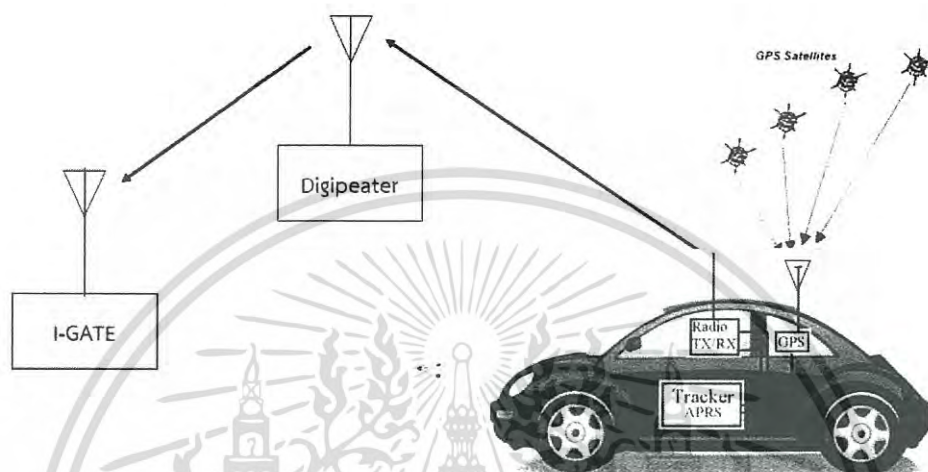
นัยหนึ่งของการใช้ HDLC ไม่ได้เข้ารหัสข้อมูลของการใช้ 1200Hz และ 2200Hz ข้อมูลในมาตรฐาน Bell202 แต่แทนที่ด้วยการกลับค่าข้อมูลเพื่อเข้ารหัสข้อมูล หรือ Non-Return to Zero (NRZI) NRZI เรียกเลขศูนย์ในกระแสข้อมูลบิตต้นฉบับเพื่อเข้ารหัสเป็นความถี่เฟสต่อเนื่อง

การเปลี่ยนระหว่างสัญลักษณ์ติดต่อกันในขณะที่มีการเข้ารหัสเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ระหว่างสองสัญลักษณ์[11] จะเป็นตัวอย่างง่ายๆของสัญญาณ AFSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ลักษณะทางกายภาพ APRS ของฮาร์ดแวร์

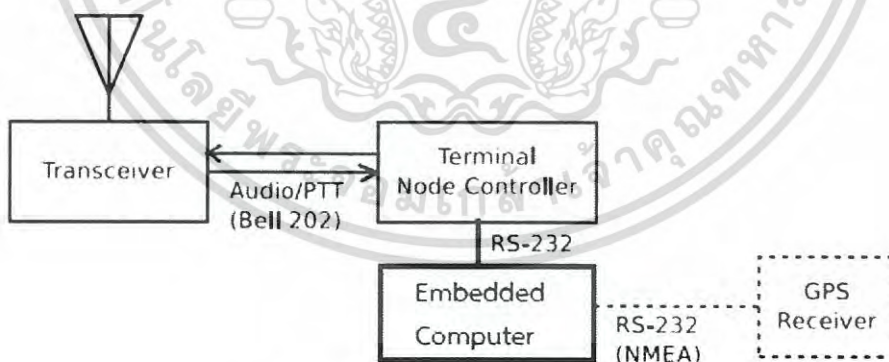
1. Digipeater
2. I-Gate
3. Tracker* (ออกแบบในงานวิจัยนี้)



รูปที่ 3.3 ลักษณะทางกายภาพของระบบ APRS ทั้งหมด [64]

3.7.1 Digipeater

สถานที่ที่รับสัญญาณข้อมูลมาเพื่อทำการส่งต่อ หรือ Store & Forward หรือในความหมายง่ายๆคือ สถานที่ทวนสัญญาณโดยสามารถอธิบายได้ใน Block Diagram ข้างล่างนี้



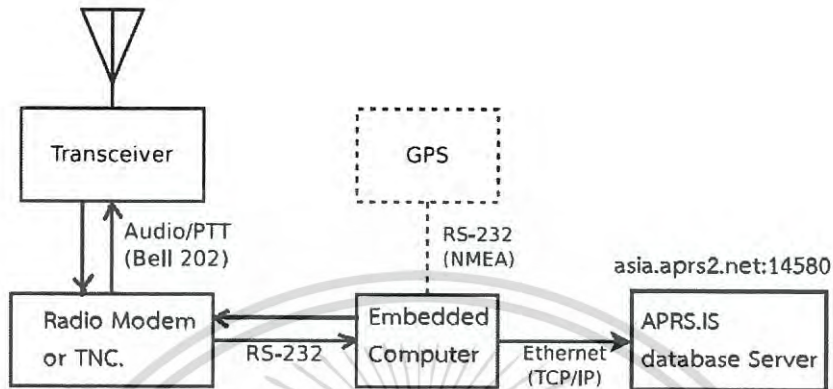
รูปที่ 3.4 Block Diagram ของ Digipeater

โดยที่ Transceiver คือเครื่องรับส่งวิทยุต้องอยู่ในย่านความถี่เดียวกับที่ใช้ในการสื่อสารทั้งระบบ โดยการรับ AFSK ส่งมาให้ Terminal Node Controller เป็นตัว Decoder ออกมาแล้วส่งไปให้ Embedded Computer หรือ Desktop Computer ที่มีโปรแกรมการจัดการระบบ APRS เพื่อส่งกลับออกไป ตามเงื่อนไขที่ Computer ได้ตั้งไว้ให้กับสถานีเครื่องรับที่อยู่ห่างไกลออกไปอีกหรือส่งไปให้สถานี I-Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 I-Gate (Internet gateway)

เป็น สถานีรับสัญญาณ เพื่อ ส่งต่อให้ APRS network on RF and the world-wide APRS-IS (Internet System) network อธิบายได้ดังรูป

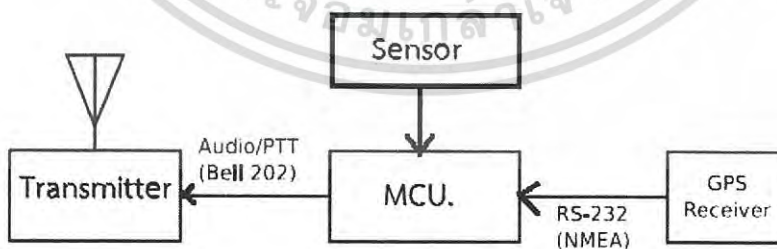


รูปที่ 3.5 Block Diagram ของ I-Gate

จะทำงานโดยการรับสัญญาณ AFSK ที่เข้ามาทาง เครื่องวิทยุ(Trasceiver) เป็น AFSK ส่งต่อไปให้ TNC หรือ Radio Modem ที่ทำหน้าที่ Decoder ออกมาแล้วส่งต่อผ่าน RS-232 ไปให้ Embedded Computer หรือ Desktop Computer ที่รันโปรแกรมของ APRS ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ Internet network และ ตั้งให้ส่งข้อมูลไปยัง APRS Internet Service (APRS.IS) เพื่อต่อเข้ากับระบบ Database Server ในการเก็บข้อมูลชื่อ Database Server จะมีการเชื่อมต่อโดยระบบให้ชี้ไปที่ port 14580 ตามมาตรฐานของ APRS Database Server ที่ติดตั้งไว้ทั่วโลกดังตัวอย่างที่ใช้ในโซนเอเชีย asia.aprs2.net:14580 ตามที่แสดงไว้ใน block Diagram ข้างต้น

3.7.3 Tracker Unit (Embedded Design ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ กล่าวในบทที่ 4)

การรายงานตำแหน่งหรือวัตถุโดยใช้ตำแหน่งพิกัดจาก GPS และหรือมีการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ เพื่อแปลงออกเป็น APRS ส่งออกไปที่เครื่องส่งวิทยุ รายละเอียดการออกแบบในบทที่ 4



รูปที่ 3.6 Block Diagram ของ Tracker Unit ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วิทยุ (Transceiver)

วิทยุหลายประเภทสามารถใช้เพื่อส่งข้อมูล APRS ได้ ประเภทที่พบมากที่สุดใช้ช่วงความถี่ VHF / UHF เนื่องจากลักษณะเฉพาะของช่วงความยาวคลื่นและความพร้อมใช้งานของนักวิทยุสมัครเล่น โดยวัตถุประสงค์ของวิทยุ APRS คือการรับและส่งข้อมูล BFSK ร่วมกับโมเด็มวิทยุผ่านช่อง VHF หรือ UHF เฉพาะ อัตราข้อมูลมาตรฐาน APRS BFSK เป็น 1200 baud โดยมีความถี่เสียง 1200 Hz และ 2200 Hz สำหรับเครื่องหมาย Mark และ Space ตามลำดับ การใช้วิทยุก็มีตั้งแต่ Module สำหรับส่งแบบเดียวที่ไม่ต้องการระยะทางไกลมาก และ ใช้กำลังส่งต่ำเพื่อประหยัดพลังงาน ดังรูปเป็นการนำเอา Transmit Module ในย่าน VHF / UHF โดยที่มีทั้งกำลังส่งต่ำไปจนถึง 5 watts โดยที่ในประเทศเราหากมีกำลังส่งต่ำกว่า 500mW ยังถือว่าถูกกฎหมายในการใช้หรือเพื่อการทดลองซึ่งหากต้องการส่งมากกว่านั้นต้องมีการขอใบอนุญาตเพื่อให้สามารถใช้ได้กับทาง กสทช แสดงให้เห็นในรูปข้างล่าง จะเป็น Module ที่ใช้ในการทดลองและรวมไปถึงวิทยุที่ใช้เพื่อทดลองกำลังส่งมากเพื่อพิสูจน์การทดลองในเรื่องระยะทางกับกำลังส่งต่อไป



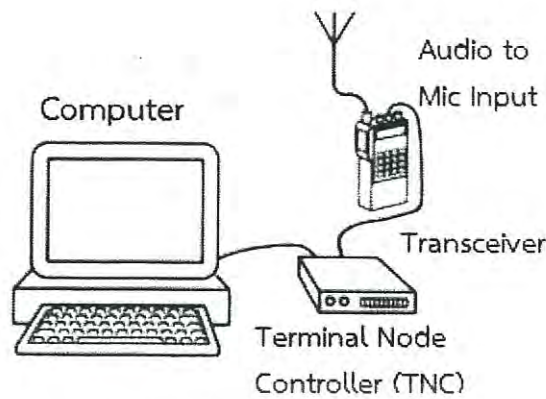
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์เครื่องส่งโมเด็ม [37]

3.9 อุปกรณ์ Radio Modem หรือ TNC (Terminal Node Controller)

ระบบ Packet Radio มีมาตั้งแต่สมัยปี ค.ศ.1980 โดยในสมัยก่อนนั้นยังไม่มีระบบอินเทอร์เน็ตที่สะดวกเหมือนทุกวันนี้ ดังนั้นได้มีการพัฒนาการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุเพื่อเป็นช่องทางการสื่อสารของข้อมูล โดยมีหลายบริษัทได้พัฒนาอุปกรณ์ TNC มาเพื่อเป็นอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณวิทยุให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเชื่อมต่อกับระบบ คอมพิวเตอร์

ในอดีต อุปกรณ์ที่เรียก TNC มีขนาดใหญ่และมีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีปัจจุบัน มีจำนวนอุปกรณ์ IC มากกว่า 40 ชิ้นในเครื่องและการนำมาใช้เพื่อเป็นอุปกรณ์ Packet Radio เพื่อพัฒนาเป็น APRS นั้นยุ่งยากมาก จะเปรียบเทียบ TNC ที่ยังมีใช้อยู่ในปัจจุบัน

TNC (Terminal Node Controller) [17] เป็นอุปกรณ์ออกแบบบนพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์และถูกใช้ในวงการวิทยุสมัครเล่นเพื่อเข้าและถอดสัญญาณ AX.25 โปรโตคอล โดยต่อผ่านเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางพอร์ต RS-232 โดยที่ เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นแค่อุปกรณ์ในการป้อนและรับข้อมูลเท่านั้น



รูปที่ 3.8 รูปแบบทั่วไปของการใช้งาน TNC ใน AX.25 โพรโตคอล [33]

ภายในโครงสร้างของฮาร์ดแวร์ของ TNC สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างดิจิทัลและอนาล็อกได้ ชั้นส่วนอนาล็อกเป็นระบบไมโครโพรเซสเซอร์ทั่วไปที่มีพอร์ตอนุกรมสองพอร์ตเช่นกัน โปรแกรมและความทรงจำข้อมูล หลังใช้สำหรับการส่งข้อมูลที่ส่งและการจัดเก็บพารามิเตอร์ของคอนโทรลเลอร์ ส่วนอนาล็อกมีโมเด็มที่ช่วยให้การเชื่อมต่อวิทยุสื่อสารแบบสมัครเล่น

3.10 อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS (Global Positioning System)

โดยอุปกรณ์ GPS ที่มีอยู่โดยทั่วไปที่มีจำหน่ายในราคาที่ไม่สูงจนเกินไปและมีความเที่ยงตรงพอสมควรสำหรับงานการบอกตำแหน่งที่นำมาใช้ในการพัฒนานี้

- NMEA GPRMC มีรูปแบบโครงสร้างดังนี้

GPS จะให้ข้อมูลออกจากโมดูล ทางขา TX และสามารถให้ข้อมูลในรูปแบบ NMEA format ที่มีหลากหลายรูปแบบที่ออกมาจากขาสัญญาณส่วนใหญ่จะ TTL Serial Interface ที่ความเร็ว 4800 bps โดยเอาไปใช้นั้นอาจจะมีการตัดเอาเฉพาะส่วนของชุดข้อมูลที่ส่งออกมาจาก ชุด GPS มาใช้โดยไม่จำเป็นต้องเอามาใช้ทั้งหมด ชุดข้อมูล NMEA ที่นิยมใช้มากที่สุดที่นำมาใช้ใน ระบบ APRS คือ \$GPRMC

```
$GPRMC,092751.000,A,5321.6802,N,00630.3371,W,0.06,31.66,280511,,A*45
```

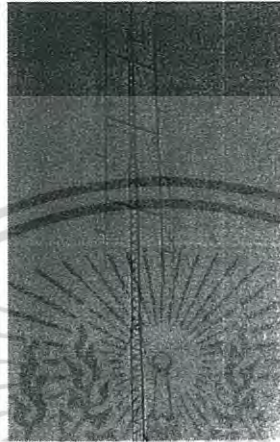
3.11 ชุดอุปกรณ์สำหรับ APRS โพรโตคอล

วิทยุที่ใช้ในการทดลองอธิบายไว้ในที่นี้คือ GE PSX-200 และ KENWOOD TH-D7 วิทยุ KENWOOD มี ระบบ APRS ประกอบในตัว เนื่องจากส่วนประกอบเดียวที่ขาดหายไปเพื่อให้ระบบสมบูรณ์ คือตัวรับสัญญาณ GPS เครื่องส่งสัญญาณ APRS สองเครื่องที่ใช้เป็นโหนดเครือข่าย ได้แก่ เครื่องรับส่งสัญญาณ TRACKER (ที่ออกแบบขึ้น) 20 mW มีการทดลองในภาคสนาม เพื่อตรวจสอบความครอบคลุมของเครือข่ายทั้งที่มีและไม่มีการใช้ Digipeaters ผลการทดลองจะอธิบายปรากฏในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.1 สถานีเครื่องรับ

ประกอบด้วย เครื่องวิทยุรับส่ง General Electric PSX-200 ต่อกับ TNC (Digipeater) GE PSX-200 เป็นวิทยุที่ยอดเยี่ยมสำหรับกิจกรรม APRS เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานแบบตั้งอยู่ประจำที่ เราได้รวม GE-PSX และ Radio Modem-Digipeater-Igate MicroSat [62] ที่สามารถเชื่อมต่อกับเสาอากาศขนาดความสูง 45 เมตร และใช้เป็นสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน



รูปที่ 3.9 สายอากาศที่ใช้ต่อจากวิทยุที่ความสูง 45 เมตร



รูปที่ 3.10 วิทยุ + TNC ทำหน้าที่ DigiPeater / I-Gate (MicroSat) Embedded Computer[62]

3.11.2 TH-D7 Kenwood และ GPS Module

การอธิบายนี้เพื่ออธิบายถึงการนำเอาฟังก์ชัน APRS ที่มีอยู่เครื่องรับส่งวิทยุ(Built-in) มาต่อกับ GPS Module และมีความสามารถเท่ากับอุปกรณ์ Tracker ที่ได้สร้างขึ้น โดยที่ใช้ในการทดลองจะอธิบายเป็น TH-7D วิทยุ KENWOOD ทำให้ช่วยให้การส่ง APRS ที่กำลังส่ง 5 watts เท่านั้น แต่การต่อ GPS นั้นต้องมีการปรับระดับที่วิทยุต้องการคือ ระดับ RS232 ปกติทั่วไปที่มีค่าระดับมากกว่า TTL Level โดยต้องออกแบบวงจร Level convertor สำหรับ GPS มี TTL Level Convertor ออกแบบวงจร level Convertor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดทดลองระบบ APRS ที่ได้ใช้ TH-D7 – ต่อ GPS Module

โดยที่วิทยุรุ่นนี้มี TNC ที่รองรับ APRS ในตัวจึงสามารถนำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาและเรียนรู้การทำงานของ APRS protocol และใช้เป็นอุปกรณ์เพื่อรับค่าจากอุปกรณ์ที่เราจะได้ออกแบบขึ้นจากการเขียนโปรแกรม ในระบบฝังตัวที่ส่งออกมาโดยใช้ TH-D7 มาเป็นภาครับส่งเพื่อการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ APRS โดยวิทยุรุ่นนี้มี 2 ย่านความถี่โดยการเลือกทดลองในย่าน UHF ที่ความถี่ 433 MHz โดยที่วิทยุรุ่นนี้มีสเปคฯข้างล่างนี้

Specifications

Receive Transmit

- A. 136.000-173.995 MHz 144-147.995 MHz
118.000-135.995 MHz AM/FM
- B. 400.000- 479.975 Mhz 430.000- 439.975 MHz
144.000-147.995 MHz 144.000-147.995 MHz

Sensitivity (12db SINAD) 0.18 uV UHF or less (0.28 uV or less for the VHF sub-Band)

Power Output

13.8V 6W VHF 5.5W UHF

Weight

340 grams including battery

3.12 สรุปผลท้ายบท (Summary)

ในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีพื้นฐานทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยหลักการของ AX.25 การจัดรูปแบบของ Frame ข้อมูล ลักษณะของ TNC และการใช้งานกับอุปกรณ์เครื่องรับส่งวิทยุ การคำนวณหา FCS โดยใช้อัลกอริทึม CRC-16-CCITT มาใช้งานเพื่อพัฒนามาเป็น APRS โปรโตคอล การเบี่ยงเบนของสัญญาณเมื่อต้องการป้อนเสียง FSK ให้กับเครื่องรับส่งวิทยุ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้หยิบเฉพาะส่วนที่สำคัญต่อการวิจัยมาอธิบายเท่านั้น

ในบทต่อไปจะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนวิธีการออกแบบอุปกรณ์ของโปรโตคอลที่นำมาใช้ และการออกแบบรวมไปถึงการเขียนโปรแกรม และ การทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบเพื่อเปรียบเทียบกับ TNC ที่ได้กล่าวเอาไว้ในบทนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

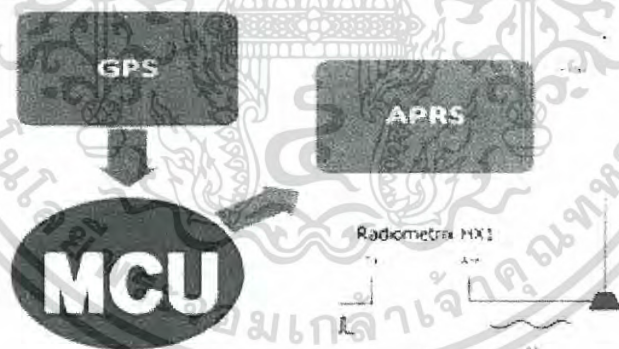
การออกแบบอุปกรณ์ระบบฝังตัว

โดยในบทนี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนและองค์ประกอบที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบอุปกรณ์ระบบฝังตัวที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะให้ชื่อเรียกของอุปกรณ์ที่ออกแบบนี้ว่า “Tracker Unit”

โดยที่ระบบ APRS Tracker Unit จะประกอบไปด้วย

- โมดูล GPS
- อุปกรณ์ Terminal Node Controller (TNC) โดยงานวิจัยนี้จะสร้างโดยใช้ Software บนไมโครคอนโทรลเลอร์
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328 ที่ทำหน้าที่ ประมวลผลสัญญาณที่รับเข้ามาเพื่อทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็น AFSK (Audio Frequency Shift Keying)
- ชุด วิทยุ หรือ Radio Module ที่ใช้ส่งเสียงวิทยุ (VOICE Radio)

งานวิจัยนี้จะออกแบบในส่วนของอุปกรณ์ระบบฝังตัวที่มีความสามารถในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ GPS ที่ให้พิกัดออกมาในรูปแบบของ NMEA มาประมวลผลเพื่อแปลงออกไปเป็น AFSK ในรูปของ APRS โปรโตคอลส่งออกไปยังเครื่องส่งวิทยุอธิบายได้ในรูป 4.1 โดยจะอธิบายคุณลักษณะในแต่ละอุปกรณ์ต่อไป



รูปที่ 4.1 Block Diagram ของอุปกรณ์หลัก APRS

Tracker คือประกอบไปด้วยโมดูลวิทยุความถี่ย่าน VHF / UHF และตัวรับสัญญาณ GPS มีความสามารถในการส่งข้อมูล APRS ได้เท่านั้น กำลังส่งสัญญาณ 0.02 watt (ในการทดลองนี้) แม้จะมีขนาดเล็กโดยการส่งผ่าน LOS ในระยะทางยาวและที่ระดับความสูงสามารถให้การติดตามครอบคลุมได้ แบตเตอรี่ Lithium สามารถทำงานได้อย่างน้อย 8 ชั่วโมงโดยมีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลทุกๆสองวินาทีที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบรวมจะแยกวิเคราะห์เส้นรุ้งเส้นแวงและความสูงจากตัวรับสัญญาณ GPS และแปลงให้เป็นรูปแบบ APRS นี้ถูกมอดูเลตต่อไปและส่งต่อไปยังโมดูลวิทยุสำหรับการส่งผ่านที่ความเร็ว 1200 และตัวรับสัญญาณที่สถานีรับสัญญาณปลายทางเพื่อวางแผนข้อมูลนี้บนหน้าจอ เนื่องจากเป็นเพียงเครื่องส่งสัญญาณเท่านั้นจึงไม่สามารุใช้สำหรับการส่งข้อมูลพร้อมกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

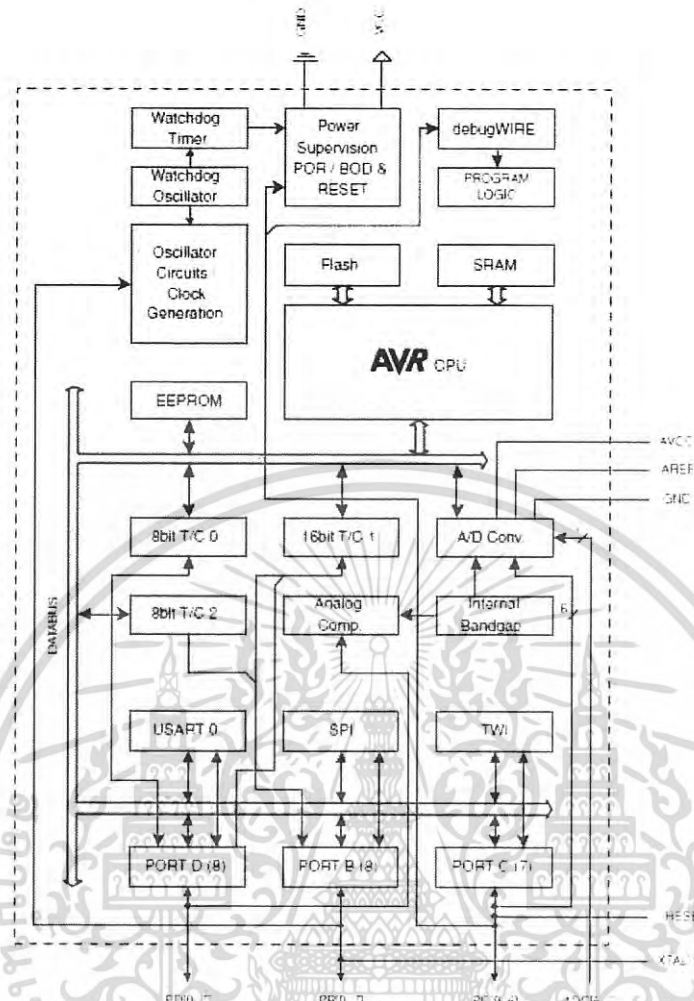
หลายเครื่องจากอุปกรณ์ต่างๆในช่องเดียวกัน เนื่องจากการชนของแพ็กเก็ต แต่เราก็สามารถสร้างเฟิร์มแวร์ใหม่โดยเครื่องส่งสัญญาณหลายตัวสามารถชิงโครโนซีได้ในความถี่เดียว ความคิดที่อยู่เบื้องหลังคือเครื่องส่งสัญญาณจะใช้นาฬิกา GPS สำหรับการชิงโครโนซีดังนั้นแต่ละคนจะส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งจะเสนอเอาไว้ใน Future work ในบทสุดท้าย

4.1 Hardware Design

การออกแบบนี้ เป็นการนำหลักการพื้นฐานที่มีอยู่ในการทดลองหัวข้อที่มีอยู่ที่ผ่านมาจากการนำเอาวิทยุมาใช้บอกตำแหน่งโดยนำเอา NMEA data จาก GPS มาป้อนใส่ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุด APRS ที่ประกอบไปด้วย Radio Module และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ เป็น APRS เพื่อส่ง พิกัด GPS ในขนาดเล็กพอที่จะสามารถใส่ลงไป กล่องขนาดเล็กที่สามารถพกพาไปไหนได้สะดวกหรือแม้แต่นำไป ใส่บน UAV หรือ จักรยาน ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อของ APRS

การออกแบบระบบนี้เริ่มด้วยการเลือกหา Microcontroller ที่มีขนาดเล็ก หาง่ายและมีการเขียนโปรแกรมที่ไม่ยุ่งยากและมีหน่วยความจำ port การเชื่อมต่อครบอยู่บน ชิปเดียวกันโดยเลือกเอา ATMEGA328 ของบริษัท Atmel มาใช้ ดังแสดง Block Diagram ข้างล่างนี้





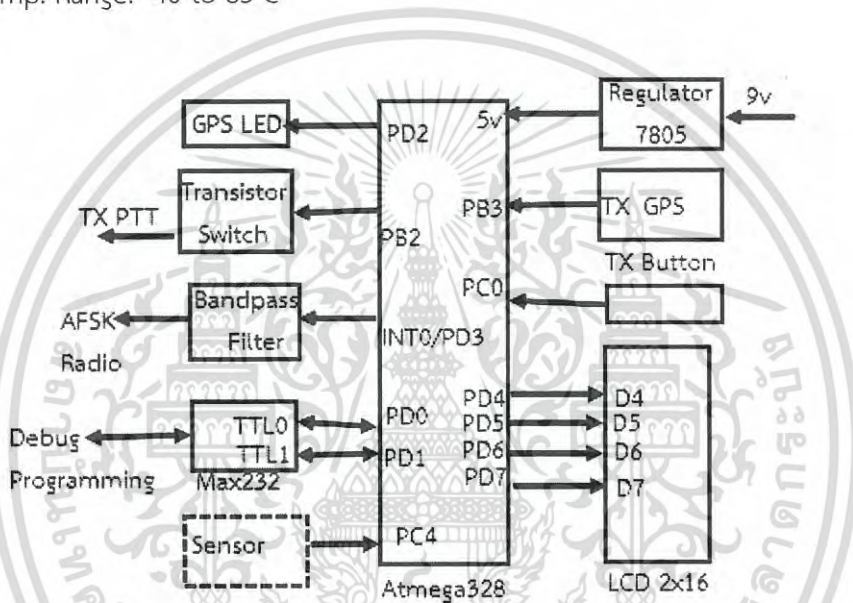
รูปที่ 4.2 Block Diagram ของ AVR Chip เบอร์ ATmega 328 [33]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR® Microchip ATmega328 8 บิตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ RISC ประสิทธิภาพสูงที่รวมหน่วยความจำ ISP Flash 32KB พร้อมความสามารถในการอ่านขณะเขียน EEPROM 1KB, SRAM 2KB, I/O อเนกประสงค์ 23 จุด, การใช้งานทั่วไป 32 จุด รีจิสเตอร์, UART แบบอนุกรมและอื่น ๆ Microchip ATmega328 MCUs ใช้คำสั่งที่มีประสิทธิภาพใน Clock เดียวทำให้อุปกรณ์สามารถบรรลุ throughputs ใกล้ 1 MIPS ต่อ MHz ขณะที่สมดุลการใช้พลังงานและความเร็วในการประมวลผล MCU ไมโครชิพเหล่านี้ได้รับการออกแบบมาสำหรับใช้ในระบบอัตโนมัติในภาคอุตสาหกรรมและระบบอัตโนมัติในบ้านและอาคาร มีรายละเอียดดังนี้ [32]

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- Pin Count: 28/32

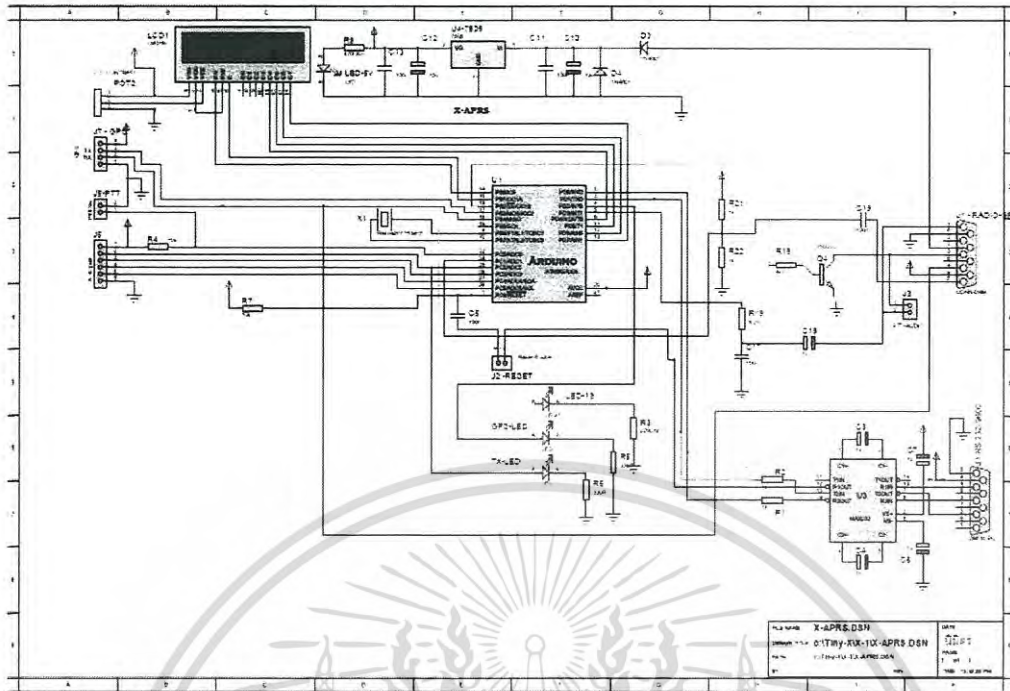
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Max I/O Pins: 23
- SPI: 2
- UART: 1
- ADC: 8 channels, 10-bit resolution
- Analog Comparators: 1
- Flash (Kbytes): 32
- EEPROM (Kbytes): 1
- SRAM (Kbytes): 2
- Temp. Range: -40 to 85°C



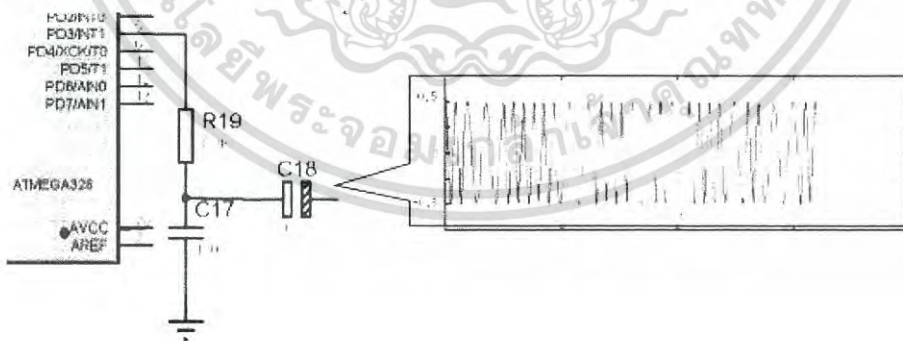
รูปที่ 4.3 Block Diagram ของระบบฝังตัวที่ออกแบบ

อธิบายในส่วนของ Hardware Schematic Diagram มีตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้นที่เป็น พระเอกของการทำงานทั้งหมด โดยหน้าที่บทบาทใหญ่ อยู่ที่การเขียน Firmware ที่ต้องพยายาม บีบอัดให้ทุกฟังก์ชันที่จำเป็นมาอยู่ใน หน่วยความจำทั้งหมด ส่วนของ Hardware ของ APRS Tracker



รูปที่ 4.4 Schematic Diagram ของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบสำหรับ APRS (แนบไว้ในภาคผนวก)

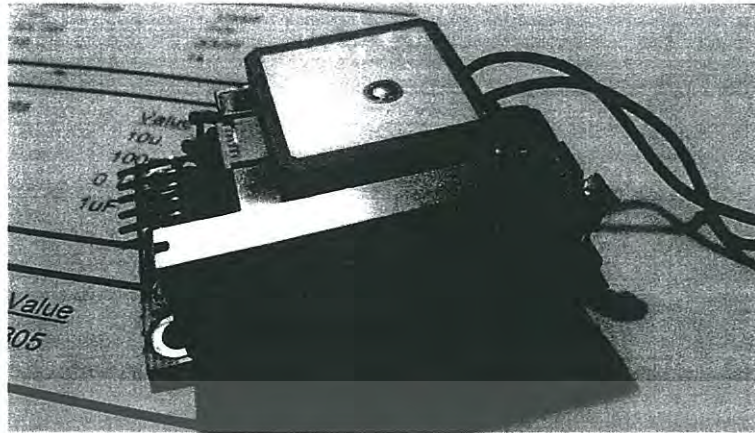
ในส่วนของ Hardware ที่สร้างสัญญาณ AFSK (Audio Frequency Shift Keying) นั้น จะอธิบายในรูปที่ 4.21 จะสังเกตได้ว่าการสร้างสัญญาณ PWM ออกมาเข้าวงจร Low Pass filter ที่กรองความถี่ที่ต้องการเท่านั้นในความถี่ต่ำที่มี bandwidth ประมาณ 3400Hz ($R_{19}=8k\Omega$ $C_{17}=0.1\mu$) plus DC coupling * ($C_{18}=1\mu$). และจะช่วยลดระดับความสูงของ Sine wave ไม่เกิน 500mV peak-peak



รูปที่ 4.5 Output ของ AFSK ที่ออกจาก Digital I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ออกแบบให้มีขนาดเล็กมีน้ำหนักไม่เกิน 200-300 กรัมเพื่อที่จะนำไป ติดตั้งบน จักรยานหรือ ยานพาหนะเพื่อทำการทดลองหาผลการส่งข้อมูลที่ได้ จาก NMEA ของ GPS ความเร็ว ทิศทาง และ พิกัดของ ระยะเวลาส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ชุดทดลองระบบ APRS Tracker ขนาดเล็กที่ออกแบบเพื่อการทดลอง

โดยผลที่ได้สามารถแสดงให้อยู่รูปตำแหน่งใน Google Map โดยจะอธิบายหลักการในบทต่อไป หลังจากที่ได้ผลการทดลองตามที่ต้องการก็ทำการออกแบบหากล่องและออกแบบ PCB ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคสนาม

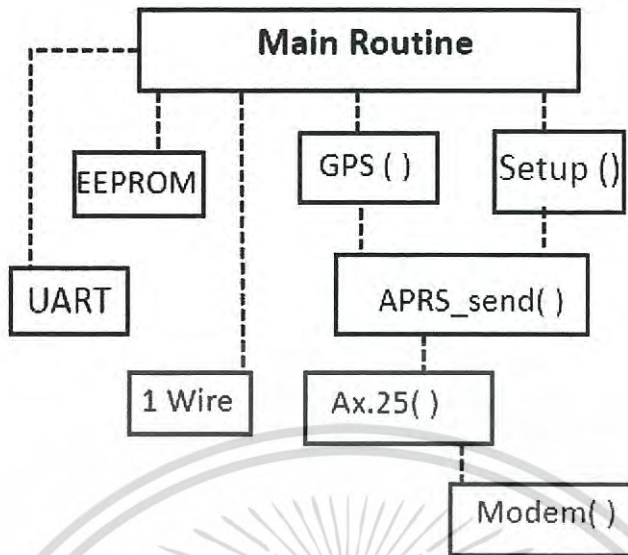


รูปที่ 4.7 การออกแบบเพื่อจัดวางให้มีขนาดเล็ก

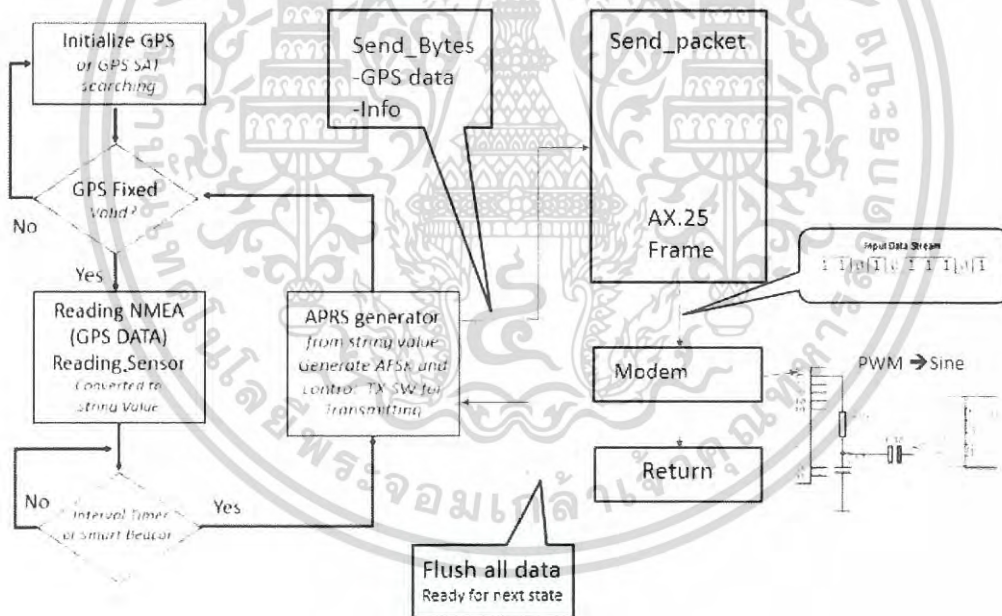
4.2 Software Programming Technique

การออกแบบ Hardware ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA328 ซึ่งมี ที่เก็บหน่วยความจำในส่วนของ Firmware 32Kb แต่ ต้องแบ่งไปให้ Bootloader ประมาณ 5Kb ดังนั้นก็ เหลือพื้นที่ๆ สามารถเขียนโปรแกรมได้เพียง 27Kb

โดยที่ Main Program จะประกอบไปด้วยโมดูลหลักๆ ที่จะมาช่วยในการสร้าง APRS โปรโตคอลได้ตามนั้นจะมีกรับข้อมูลจาก GPS ในรูปของ NMEA data แล้วเปลี่ยนหรือปรับให้อยู่ในรูปของ Byte เพื่อส่งต่อไปโมดูล APRS ที่จะเรียกใช้ AX.25 Routine ที่มีการสร้าง PWM และ มีการปรับ Interrupt ที่จะให้ Modem Routine ทำหน้าที่ในการควบคุมการใช้ Timer ให้ AVR หรือ Microcontroller ทำงานได้ทันเวลาในการสร้าง APRS ออกเป็น AFSK สองความถี่



รูปที่ 4.8 ลำดับชั้นของโมดูลซอฟต์แวร์ (Software Module Hierarchy)



รูปที่ 4.9 Flowchart รวมของทั้งระบบ

ในรูปข้างบนเป็นการอธิบายการเขียนโปรแกรมใน AVR โดยที่หลักจะอธิบายถึงการเขียนในส่วนที่เป็น การเขียน APRS โดยการเขียน Firmware นั้นสรุปออกมาได้สองส่วนใหญ่คือในส่วนแรกจะเป็นการแปลงข้อมูลที่เข้ามาให้อยู่ในรูปของ Data Frame ตามที่ AX.25 ต้องการตาม UI Frame ที่เรียกว่า APRS format ที่มี Flag ทั้งหน้าและหลัง เพื่อให้ได้ข้อมูลเป็น Byte พร้อมทั้งจะแปลงออกมาเป็นรูปคลื่น FSK โดยการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการสร้าง APRS AX.25 Waveform 1200Hz และ 2200Hz ต้องอาศัยเทคนิคสร้างรูปจากตารางคลื่น SINE จาก PWM เพื่อทำการแปลงตัวอักษรที่ส่งมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแหล่งข้อมูลเช่น NMEA data ตำแหน่งพิกัดมาเพื่อแปลงออกเป็น ข้อมูล แล้วกลับข้อมูลแบบ Mirror ไปเป็น Audio Frequency Shift Keying (AFSK) ใช้PWM เทคนิค หลักการที่กำหนดให้ Logic 1 ความถี่ เป็น 1200Hz และ logic 0 เป็น 2200 Hz โดยในรูปที่ 4.29 จะอธิบาย ข้อมูล binary sequence ของ 1001 modulated by AFSK

การเขียนโปรแกรมในส่วนแรกนั้นต้องเขียน Module ที่นำเอามาใช้ในการจัดหรือแปลง ข้อมูลที่ได้รับให้อยู่ในรูปของ Frame Format แล้วจึงสามารถส่ง Frame ให้ตรงกับ โปรโตคอล AX.25 แต่ต้องแบ่งแพ็คเก็ตออกเป็นเจ็ดส่วนดังนี้:

ตารางที่ 4.1 Data Frame Format

Flag (BOF)	Address	Control	PID	Information (Data)	CRC	FLAG (EOF)
1byte	14 to 70b	1byte	1byte	Up to 256b	2bytes	1byte

- A. Flag (BOF)
- B. Address
- C. Control
- D. Protocol Identifier (PID)
- E. Information (Data)
- F. Frame Check Sequence
- G. Flag (EOF)

ข้อมูลส่วนใหญ่ด้านล่างอธิบายถึงฟิลด์เหล่านี้คือข้อมูลสรุปของสิ่งที่ปรากฏในคำอธิบาย โปรโตคอล AX.25 ซึ่งทำให้เนื้อหาหนึ่งง่ายขึ้นเพื่ออธิบายสิ่งที่จำเป็นต้องรู้ในการส่งเฟรม UI เท่านั้น

A. Flags

FLAG เป็นเพียงค่า hex 7E (01111110 ในรูปแบบไบนารี) ที่ส่งไปเรื่อย ๆ เมื่อไม่มีการ ส่งผ่านข้อมูล ตัวอย่างเช่นเมื่อตั้งค่า TXdelay บน TNC ของคุณให้เป็นค่าบางค่าจะส่ง Flag (7E) ซ้ำ แล้วซ้ำอีกในช่วงเวลานั้น FLAG เหล่านี้จะให้ตัวรับสัญญาณที่มีข้อบ่งชี้ชัดเจนเมื่อแพ็คเก็ตหนึ่งตัว สิ้นสุดลงและจุดเริ่มต้นต่อไปคือจุดเริ่มต้น ดังนั้นต้องมีอย่างน้อยหนึ่งช่องระหว่างสองแพ็คเก็ตที่อยู่ ติดกัน

B. Address

ฟิลด์ที่อยู่มีปลายทาง (ในกรณีนี้จะใช้คำว่า CQ) แหล่งที่มา (W2FS-4 ในกรณีนี้) และไม่เกิน แปด digipeters (ในกรณีนี้ใช้คำว่า RELAY) แต่ละ "callsign" ในฟิลด์ที่อยู่ต้องมีอักขระ 7 ตัวอักษร , 6 ตัวสำหรับ callsign และ 1 สำหรับ SSID หากมีความยาวน้อยกว่า 6 ตัวอักษรต้องมีการเบียดกับ ช่องว่าง นอกจากนี้สถานีรับจะต้องมีวิธีการตรวจสอบเมื่อช่องที่อยู่สิ้นสุดลง (เพราะมันอาจมีที่ใดก็ได้ จาก 0 ถึง 8 digipeters ในนั้น) นี่คือการจัดการโดยการขยับแต่ละบิตหนึ่งตำแหน่งไปทางซ้ายเพื่อให้ 0 ปรากฏเป็นบิตที่สำคัญน้อยที่สุด บิตนี้ถูกตั้งค่าให้เป็นหนึ่งสำหรับ SSID (เจ็ดบิต) หรือ last callsign ในฟิลด์ที่อยู่ ตัวอย่างเช่น callsign ปลายทางจะได้รับการเข้ารหัสดังนี้:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่าย ๆ ในการคำนวณค่านี้ซึ่งใช้ในภาษาแอสเซมบลี แทนในการทำการสลับบิตแทนการใช้คำสั่งในภาษา C. โดยรหัสนี้รวมอยู่ด้านล่างในตัวอย่าง Code ที่ใช้ในการเขียน FCS

เอาข้อมูลตัวเลขข้อมูลทั้งหมดวางเรียงเข้าด้วยกัน นอกเหนือจาก Flag และ FCS (ซึ่งจะคำนวณต่อไป) แพคเกจทดสอบของเราสามารถนำมาใช้เป็นอาร์เรย์ของ 27 Byte ฐานสิบหก(HEX) ดังนี้:

ตารางที่ 4.2 APRS Data Frame Format กับ ค่าข้อมูลตัวอย่าง

FLAG	Destination	Source	Digipeater Address	Control	PID	Information-Data	FCS	FLAG
7E	CQ	W2FS4	RELAY	03	F0	Test	คำนวณ	7E

```

C  Q  Sp Sp Sp Sp Ssid=0      W  2  F  S  sp sp Ssid=4
86 A2 40 40 40 40 60      AE 64 8C A6 40 40 68

R  E  L  A  Y  Sp Ssid=0      Control PID      T e s t
A4 8A 98 82 B2 40 61      03 F0      54 65 73 74
  
```

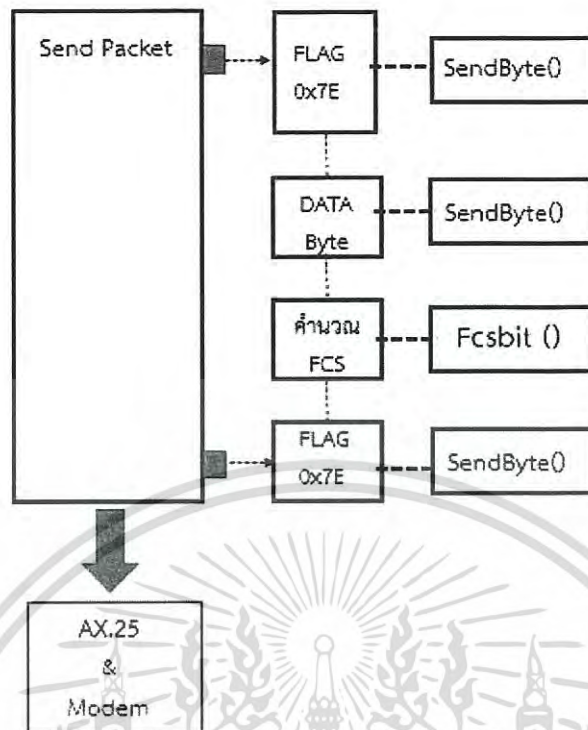
แปลงออกมาให้อยู่ในรูปของภาษา C แบบ Array ได้ดังนี้

```

byte SendData[27] = {0x86, 0xA2, 0x40, 0x40, 0x40, 0x40, 0x60, 0xAE, 0x64,
                    0x8C, 0xA6, 0x40, 0x40, 0x68, 0xA4, 0x8A, 0x98, 0x82,
                    0xB2, 0x40, 0x61, 0x03, 0xF0, 0x54, 0x65, 0x73, 0x74}
  
```

ตัวอย่างการเขียน Code สำหรับการส่งข้อมูล

โค้ด C ที่ถอดออกมาซึ่งจะส่งอาร์เรย์ตัวอย่างของเราเป็น UI Frame ของ AX.25 รหัสนี้เขียนขึ้นเฉพาะสำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์ภาษา C ที่ใช้กับ Arduino Boot loader ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ C ที่มีใน IDE ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้ฟรี ดังที่ระบุไว้ข้างต้นการไหลลจิกเดียวกันสามารถใช้กับการส่งเฟรม UI เริ่มต้นด้วยภาพรวมฟังก์ชันต่อไปนี้จะส่งแพคเกจที่มีอยู่ใน Array SendData



รูปที่ 4.10 ลำดับชั้นของฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้าง Frame Data AX.25

- ฟังก์ชัน SendPacket

```
void SendPacket(void){
    fcslo=fcshi=0xFF; // 2 FCS Bytes เริ่มต้นที่ค่า 0xFF (FFh)
    stuff = 0; //The variable stuff counts the number of 1's in a row. When it gets to 5
                // it is time to stuff a 0.
    output_high (PTT); //สั่งให้ output ที่ออกจาก AVR เพื่อไปกดส่งออกอากาศ ปุ่ม PTT
    flag = TRUE;
                //The variable flag is true if you are transmitted flags (7E's) false otherwise.
    fcsflag = FALSE;
                //ตัวแปร fcsflag จะเป็น true ถ้ามีการส่งข้อมูล FCS bytes, หรือเป็น FALSE ถ้าไม่มี
    การส่ง.
    for (i=0;i<20;i++) (SendByte(0x7E)); //การส่ง flag bytes. ปรับความยาวสำหรับ txdelay
                                        //แต่ละ flag กินเวลาประมาณ approx 6.7 ms
    flag = FALSE; //ส่ง flags เสร็จ
    for(i=0;i<27;i++) (SendByte(SendData[i])); //ส่ง packet bytes

    fcsflag = TRUE; //กำลังส่ง FCS bytes
    fcslo =fcslo^0xff; //ต้องทำ XOR กับค่า FF ก่อนส่ง
    fcshi = fcshi^0xff;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SendByte(fcslo);          //ส่ง low byte ของ FCS
SendByte(fcshi);         //ส่ง high byte ของ FCS
fcsflag = FALSE;        //ส่ง FCS เสร็จสิ้น
flag = TRUE;            //กำลังส่ง flags
SendByte(0x7e);         // ส่ง flag เพื่อบอกว่าจบการส่ง packet
output_low(PTT);        //หยุดการส่งให้เครื่องส่งออกอากาศ ปล่อยปุ่ม PTT
}

```

หัวใจของฟังก์ชัน SendPacket คือฟังก์ชัน SendByte ซึ่งถูกเรียกใช้เพื่อส่งแต่ละ 27 ไบต์ ที่มาจาก Array SendData นี้คือฟังก์ชัน SendByte: จะอยู่ใน AX.25 () Module

- ฟังก์ชัน SendByte

```

void SendByte (byte inbyte){
int k, bt;
for (k=0;k<8;k++){          //นับให้ครบ 8 bits เป็นค่า byte
    bt = inbyte & 0x01;     //ตัดบิตด้านขวาสุดของไบต์ที่จะส่ง (inbyte)
    if ((fcsflag == FALSE) & (flag == false)) (fcsbit(bt));
                            //คำนวณ FCS calc, ถ้าเงื่อนไข if เป็นจริง
                            //ถ้าไม่ใช่ FLAG หรือ fcs byte
    if (bt == 0) (flipout()); // ถ้าบิตนี้เป็นศูนย์ให้พลิกสถานะเอาต์พุต
    else {                  // มิฉะนั้นถ้าเป็น 1 ให้ทำดังต่อไปนี้:
        stuff++;           // เพิ่มจำนวนครั้งติดต่อกัน 1 ครั้ง
        if ((flag == FALSE) & (stuff == 5)){ //stuff เพิ่ม 0, ถ้าเท่ากับ 5 1's ในแถว
            delay_us(850); //ใส่ Delay เพื่อให้ได้ 1200 baud
            flipout();     //พลิกสถานะเอาต์พุตไปให้เป็น 0
        } //end of if
    } //end of else
    inbyte = inbyte>>1;    //ไปทีบิตถัดไปในไบต์
    delay_us(850);         //ใส่ Delay ให้เท่ากับการเกิด 1200 baud
} //end of for
} //end of SendByte

```

สำหรับแต่ละไบต์ข้อมูลจะถูกส่งบิตอย่างน้อยก่อน (นั่นคือจากขวาไปซ้ายแทนที่จะเป็นจากซ้ายไปขวา) ฟังก์ชัน delay_us คือรูทีนที่จัดส่งพร้อมกับคอมไพเลอร์ C ควรจะสร้างความล่าช้า 850 ไมโครวินาที อาจคิดว่าระยะเวลานี้ยาวเกินไปตั้งแต่ 1200 baud ตามปกติจะกำหนดให้แต่ละบิตมีเวลา 833 มิลลิวินาทีต่อวินาที (1 วินาที / 1200) ขั้นตอนการกำหนดเวลา compiler ไม่ถูกต้องแม่นยำอย่างไรก็ตาม การทดลองพบว่าค่าของฟังก์ชัน ของ C compiler ที่ 850 ซึ่งส่งผลให้จังหวะเวลาถูกต้องสำหรับ 1200 baud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟังก์ชัน flipout จะเปลี่ยนสถานะของขาออกมีการส่งเมื่อมีค่าศูนย์ มีดังต่อไปนี้:

```
void flipout(){
    //พลิกสถานะเอาต์พุตไปให้เป็น 1
    stuff = 0; //ใส่ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0, reset the stuff counter
    if (!bit_test(port_a,1)) (output_high(pin_a1));
    //ถ้าสถานะของ pin เป็น Low ให้เปลี่ยนเป็น High,
    else (output_low(pin_a1)); //ถ้าสถานะของ pin เป็น High ให้เปลี่ยนเป็น Low
}
```

สุดท้ายเราจำเป็นต้องมีประจำที่จริงคำนวณ FCS FCS ประกอบด้วยสองไบต์ซึ่งเรียกว่า fcslo และ fcshi ทั้งสองแบบนี้ตั้งค่าไว้ที่ FF ในตัวอย่างนี้ FCS จะถูกคำนวณทีละขั้น มีอัลกอริทึมที่สามารถคำนวณ FCS ได้ทั้งสองครั้งที่ละไบต์หรือทีละไบต์ นี้คือขั้นตอนการคำนวณ:

- ฟังก์ชัน fcsbit

```
void fcsbit(byte tbyte){
#asm
    BCF 03,0 //ภาษา Assembly
    RRF fcshi,F // หมุนทั้งหมดของ 16 bits
    RRF fcslo,F // ไปทางขวา
#endasm
    if (((status & 0x01)^(tbyte)) ==0x01){
        fcshi = fcshi^0x84;
        fcslo = fcslo^0x08;
    }
}
```

tbyte พารามิเตอร์ของฟังก์ชันคือไบต์ 0000 หรือไบต์ 0001 ที่ตรงกับค่าของบิตที่กำลังส่งอยู่ (ระหว่าง #asm และ # Endasm) เนื่องจากไม่มีวิธีง่าย ๆ ในการหมุนค่า 16 บิตในการใช้ตัวสร้าง C ทั้งสามคำสั่งภาษาแอสเซมบลีเพียงแค่อ้ายค่า 16 บิตหนึ่งตำแหน่งทางด้านขวาโดยมีบิตที่สำคัญน้อยที่สุดก่อนหน้านี้ถูกวางไว้ในบิต 0 ของสถานะของ Register ในชิป AVR บรรทัดถัดไป (บรรทัดที่ขึ้นต้นด้วย if) จะดำเนินการพิเศษหรือ (XOR) บนบิตนี้จากรีจิสเตอร์สถานะและบิตที่กำลังส่ง (tbyte) ถ้าผลเท่ากับ 1 FCS คือ XOR-ed ที่มีค่า hex 8408 ถ้าผลลัพธ์มีค่าเท่ากับ 0 ขั้นตอนสุดท้ายนี้จะไม่ได้ทำ ทั้งสองวิธีค่าใหม่ของ FCS จะถูกเก็บรักษาไว้ใน fcshi และ fcslo ขั้นตอนนี้อาจดูเหมือนซับซ้อน แต่ทำงานได้

โดยขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมที่ทำให้ข้อมูลสามารถเปลี่ยนจากข้อมูลแบบ Binary มาเป็น ASFK นั้นต้องอาศัยการคำนวณออกจากสมการ ที่คำนวณออกมาเพื่อสร้างรูปแบบความถี่ แบบ Sine Wave โดยประกอบกับ ตาราง Sine wave ที่จะ เป็น carrier signal โดยการทำเช่นนั้นต้องทำให้มีการ สร้างเฟสที่ต่อเนื่อง และ ในแต่ละตัวอักษรที่ถูกเปลี่ยนจาก Binary นั้นต้องต่อเนื่องไม่ให้ขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะขาดก็ต่อเมื่อจบข้อความ โดยการเปลี่ยนการเดินของINDEXหรือตัวชี้ให้เลื่อนไปเรื่อยหรือที่เรียกอีกแบบว่า Phase Delta ไม่ให้ขาดช่วงโดยต้องคำนวณให้ได้ 1200 or 2200 Hz PHASE_DELTA_XXXX values [51] สมการที่ 4.1 โดยที่สมการนี้มาจากโปรแกรมที่เรียกเข้ามาตอนรับข้อมูลโดยในตัวอักษรหรือตัวเลขที่มากับข้อมูลจะมีทั้งเป็นByte และ String และมาแปลงให้ตรงว่า Binary 0 หรือ Binary 1 ของ Byte นั้นเป็นความถี่ออกไปโดยเรียกกันออกไปให้ได้ตามสูตรและตาราง Sine ในการกำเนิดความถี่สองความถี่ที่แทนค่าBinary 0-1

$$SE_DELTA_Fg = Tt*(Fg/Fm) \quad (4.1)$$

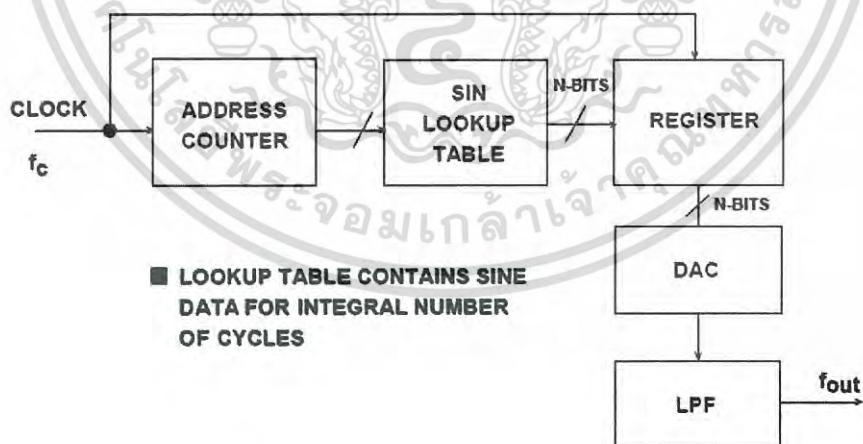
กำหนดให้

Tt = sine table size (TABLE_SIZE)

Fg = frequency of the output tone (1200 or 2200)

Fm = sampling rate (PLAYBACK_RATE_HZ)

โดยที่ นำมาจากเอกสารที่อธิบายพื้นฐานการสร้างรูปSine ที่ใช้ Direct Digital Synthesis Technique[63] วิธีการควบคุมแบบดิจิทัลในการสร้างความถี่หลายความถี่จากแหล่งความถี่อ้างอิงได้มีการพัฒนาขึ้น ในรูปแบบที่เรียบง่ายนั่นนาฬิกาที่มีเสถียรภาพจะสร้างหน่วยความจำแบบโปรแกรม (Programmable-read-only memory) (PROM) ซึ่งเก็บข้อมูลจำนวนหนึ่งรอบหรือมากกว่าของไซน์ (หรือรูปแบบอื่น ๆ) เนื่องจากตัวนับที่อยู่ส่งผ่านตำแหน่งหน่วยความจำแต่ละตำแหน่งความกว้างของสัญญาณดิจิทัลที่สอดคล้องกันในแต่ละตำแหน่งทำให้ไดรฟ์ DAC ซึ่งจะสร้างสัญญาณเอาต์พุตอนุาล็อก ความบริสุทธิ์ของสเปกตรัมสุดท้ายของสัญญาณอนุาล็อกจะถูกกำหนดโดย DAC เสียงเฟสเป็นพื้นฐานของนาฬิกาอ้างอิง แสดงหลักการพื้นฐานได้ดังรูป

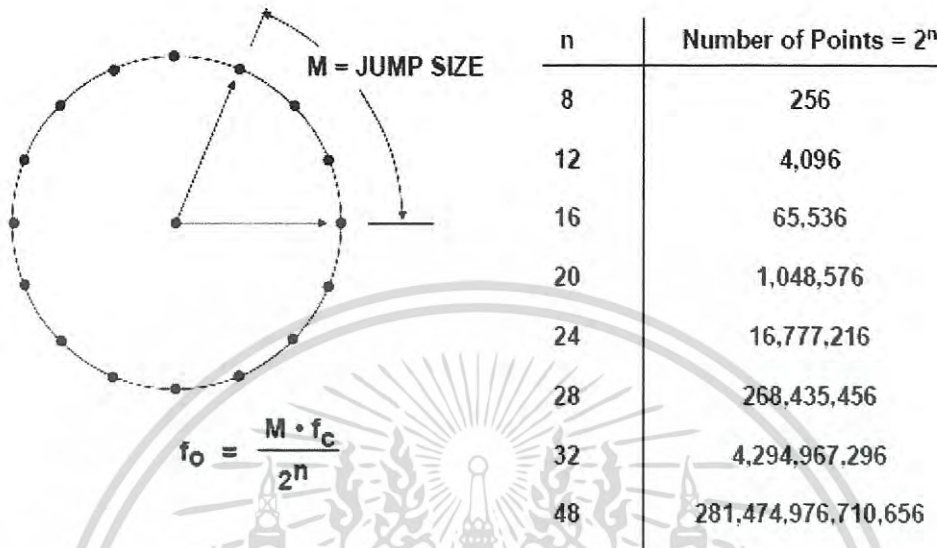


รูปที่ 4.11 พื้นฐานระบบ DDS (Direct Digital Synthesis) [63]

โดยระบบ DDS นี้ในส่วนง่ายคือ Final Frequency สามารถเปลี่ยนแปลงได้เฉพาะโดยการเปลี่ยนความถี่นาฬิกาอ้างอิงหรือโดย reprogramming PROM (Sine Table) จึงเป็นจุดแข็งของระบบ DDS ที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้เป็นฟังก์ชันพื้นฐานนี้ได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮาร์ดแวร์เพื่อทำรูปSine Look up Table มีข้อมูล Digital Amplitude ที่สอดคล้องกันสำหรับรอบที่สมบูรณ์แบบหนึ่งของ look up table sinewave. ซึ่งเป็นตัวขับให้กับ DAC แสดงดังภาพโดยใช้ "Phase Wheel"



รูปที่ 4.12 Digital Phase Wheel [63]

โดยที่ ความถี่ sinewave เอาท์พุทที่สอดคล้องกันจะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตที่หารด้วย 2^{32} ถ้า M = 2 the phase accumulator register accumulator จะ "rolls over" สองครั้งเร็ว และความถี่เอาต์พุตจะเพิ่มเป็นสองเท่า

```

PROGMEM const prog_uchar sine_table[512] = {
  127, 129, 130, 132, 133, 135, 136, 138, 139, 141, 143, 144, 146, 147, 149, 150, 152, 153, 155, 156, 158,
  159, 161, 163, 164, 166, 167, 168, 170, 171, 173, 174, 176, 177, 179, 180, 182, 183, 184, 186, 187, 188,
  190, 191, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 210, 211, 213, 214, 215,
  216, 217, 218, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 233, 234, 235, 236,
  236, 237, 238, 239, 239, 240, 241, 242, 243, 243, 244, 244, 245, 245, 246, 247, 247, 248, 248, 249, 249,
  249, 250, 250, 251, 251, 251, 252, 252, 253, 253, 253, 253, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254,
  254, 254, 255, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 254, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255, 255,
  251, 251, 250, 250, 249, 249, 249, 248, 248, 247, 247, 246, 245, 245, 244, 244, 243, 242, 241, 240,
  239, 239, 238, 237, 236, 236, 235, 234, 233, 232, 231, 230, 229, 228, 227, 226, 225, 224, 223, 221,
  220, 219, 218, 217, 216, 215, 214, 213, 211, 210, 209, 208, 207, 205, 204, 203, 202, 200, 199, 198, 197,
  195, 194, 193, 191, 190, 188, 187, 186, 184, 183, 182, 180, 179, 177, 176, 174, 173, 171, 170, 168, 167,
  166, 164, 163, 161, 159, 158, 156, 155, 153, 152, 150, 149, 147, 146, 144, 143, 141, 139, 138, 136, 135,
  133, 132, 130, 129, 127, 125, 124, 122, 121, 119, 118, 116, 115, 113, 111, 110, 108, 107, 105, 104, 102,
  101, 99, 98, 96, 95, 93, 91, 90, 88, 87, 86, 84, 83, 81, 80, 78, 77, 75, 74, 72, 71,
  70, 68, 67, 66, 64, 63, 61, 60, 59, 57, 56, 55, 54, 52, 51, 50, 49, 47, 46, 45, 44,
  43, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 23,
  21, 20, 19, 18, 18, 17, 16, 15, 15, 14, 13, 12, 12, 11, 10, 10, 9, 9, 8, 7, 7,
  6, 6, 5, 5, 5, 4, 4, 3, 3, 3, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
  2, 2, 2, 3, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 5, 6, 7, 7, 8, 9, 9, 10, 10, 11,
  12, 12, 13, 14, 15, 15, 16, 17, 18, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 26, 27, 28,
  29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52,
  54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81,
  83, 84, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 113,
  115, 116, 118, 119, 121, 122, 124, 125
};

static const unsigned char REST_DUTY = 127;
static const int TABLE_SIZE = sizeof(sine_table);
static const unsigned long PLAYBACK_RATE = F_CPU / 256; // 62.5kHz @ F_CPU=16MHz of Atmel ATmega328
static const int BAUD_RATE = 1200;
static const unsigned char SAMPLES_PER_BAUD = (PLAYBACK_RATE / BAUD_RATE);
static const unsigned int PHASE_DELTA_1200 = (((TABLE_SIZE * 1200L) << 7) / PLAYBACK_RATE);
static const unsigned int PHASE_DELTA_2200 = (((TABLE_SIZE * 2200L) << 7) / PLAYBACK_RATE);

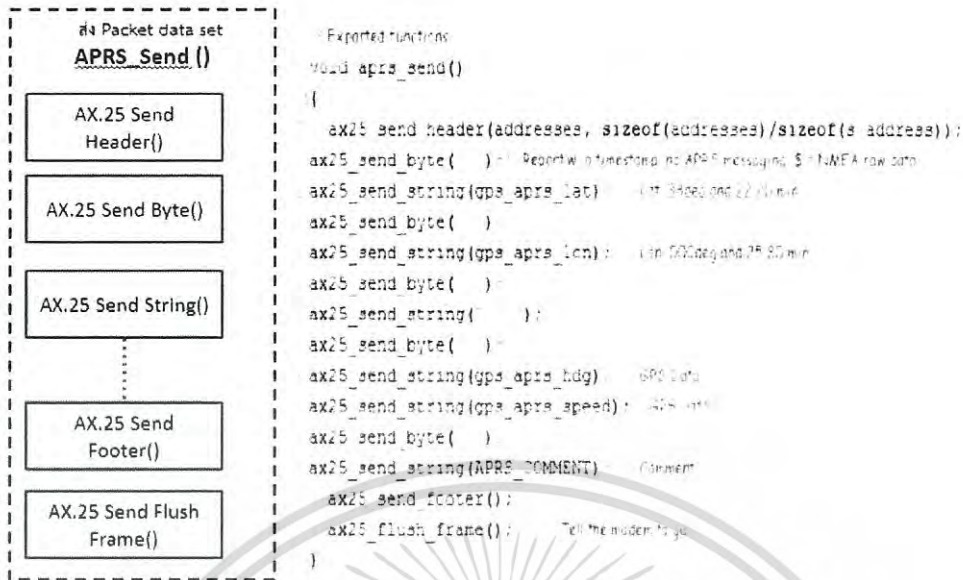
```

รูปที่ 4.13 ตาราง สำหรับสร้างคลื่นรูป Sinwave สองความถี่

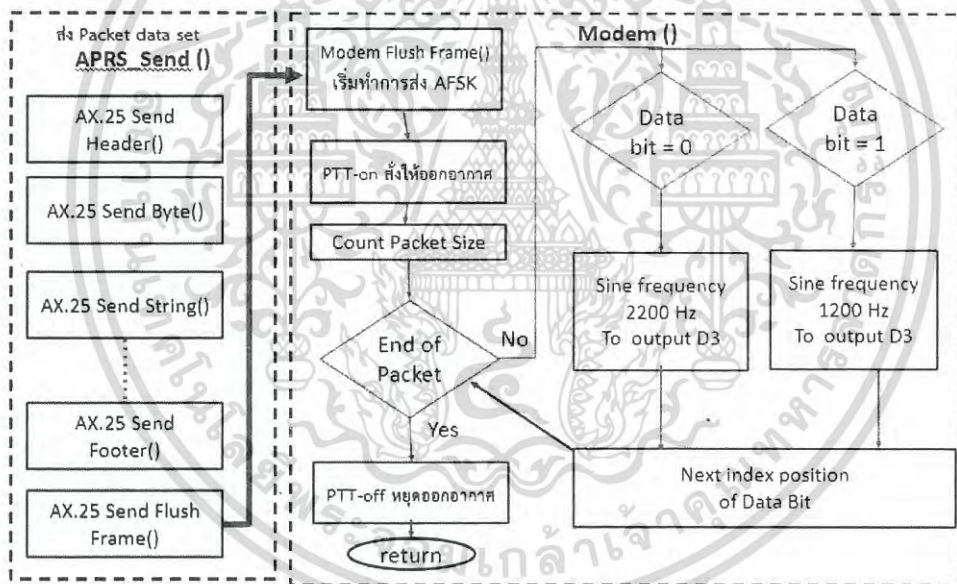
Audio with an AVR and PWM: ATmega328 chip หรือ AVR ไม่ได้มาพร้อมกับ DAC (Digital-to-Analog Converter) ดังนั้นสองตัวเลือกในการสร้างสัญญาณอนาล็อกเป็นบันไดตัว ด้านทาน หรือ PWM มีคนอื่นได้ออกแบบโดยใช้บันไดตัวด้านทานแบบ 4 บิต แต่คิดว่ามันน่าดูเสถียร กว่าที่ถ้าจะใช้ PWM จะมีความซับซ้อนมากขึ้นในด้านการเขียนโปรแกรม แต่ต้องใช้ส่วนประกอบ ภายนอกน้อยและมีขอกเพียงหนึ่งขาเท่านั้นเพื่อไปป้อนให้ชุดส่งวิทยุเป็น AFSK

เทคนิคใหญ่ที่นำมาใช้เพื่อให้สามารถกำเนิด PWM ในการสร้างคลื่น SINE ใน Microcontroller มีตัวจับเวลา 3 ตัวที่สามารถทำ PWM ได้ บางฟังก์ชันการจับเวลาใน Library ที่ สร้างเอาไว้ใน AVR Programming (delay และ millis) ใช้ Timer 0 ดังนั้นไม่ต้องการรบกวน Timer 1 และ 2 มีความสามารถเหมือนกัน แต่ Timer 1 สามารถนับได้ถึง 16 บิตและ Timer 2 จะเพิ่มขึ้น เพียง 8 บิต มีการเขียนขึ้นโดย Michael Smith ในการสร้าง PWM กับ AVR และตัวจับเวลาสองตัว โดยใช้ Timer 1 เพื่อป้อนตัวอย่าง (ที่อัตราตัวอย่างคือ) และ Timer 2 ทำ PWM จริง (ในอัตราสูงสุด ที่เป็นไปได้คือ $16 \text{ MHz} / 256 = 62,500 \text{ Hz}$ sampling Rate) แต่ด้วยการทำให้การทำสัญญาณ หยุดชะงักในเวลาอันสั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำเพียงแค่ตัวจับเวลาเดียวและลดความซับซ้อนของโค้ดลง เล็กน้อย ทั้งหมดจะใช้เวลาคือบอก AVR เพื่อเรียกเข้าขาอินเทอร์พเมื่อตัวจับเวลา PWM overflow และป้อนตัวอย่างจากขั้นตอน Interrupt Routine ISR จะเรียกว่าทุกๆรอบนาฬิกา 256 รอบ แต่นั่น เป็นเวลานานพอสำหรับการ ใช้ Sine Table ที่ใช้ทั้งตารางคือ ตาราง SINE โดยมี Flow ที่อธิบายการ ทำงานของ Routine APRS_send() ในรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



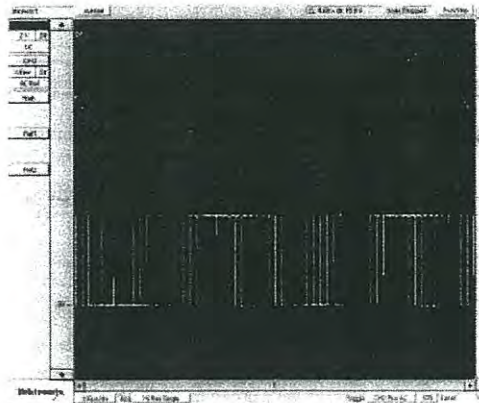
รูปที่ 4.14 ชุดคำสั่งโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการส่ง Bytes



รูปที่ 4.15 Flow ของการสร้างสัญญาณ AFSK

ตามรายละเอียดของคำสั่งในรูปที่ 4.15 การทำงานในของ เราจะเรียก Modem () นี้จะต้องมีการบอกให้ ชุดคำสั่ง Interupt เริ่มทำการตั้งค่า Timer 2 ให้ตรง Mode จากนั้นเริ่มสั่งให้ Modem_start () เมื่อทำการส่ง AFSK ออกไปหาเสาอากาศและเมื่อส่งเสร็จต้องทำการสั่งให้ Interupt หยุดทำงานเมื่อการส่งสัญญาณเสร็จสิ้นโดยสั่งที่ Modem_Stop () และ ผลที่ได้จากขา PWM ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 PWM filtered/unfiltered

ในรูปสามารถดูเอาต์พุต PWM (ด้านล่าง) และสัญญาณ PWM เดียวกันที่กรองโดยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน RC ที่มีความถี่ตัด = 2800 Hz (หรือสูงกว่า) คุณสามารถเห็นเฟสชดเชยระหว่างสัญญาณสองตัวซึ่งเป็นผลของตัวกรอง RC มีคลื่นที่ 62.5 KHz เกิดจาก PWM เอง



รูปที่ 4.17 Received signal at Transmitter module

4.2.1 การทดลองของชุด Radio Matrix (HX-1)

โมดูลวิทยุ รุ่นนี้เป็นตัวที่เอามาทดลองในตัวเพื่อนำไปใช้ในออกแบบ มีทั้งย่าน UHF และ VHF transmitter โมดูลเครื่องส่งที่จูนเปลี่ยนกำลังส่งถึง 300mW. กินกระแส 120mA ที่กำลังส่งสูงสุด



รูปที่ 4.18 ตัวอย่าง โมดูล ส่งวิทยุ VHF Radio Matrix (HX-1) [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการทดสอบโมดูล HX1 ปรากฏว่ามีการทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมาก เมื่อส่งสัญญาณโมเด็มทั้งสองแบบ (ใช้โปรแกรมกำหนดค่า ส่ง AFSK) ความถี่กลางอยู่ที่ $\approx 500\text{Hz}$ สูงที่อุณหภูมิห้อง ($\approx 25^\circ\text{C}$) (ทั้งสองโทนถูกใช้เป็นการสุ่มเป็นเสียงที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละโทนเสียง) อุณหภูมิโมดูลเพิ่มขึ้นจากการส่งสัญญาณอย่างต่อเนื่องจนความถี่ถูกต้องที่ $\approx 35^\circ\text{C}$ 25° ถึง 35° เป็นช่วงอุณหภูมิที่พบมากที่สุดที่จะพบมากที่สุดสำหรับการใช้งานแบบ "down-to-earth" และความแม่นยำ 500Hz ไม่ได้เลวร้าย แต่เมื่อวางไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ $\approx 0^\circ\text{C}$ (-18°C) ความถี่สูงขึ้น 1.2 กิโลเฮิร์ตซ์ซึ่งไม่ดี IF

การวัดค่าเบี่ยงเบนที่แม่นยำเป็นเรื่องยากที่จะทำกับความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการตรวจวัด แต่ใกล้เคียงพอที่จะระบุได้ว่าทำไม่ถึงเป็นอย่างไรที่เป็นอยู่ ขา TXD เป็นอินพุตที่เข้ากันได้กับ DC coupled CMOS และมีขาที่ 2.5V ความถี่ของคลื่นความถี่อยู่ที่ 144.390 MHz ตามที่คาดไว้ (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแน่นอน) ด้วยขาที่ 0 และ 5V ฉะนั้นคาดว่าความถี่จะเปลี่ยน $\pm 2.5\text{ kHz}$ แต่จริงๆ แล้วเปลี่ยน -3.2 kHz และ $+2.2\text{ kHz}$ และอธิบายถึงสาเหตุที่สัญญาณคลื่นเสียงแบบ demodulated บิดเบี้ยวเหมือนที่พวกเขาอยู่และทำไมความถี่กลาง $\approx 100\text{Hz}$ สำหรับโทน 2200Hz สำหรับโทนเสียง 1200Hz

จากข้อมูลเอกสารข้อมูลจากผู้ผลิต HX1 ได้รับการออกแบบมาสำหรับการปรับสัญญาณแบบดิจิทัลแทนที่จะเป็นแบบอนาล็อกการมอดูเลตและการมอดูเลตแบบดิจิทัลการเบี่ยงเบนที่ไม่ใช่เชิงเส้นจะไม่สร้างความแตกต่างใด ๆ จากนั้นจึงทำให้ความถี่สุ่มปรากฏขึ้นต่ำกว่า 600Hz จากนั้นจะเป็นอย่างไรกับ TXD pin ที่ 2.5V ซึ่งจะช่วยให้ถูกต้องเกือบที่อุณหภูมิห้อง

โดยการวัดเปรียบเทียบที่สัญญาณที่วิ่งผ่านเข้ามาที่โมดูลนี้เปรียบเทียบได้ใน 2 ความถี่ ดังรูป



รูปคลื่นเสียง 1200 Hz หลังจากผ่านการกรองต่ำผ่านตัวส่งสัญญาณ



ความเบี่ยงเบนของคลื่นเสียง 2200Hz น้อยกว่าสำหรับเสียง 1200Hz เนื่องจากตัวกรองสัญญาณต่ำผ่านตัวส่งสัญญาณซึ่งเริ่มต้นที่ $\approx 1.8\text{ kHz}$

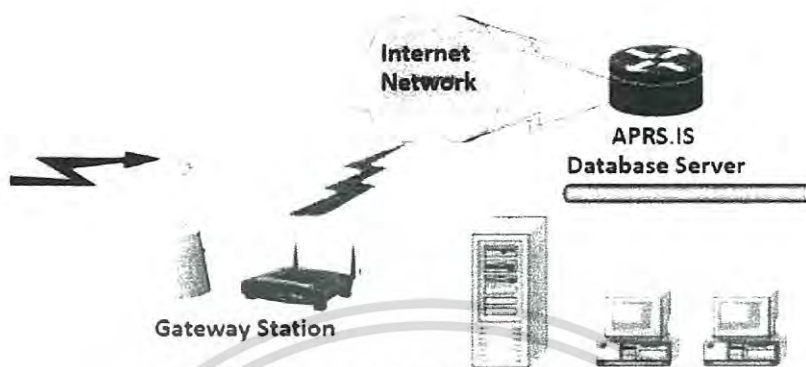
รูปที่ 4.19 รูปคลื่นสัญญาณที่วัดได้ในการป้อนเข้าโมดูล HX-1 [37]

4.3 ส่วนประกอบทางด้านระบบเครือข่ายฐานข้อมูล

หลักการโดยทั่วไปของการสื่อสารในการแจ้งตำแหน่งและข้อมูล การส่งข้อมูลจากสถานีเคลื่อนที่หรือ(tracker) เพื่อไปยังสถานีรับในแบบ Peer to Peer โดยหลักการ Line of Sight และ มีการช่วยจากสถานีที่มีความสูงเพื่อเป็นการส่งต่อสัญญาณเป็นทอดๆที่เรียกว่า Digipeater ก็จะครบวงจรของการรับและส่งโดยผู้ส่งและผู้รับได้โดยสมบูรณ์ แต่ข้อมูลที่ได้เป็นเพียงข้อมูลดิบ(Raw Data) ที่บางครั้งก็ไม่สามารถอ่านได้ตาม(Unreadable) และ ต้องการเอาข้อมูลพิกัดเหล่านั้นไปบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนำเสนอบนแผนที่เพื่อใช้งานการวิเคราะห์ต่างๆ หรือ บันทึกลงใน Database server เพื่อการทำบันทึกเอาไว้ในงานวิเคราะห์ข้อมูล ที่เรียกว่า APRS IS (Internet Service)



รูปที่ 4.20 ผังเส้นทางการเดินของข้อมูล APRS เข้า APRS-IS [48]

4.3.1 APRS Internet Service

APRS-IS เป็นเครือข่ายเฉพาะกิจที่มีแกนเซิร์ฟเวอร์หลักซึ่งแพ็คเก็ตทั้งหมดจะผ่านเข้ามา APRS-IS เริ่มต้นขึ้นในทศวรรษที่ 1990 โดย Steve Dimse เพื่อเป็นแนวทางในการแสดงกิจกรรม APRS ที่เกิดขึ้นกับความถี่วิทยุสมัครเล่นสำหรับผู้ใช้เบราว์เซอร์บนเว็บ เพื่อให้ผู้เขียนซอฟต์แวร์ของ APRS ไม่ต้องยุ่งยากไปเท่าที่จะเป็นไปได้ผู้ใช้จึงตัดสินใจที่จะใช้การเชื่อมต่อแบบ TCP ระดับต่ำที่เรียบง่ายและผ่านบรรทัดที่คั่นด้วย CR / LF โดยใช้รูปแบบจ่อภาพ TNC2 (SENDER> DEST, PATH:) เนื่องจากความทันสมัยในขณะนั้นจึงสนับสนุน (SENDER> PATH> DEST: ส่วนที่เหลือของแพ็คเก็ต) รูปแบบที่สองเกิดจากปัญหาซอฟต์แวร์บางอย่างและไม่แนะนำ javAPRSsrvr (ซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์หลักใน APRS-IS) แปลงเป็นรูปแบบ TNC2 เพื่อลดความซับซ้อนของการถอดรหัสโดยซอฟต์แวร์ APRS

ตั้งแต่เริ่มก่อตั้ง APRS-IS ได้เติบโตขึ้นไปกว่า 500 เซิร์ฟเวอร์และผู้ใช้มากกว่า 20,000 ราย ผู้ใช้มีตั้งแต่อุปกรณ์พกพาไปจนถึงจาวาแอปพลิเคชันไปจนถึงเว็บไซต์ที่ได้รับการสนับสนุนจากฐานข้อมูลที่ครอบคลุมไปจนถึงแอปพลิเคชันวิทยุสมัครเล่นเต็มรูปแบบ เพื่อสนับสนุนการเติบโตนี้และเพื่อให้ส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ของ APRS-IS ได้มีการนำมาใช้งานเป็นเวลาหลายปี ขณะนี้มีเซิร์ฟเวอร์หลัก 3 ถึง 4 เครื่องแยกโหนดการเชื่อมต่อทั่วสหรัฐอเมริกา อัลกอริธึม ๆ ถูกใช้เพื่อลดอุปและปรับปรุงความสามารถในการวินิจฉัย การกรองฝั่งเซิร์ฟเวอร์ได้ลดปริมาณแบนด์วิดและความต้องการทรัพยากร CPU ของไคลเอ็นต์ลงอย่างมาก

อธิบายข้างต้นเป็นส่วนของ Database Server แต่ยังมีส่วนที่ต้องอธิบายของส่วน Client service software มีนักพัฒนาระบบได้ช่วยทำให้เกิดความสะดวกหลังจากที่ข้อมูลได้เข้าไปใน APRS.IS แล้ว การดึงข้อมูลมาใช้แล้วแปลงข้อมูลเพื่อนำไปใช้ใน ในตัวอย่างของการนำไปใช้จาก Web Query Service <http://aprs.fi> มีการดึงข้อมูลที่มาจาก APRS.IS มาแสดงบน Google Map และยังมีการสร้าง tool ที่สามารถ export ข้อมูลออกไปในรูปแบบ KML หรือ KMZ เพื่อนำไปใช้กับการแสดงบนแผนที่ Google Earth

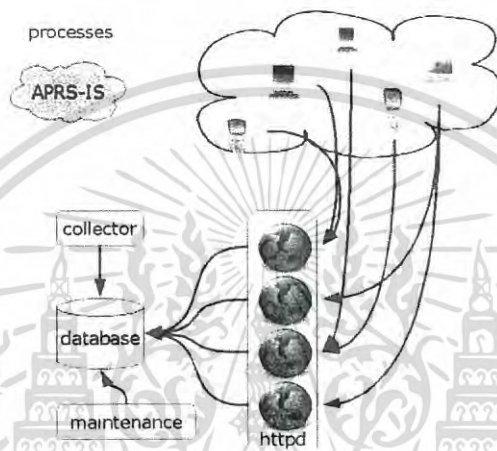
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 APRS.FI Web Query tools

องค์ประกอบหลัก

ซอฟต์แวร์ aprs.fi ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน

- กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งเชื่อมต่อกับ APRS-IS และเก็บข้อมูลตำแหน่งในฐานข้อมูล
- กระบวนการบำรุงรักษาซึ่งจะลบข้อมูลเก่าและทำงานบำรุงรักษาอื่น ๆ
- ส่วนติดต่อผู้ใช้เว็บซึ่งสร้างหน้าเว็บสำหรับผู้ใช้เว็บไซต์
- เครื่องมือแผนที่แบบเรียลไทม์



รูปที่ 4.21 องค์ประกอบของ APRS.FI service tools [50]

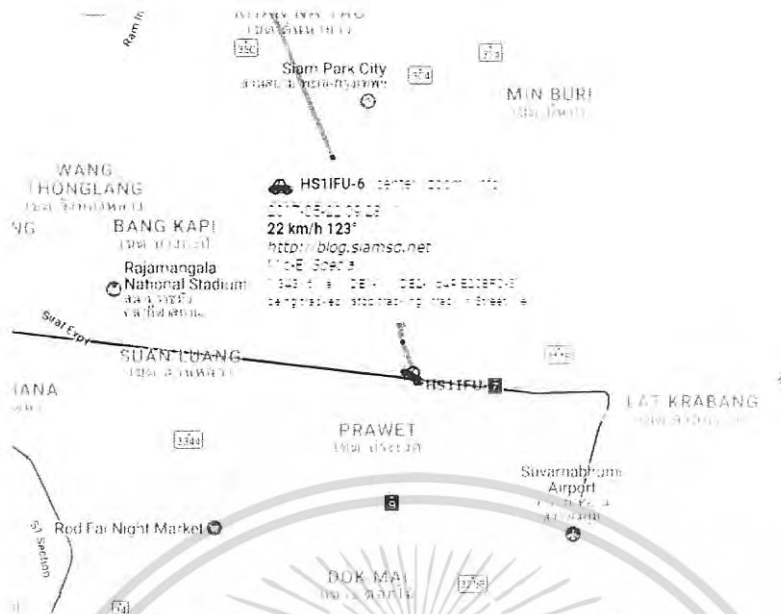
ตัวเก็บรวบรวมข้อมูลและกระบวนการบำรุงรักษาทำงานบนเซิร์ฟเวอร์หลักของ aprs.fi ส่วนติดต่อผู้ใช้เว็บจะทำงานบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ส่วนหน้าหลายเครื่องและเครื่องมือแผนที่แบบเรียลไทม์จะทำงานส่วนใหญ่ภายในเว็บเบราว์เซอร์ของผู้ใช้ แม้ว่าซอฟต์แวร์จะมีเสถียรภาพและยืดหยุ่นต่อปัญหาในสภาพแวดล้อมการทำงาน แต่ส่วนประกอบทั้งหมดจะทำงานภายใต้กระบวนการผู้ดูแลซึ่งจะดูแลการเริ่มต้นใหม่ในกรณีที่เกิดข้อผิดพลาดหรือมีข้อผิดพลาด อีก tool ที่ทางผู้พัฒนาได้ช่วยโดยออก API tool แต่จะไม่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้

- Query tool

การทำ WEB Interface Query ทำได้อย่างง่ายโดยการนำคำสั่ง ลงไปในส่วนของเวป HTML coding เพื่อนำไป แสดงหน้าเวปหรือใช้ทำ portal database display [50]

```
<p>
  <script type="text/javascript">
    he_track = "HS1IFU-6"; // track this callsign
  </script>
  <script type="text/javascript" src="http://aprs.fi/js/embed.js">
  </script>
</p>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างของ Web Query tools [50]

Callsign เป็นตัว ID ที่ใช้ระบุชื่อของสถานี APRS ไฟล์นี้จะมีการระบุโดยสัญญาณวิทยุจากรถสนามเรียกขาน หรือในบางครั้งก็มีการตั้งชื่อรหัสเรียกขานหรือ SSID ตามการเรียก เช่นรถบัส หรือ เรือ หรือ รถยนต์ หรือ UAV ซึ่งสามารถนำมาใช้และสามารถระบุพร้อมกับตัวระบุบริการชุดตัวเลือก (SSID) ระหว่างวันที่ 1 และ 15 ดังตัวอย่างเช่น การตั้งชื่อเรียกและมีการใส่ตัวเลขเช่น HS1IFU-6 ตามที่ใช้ในการทดลองนี้

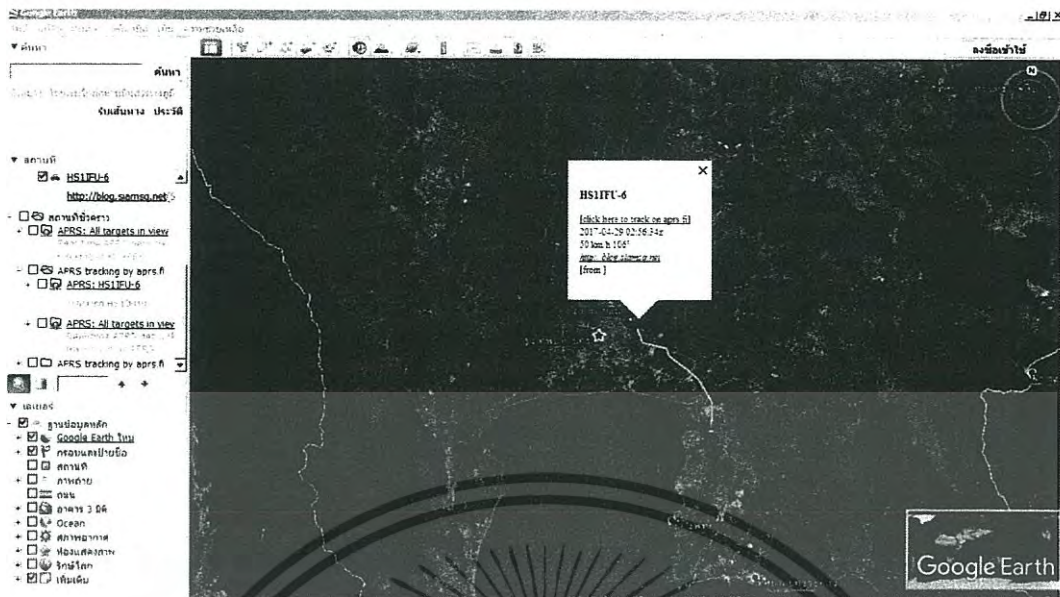
4.3.3 Exporting Tool



รูปที่ 4.23 การใช้ Export tool [50]

โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้จาก APRS.IS ไปแสดงบน Google Earth โดยไฟล์ที่ออกมาจะได้ในสกุล *.KML และ หากต้องการ Export ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ tool นี้ export ออกมาเป็นไฟล์สกุล *.KMZ โดยเมื่อเปิดใช้ Google Earth จะมีเมนูให้เลือกใช้ ให้สามารถนำไฟล์นี้ มาแสดงบน Google Earth โดยที่ โปรแกรม Google Earth มีความสามารถที่จะทำการวิเคราะห์แผนที่ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปซ้อนกันได้อีกหลาย Layer บน Google Earth ดังผลที่ได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงข้อมูลเมื่อนำไฟล์ .KMZ เข้าไปเปิดใน Google Earth [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

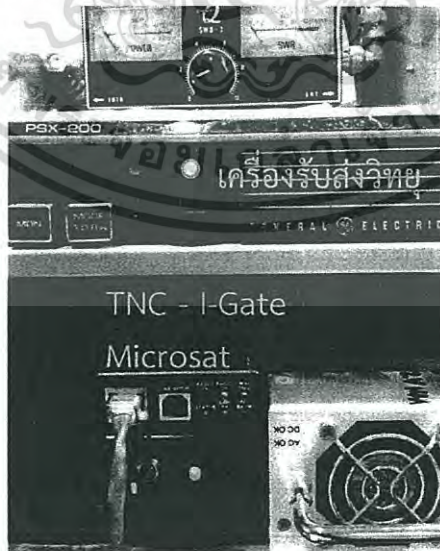
บทที่ 5

การทดลองการสื่อสารระยะไกล

วัตถุประสงค์หลักของการทดลองคือการหาระยะสูงสุดจากสถานีรับเครือข่าย APRS โดยใช้ อุปกรณ์ที่ออกแบบให้มีกำลังส่ง 0.020 watt และ ใช้กำลังส่ง 5 watts โดยการทดลองเคลื่อนที่ ออกไปตามเส้นทางปกติตามถนนที่สามารถเดินทางได้ว่ามีระยะทางไกลที่สุดที่สัญญาณไปถึง จากนั้น คำนวณโดยใช้สมการ Link Budget ในการพิสูจน์ว่ามีความสอดคล้องและยอมรับได้ไหมกับระยะทาง ที่ได้ทดลองตามหลักของการคำนวณเปรียบเทียบกับ Link margin และ การทดลองที่สองที่ทำ เกี่ยวกับระยะทางแบบ line of sight โดยการทดสอบและวัดประสิทธิภาพโดยเครื่องวัด Spectrum Analyzer ติดตั้งในระดับความสูงที่เท่ากันเพื่อวัดหาค่าสัญญาณตามระยะการส่งข้อมูลสูงสุด โดย ระยะทางที่วัดได้คือระยะทาง LOS ที่เกิดขึ้นจริง

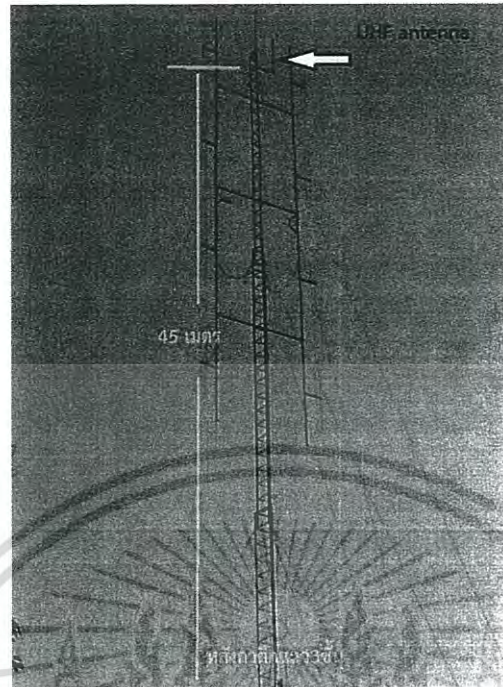
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ:

- ก. สถานี Ground station: เครื่องวิทยุ, GE PSX-200 ต่อด้วยกับ Microsat TNC Radio modem ตั้งในโหมด IGate และต่อกับ ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ประกอบไปด้วย รายละเอียดดังนี้
 - GE – PSX200 UHF Transceiver
 - $\frac{1}{4}$ λ Omni Antenna ความสูงรวมถึงปลายเสา 45 เมตรจากพื้นดินโดยทาวเวอร์ติดตั้งบนยอดตึก
 - IGate MicroSat WX3in1 [62]



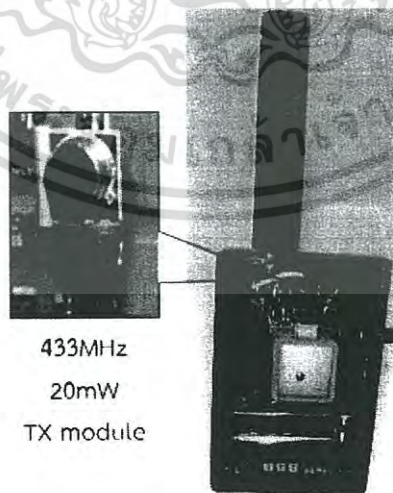
รูปที่ 5.1 สถานี Ground Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 สายอากาศที่ใช้บนความสูง 45 เมตร

- ข. Tracker #1: อุปกรณ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นให้ชื่อว่า "Tracker#1" ใช้เครื่องส่งวิทยุ โมดูลมาเป็นย่าน 430 MHz Module ปรับกำลังส่งที่ กำลังส่ง 13 dBm (20mW) บอก ตำแหน่งด้วย GPS Module เนื่องจาก VHF มีการรบกวนสูงจึงเลือกที่จะทดสอบในย่าน UHF นี้ ช่วยให้สามารถรับส่งข้อมูลในปริมาณน้อย ๆ ได้ทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณเพื่อให้มี ข้อผิดพลาดค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 5.3 Tracker #1 ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค. Tracker #2: โดยใช้KENWOOD TH-7D handheld radio กำลังส่ง 5-watt (37 dbm) ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์บอกตำแหน่งด้วย GPS Module โดยวิทยุมีความสามารถที่จะเลือกการส่งสัญญาณในย่าน UHF ตั้งความถี่ไว้ที่ 433 MHz โดยที่ตั้งให้มีความสามารถในการส่งข้อมูลตำแหน่งเช่นเดียวกับ Tracker#1 เพียงแต่ต้องการกำลังที่สูงกว่าในการทดลองครั้งที่2 ต่อจากการทดลอง Tracker#1 ที่มีกำลังส่ง 0.020 watt



รูปที่ 5.4 เครื่องวิทยุ Kenwood TH-D7 (TNC built-in) ต่อกับ GPS โมดูล

5.1 การทดลองวัดระยะทางที่ไกลที่สุด

ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณสมการ Link Budget

- ในภาคสนามจะมีการทดลองทั้งหมด 3 แบบ
 - a) ทดลองระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่าง Tracker#1 (20mW)กับ Ground Station
 - b) ทดลองระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่าง Tracker#2 (5 Watts) กับ Ground Station
 - c) ทดลองระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่าง Tracker#1 กับ Spectrum Analyzer station แบบ Line of Sight ที่ระดับความสูงของสายอากาศที่เท่ากัน
- คำนวณจากสมการ Link Budget เพื่อทำ Validation จากค่า Link Margin ที่ยอมรับได้จากระยะทางที่ได้ทดลองภาคสนามของแต่ละอุปกรณ์ Tracker# และ Tracker #2

5.1.1 การทดลองหาระยะทางไกลที่สุดของTracker # 1กับสถานีรับ Ground Station

ขั้นตอนการทดลอง: วัตถุประสงค์เพื่อวัดระยะทางสูงสุดที่สามารถส่งข้อมูลจากเครื่องส่งสัญญาณ Tracker ถึงสถานีภาคพื้นดิน มีความสูง 45 เมตร เพื่อให้สามารถรับสัญญาณ Line of Sight ได้ เครื่องส่งสัญญาณถูกวางไว้บนหลังคารดและรถได้รับมอบหมายให้ขับไปตามถนนหลักและมุ่งหน้าออกจากสถานีภาคพื้นดินถนนรามอินทราออกไปทางถนนวงแหวนรอบนอกจนกระทั่งสัญญาณไม่สามารถรับได้โดยมีการสื่อสารกับคนขับรถที่ทดสอบทางโทรศัพท์มือถือ แสดงเส้นทางและการรับสัญญาณมีช่วงที่ขาดหายเนื่องจากโดนตึกอาคารสูงประเภทคอนโดมิเนียมบังสัญญาณแต่เมื่อออกถนนวงแหวนรอบนอกจึงสามารถรับสัญญาณต่อไปจนสุดในบริเวณสุดท้ายที่ไม่มีสัญญาณส่งกลับมาได้ โดยสัญญาณจะรับจากวิทยุที่ต่อกับ IGATE และผ่านเข้าไปบันทึกข้อมูลที่ Database Server หรือ APRS.IS โดยระยะทางที่ไกลที่สุดหลังจากที่สถานีรับไม่ได้ยินเสียงสัญญาณที่มาจาก Tracker #1 ที่วิ่งไกลออกไป จะแจ้งให้คนขับรถหยุดรถโดยสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง: โดยการบันทึกระยะมากที่สุดที่รับสัญญาณและข้อมูลที่ส่งเข้า APRS.IS ทำให้ได้ระยะทาง 18 Km. โดยที่ตั้งกำลังส่งที่ออกจากเครื่องส่งเอาไว้ที่ 0.020 Watt. ในการเดินทางก็ยังพบจุดบอดของสัญญาณเป็นช่วงๆเมื่อวิ่งผ่านตึกสูงหรือสะพาน



ด้านล่างเป็นข้อมูลดิบบางส่วนตำแหน่ง APRS ที่ได้รับของข้อมูลจริงที่เก็บจากการทดลองนี้

```

HS1IFU-6>1S4XY8,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IBVmRE>/
HS1IFU-6>1S4YP5,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IBbmKE>/I
HS1IFU-6>1S4YQ7,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IB\E>/
HS1IFU-6>1S4YS4,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IBPI72>/ht
HS1IFU-6>1S4YS3,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IBRli0>/
HS1IFU-6>1S4YS6,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IBSmK4>/
HS1IFU-6>1S4YV9,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IB[m*e>/
HS1IFU-6>1S4YX4,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2: `IC<0x1c>I
    
```

รูปที่ 5.6 ข้อมูลดิบที่บันทึกเข้า APRS.IS ของ Tracker#1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านล่างนี้เป็นการเปรียบเทียบช่วงที่ประสบความสำเร็จในระหว่างการทดสอบนี้กับค่าทางทฤษฎีและข้อสรุปของเราเกี่ยวกับเมตริกการทดสอบแบบรวม Link Budget สำหรับการ link ที่ตั้งขึ้นสามารถกำหนดโดยสูตรของ Link Budget [28]

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5.1)$$

โดยกำหนดให้:

P_{RX} = received power (dBm)

P_{TX} = transmitter output power (dBm)

G_{TX} = transmitter antenna gain (dBi)

L_{TX} = transmitter losses (coax, connectors) (dB)

L_{FS} = free space loss or path loss (dB)

L_M = miscellaneous losses (polarization mismatch, other losses) (dB)

G_{RX} = receiver antenna gain (dBi)

L_{RX} = receiver losses (coax, connectors) (dB)

ค่าที่มาจาก การทดลองนี้

P_{TX} = transmitter output power = 0.02 Watts (or 13 dBm)

G_{TX} = transmitter antenna gain = 2 dBi

L_{TX} = transmitter losses = 1 dBⁱ

L_{FS} = free space loss or path loss = 110 dBⁱⁱ

L_M = miscellaneous losses = 3dBⁱⁱⁱ

G_{RX} = receiver antenna gain = 0 dBi (whip antenna)

L_{RX} = receiver losses = 3 dB^{iv}

ข้างล่างนี้เป็นที่มาของการคำนวณหาตัวแปรอีก 4 ตัว (L_{TX} L_{FS} L_M L_{RX})

ⁱ L_{TX} = transmitter losses เราใช้ 2 SMA connectors ที่มีค่า 0.5 dB loss ต่อ คอนเน็คเตอร์ ซึ่งเท่ากับ 1 dB, สำหรับการต่อจากสายอากาศเข้าเครื่องส่ง

ⁱⁱ L_{FS} = free space loss or path loss สมการของ free-space loss คือ

$$L_{FS} = (4\pi d \div \lambda)^2 = (4\pi df \div c)^2 \quad (5.2)$$

โดย

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณ (in meters),

f คือ ความถี่ของสัญญาณ (in hertz),

d คือ ระยะทางของเครื่องส่งถึงเครื่องรับ (in meters),

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ, 3×10^8 meters per second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โดยที่ สมการนี้จะมีความเที่ยงตรงเฉพาะในการคำนวณแบบ Far Field ไม่ได้เหมาะกับการคำนวณในการคำนวณที่เครื่องส่งอยู่ใกล้

อธิบาย Free Space Loss ใน dB จะได้

$$\begin{aligned} L_{FS} \text{ (dB)} &= 10 \log_{10} [(4\pi df \div c)^2] = 20 \log_{10}(4\pi df \div c) \\ &= 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55 \end{aligned} \quad (5.3)$$

ในการทดลองนี้ สามารถสื่อสารกันได้ที่ระยะทาง 18 Km (18,000เมตร) และ ความถี่ที่ใช้ทดลอง 430 Mhz (430×10^6 Hz)

สาเหตุที่ต้องใช้ 430 MHz Module เนื่องจากในย่านนี้จะไม่มีคนใช้ APRS ในย่านนี้ซึ่งจะทำให้มีการทดลองที่ค่อนข้างสะดวกปราศจากการรบกวนจากสถานีอื่น

แทนค่าลงไปในสมการ

$$\begin{aligned} L_{FS} \text{ (dB)} &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) - 147.55 = \\ &= 20 \log_{10} (18000) + 20 \log_{10} (430 \times 10^6) - 147.55 = 85 + 172.67 - 147.55 \\ &= 110 \text{ dB} \end{aligned} \quad (5.4)$$

iii $L_M = \text{miscellaneous losses}$ เมื่อเสาอากาศรับและส่งสัญญาณมีทั้งโพลาริเซชันเชิงเส้นและไม่สอดคล้องกันอย่างเหมาะสมการสูญเสียที่ไม่สอดคล้องของโพลาริเซชันจะเกิดขึ้นซึ่งสามารถกำหนดได้โดย [29]

$$\text{Polarization Mismatch Loss (dB)} = 20 \log (\cos \theta) \quad (5.5)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่างสองเสาอากาศ สำหรับมุมแนวมุม 15 องศาการสูญเสียคือ 0.3 dB สำหรับ 30° เป็น 1.25 dB; สำหรับ 45° , 3 dB และสำหรับ 90° จะพบว่า Infinite Loss โดยที่ความเร็วของการที่รถวิ่งไปในช่วง 10 นี้อต(19 – 20 Km/h) ถึง 15 นี้อตต่อชั่วโมง (≈ 30 Km/h) ส่งผลให้เกิดแรงสั่นสะเทือนของโพลที่มึขนาดเฉลี่ย $\approx 45^\circ$ ตามสูตร Polarization Mismatch Loss ทำให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกันของโพลาริเซชันที่ 3 dB

iv $L_{RX} = \text{receiver losses}$ เราใช้สายโคแอกเซียลบาง ๆ RG-174 จำนวน 4 ฟุตและมีการสูญเสีย 25 dB ต่อ 100 ฟุตซึ่งเท่ากับ 1dB และ 4 ขั้วต่อ SMA ที่มีการสูญเสีย 0.5 dB ต่อขั้วต่อที่เท่ากับ 2 dB ดังนั้นเราจึงมีการสูญเสียของเครื่องส่งสัญญาณทั้งหมด 3 dB.

แทนค่าที่ได้ทั้งหมดด้านบนด้วยสูตร Link Budget

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{RX} = 13 + 2 - 1 - 110 - 3 + 0 - 3 = -102 \text{ dB} \quad (5.7)$$

โดยที่เครื่องวิทยุ GE-PSX200 ภาครับมีค่าความไว อยู่ที่ (P_{RS}) = 0.18 μV SINAD (Signal plus Noise plus Distortion to Noise plus Distortion ratio)

แปลงค่านี้เป็น $\text{dB}\mu\text{V}$ จะได้

$$P_{RS} = 20 \log_{10}(0.18) = -15 \text{ dB}\mu\text{V} \quad (5.8)$$

เราแปลงจาก $\text{dB}\mu\text{V}$ ไปเป็น dBm ด้วยอิมพีแดนซ์ 50 Ω โดยลบด้วย 107 dB

$$P_{RS} = -14.9 - 107 = -122 \text{ dBm} \quad (5.9)$$

การรับสัญญาณจะเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อ $P_{RX} > P_{RS}$ สำหรับการทดลองเราได้

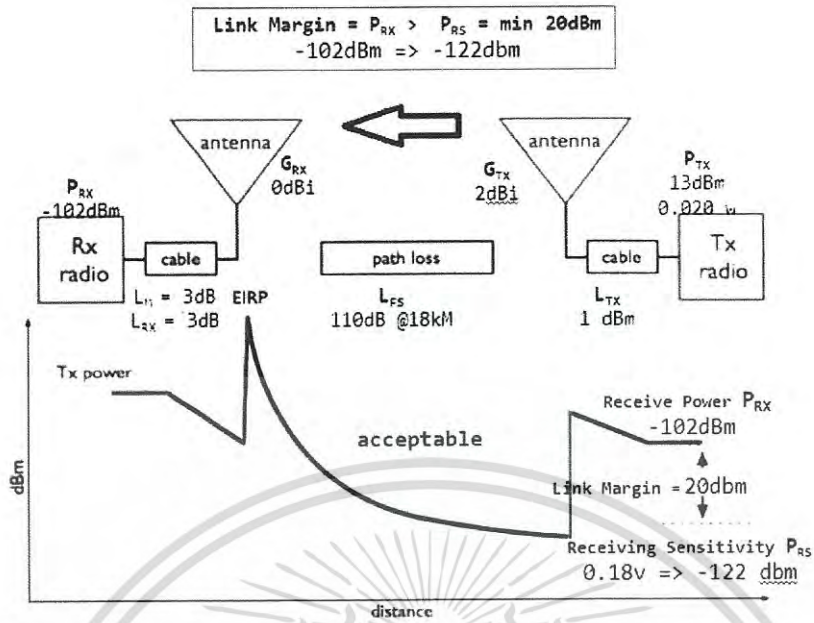
$$P_{RX} = -102 \text{ dBm} > P_{RS} = -122 \text{ dBm} \quad (5.10)$$

ดังนั้นการรับสัญญาณน่าเชื่อถือได้และมีค่า margin

$$-122 \text{ dBm} - (-102 \text{ dBm}) = 20 \text{ dB} \quad (5.11)$$

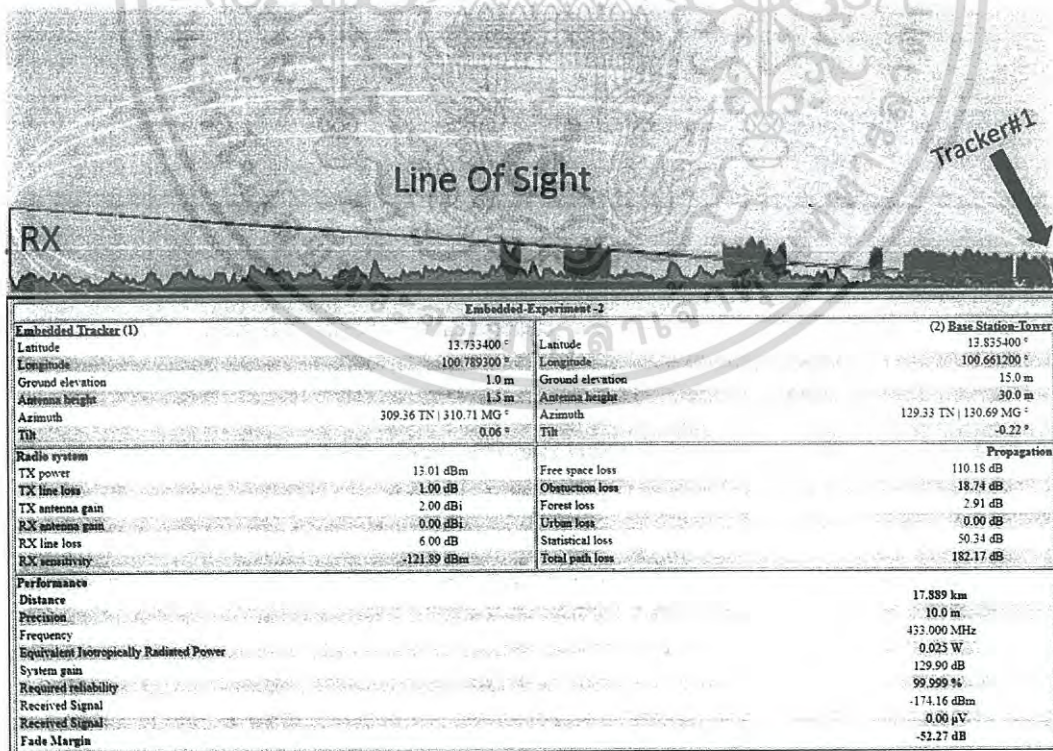
Assumed 20 dB เป็นค่า minimum ตามที่ที่จำเป็นสำหรับที่เชื่อถือได้เราจะสรุปได้ว่าช่วงที่ได้รับ (18 กิโลเมตร) เป็นช่วงสูงสุดสำหรับเครื่องส่งสัญญาณของ Tracker #1 เป็นระยะสูงสุดที่ยอมรับได้ตามการคำนวณ Link Budget และ Link Margin $P_{RX} > P_{RS}$ ต้องมีค่าที่ minimum อย่างน้อย 20 dBm

สรุปภาพรวมทั้งหมดของการคำนวณ Link Margin ได้ตามรูป 5.7 ดังนี้



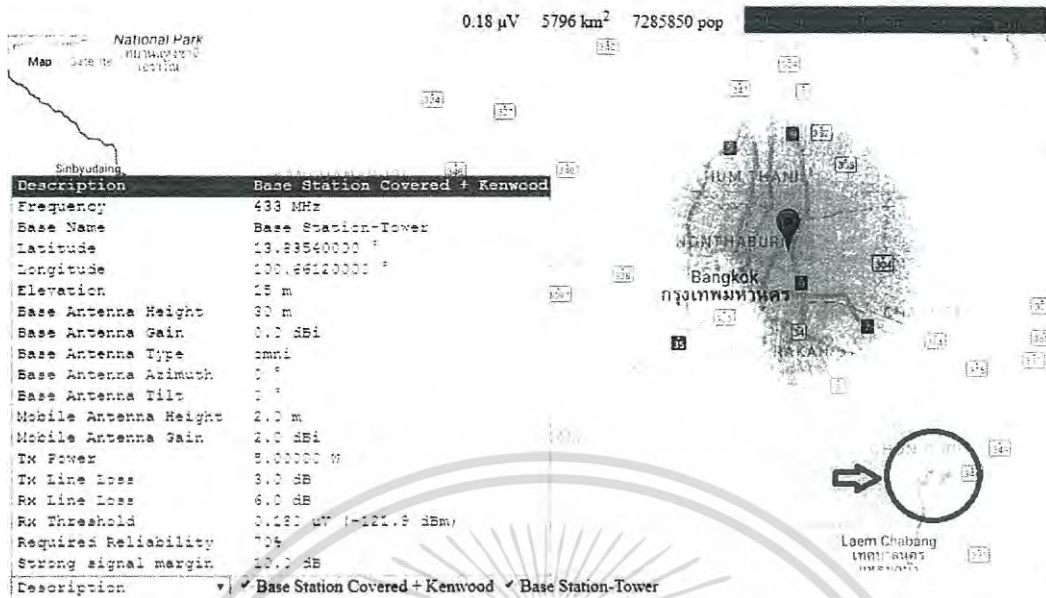
รูปที่ 5.7 แสดงค่าต่างๆของ Link Budget และ Link Margin ของ Tracker#1

จากนั้นทดลองในการป้อนค่าที่ต้องการเข้าโปรแกรม Radio Mobile สำหรับการคำนวณเพื่อทำการ Validation เทียบกับที่คำนวณที่ผ่านมาด้านบนและสามารถคำนวณหาพื้นที่ Range Coverage



รูปที่ 5.8 แสดงค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Radio Mobile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



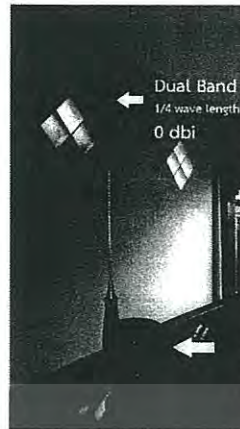
รูปที่ 5.9 โปรแกรมคำนวณ Range Coverage ที่ตรงกับการทดลอง กับ การสื่อสาร Tracker#1

5.1.2 Tracker # 2 Kenwood Th-D7+GPS module

ขั้นตอนการทดลอง: จุดประสงค์ของการทดสอบครั้งที่สองคือการวัดระยะทางสูงสุดที่จะสามารถตรวจเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางจากคุณลักษณะภูมิประเทศ เราติดตั้ง Tracker # 2 (KENWOOD TH-7D ขนาด 5 วัตต์ ต่อ กับเครื่องรับสัญญาณ GPS) บนรถ และ รถให้ขับไปตามถนนวงแหวนรอบนอกจากถนนรามอินทราไปทางมอเตอร์เวย์สายที่ 9 โดยมีสถานีรับสัญญาณ (วิทยุ GE-PSX200 ที่เชื่อมต่อกับ IGATE ต่อกับ Internet Network) อยู่ภายในอาคารชั้นเดียวและภาครับสัญญาณโดยการใช้เสาอากาศที่มีแกนขยาย โดยรับข้อมูลทั้งหมดที่ส่งกลับไปยังสถานีรับที่ตั้งถนนถนนรามอินทรา มีความสูงรวมของสายอากาศ 45 เมตร อัตราความถี่ในการส่งผ่านได้รับการตั้งค่าทุกๆ 12 วินาที (อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดที่วิทยุ KENWOOD APRS ตั้งได้) โดยการสื่อสารกับคนขับรถผ่านโทรศัพท์มือถือ

***Note. การทดลองนี้ต่างจากการทดลอง Tracker#1 เพียงกำลังส่งที่ใช้ 5 watts แทน 0.20 watts จากการทดลองครั้งแรกในขณะที่ฟังก์ชันอื่นเหมือนกันทุกประการ โดยการทดลองนี้ ต้องการพิสูจน์ว่ากำลังส่งเป็นตัวแปรที่สามารถทำให้ระยะทางการสื่อสารได้ไกลมากขึ้น

ผลการทดลอง: ในรูปที่ 5.11 โดยรวมของการจัดการเดินทางของรถบนถนนวงแหวนสาย 7 มุ่งหน้าไป มอเตอร์เวย์สาย 9 ได้ระยะถึง 63.2 Km จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่ทดสอบ



รูปที่ 5.10 สายอากาศ วิทยุ และ สายอากาศ GPS ติดตั้งบนหลังคารถที่ทดสอบ



รูปที่ 5.11 แสดงถึงการส่งพิกัดตามเส้นทางที่รถทดลองได้เดินทาง

การส่งสัญญาณทั้งหมดได้รับจากสถานีภาคพื้นดินยกเว้นส่วนที่แคบมากซึ่งเกิดบดบังของสัญญาณและการรบกวนจากสายไฟแรงดันสูงไปตามทางหลวงและสะพานข้ามแยกและมุมบางมุมที่บังโดยคอนโดสูงทำให้เกิดจุดอับสัญญาณ

ด้านล่างเป็นข้อมูลดิบบางส่วนตำแหน่ง APRS ที่ได้รับในช่วงนั้นของข้อมูลจริงที่เก็บจากการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

HS1IFU-6>1S5VR4,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l=Kø4c>/
HS1IFU-6>1S5VQ5,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l=SoJ >/
HS1IFU-6>1S5UY5,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l=Il^≠>/
HS1IFU-6>1S5UW3,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l=;p|/>/
HS1IFU-6>1S5UU0,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l=%q^0
HS1IFU-6>1S5UR5,WIDE1-1,WIDE2-1,qAR,E21EIC-2:'l<vqT,>/

```

รูปที่ 5.12 ข้อมูลดิบบางส่วนที่รับได้จาก Tracker#2

ในเส้นทางการส่งสัญญาณของข้อมูลด้านบน ด้านล่างนี้เป็นการเปรียบเทียบช่วงที่ประสบความสำเร็จในระหว่างการทดสอบนี้กับค่าทางทฤษฎีและข้อสรุปของเราเกี่ยวกับเมตริกการทดสอบแบบรวม Link Budget สำหรับการ link ที่ตั้งขึ้นสามารถกำหนดโดยสูตรของ Link Budget [28] (Telecommunications “Link budget” http://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget)

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5.12)$$

โดยกำหนดให้:

P_{RX} = received power (dBm)

P_{TX} = transmitter output power (dBm)

G_{TX} = transmitter antenna gain (dBi)

L_{TX} = transmitter losses (coax, connectors) (dB)

L_{FS} = free space loss or path loss (dB)

L_M = miscellaneous losses (polarization mismatch, other losses) (dB)

G_{RX} = receiver antenna gain (dBi)

L_{RX} = receiver losses (coax, connectors) (dB)

ค่าที่มาจากการทดลองนี้

P_{TX} = transmitter output power = 5 Watts (or 37 dBm)

G_{TX} = transmitter antenna gain = 3 dBi

L_{TX} = transmitter losses = 3.2 dBⁱ

L_{FS} = free space loss or path loss = 121 dBⁱⁱ

L_M = miscellaneous losses = 3dBⁱⁱⁱ

G_{RX} = receiver antenna gain = 0 dBi (whip antenna)

L_{RX} = receiver losses = 3 dB^{iv}

ข้างล่างนี้เป็นที่มาของการคำนวณหาตัวแปรอีก 4 ตัว (L_{TX} , L_{FS} , L_M , L_{RX})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i L_{TX} = transmitter losses เราใช้สายคู่สาย RG-58 U / A ขนาด 12 ฟุตและมีความสูญเสียในสายนำสัญญาณ 10.4 dB ต่อ 100 ฟุตซึ่งเท่ากับ 1.2 dB และ 4 SMA connector และ 0.5 dB loss ต่อ connector เท่ากับ 2 dB ดังนั้นเราจึงสูญเสียเครื่องส่งสัญญาณทั้งหมด 3.2 dB

ii L_{FS} = free space loss or path loss สมการเพื่อคำนวณหาค่า free-space loss ดังนี้

$$L_{FS} = (4\pi d \div \lambda)^2 = (4\pi d f \div c)^2 \quad (5.13)$$

กำหนดให้

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณ (in meters),

f คือ ความถี่ของสัญญาณ (in hertz),

d คือ ระยะทางของเครื่องส่งถึงเครื่องรับ (in meters),

c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ , 3×10^8 meters per second.

โดยที่ สมการนี้จะมีค่าที่เที่ยงตรงก็ต่อเมื่อใช้ในการคำนวณแบบ Far Field ไม่ได้เหมาะกับการคำนวณในการคำนวณที่เครื่องส่งอยู่ใกล้

อธิบาย Free Space Loss ใน dB จะได้

$$\begin{aligned} L_{FS} \text{ (dB)} &= 10 \log_{10} [(4\pi d f \div c)^2] = 20 \log_{10} (4\pi d f \div c) \\ &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) + 20 \log_{10} (4\pi \div c) = \\ &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) - 147.55 \end{aligned} \quad (5.14)$$

ในการทดลองนี้ สามารถสื่อสารกันได้ที่ระยะทาง 63.2Km (63,200เมตร) และ ความถี่ที่ใช้ทดลอง 430 Mhz (430×10^6 Hz)

**** สาเหตุที่ต้องใช้ 430 MHz Module เนื่องจากในย่านนี้จะไม่มีคนใช้ APRS ในย่านนี้ซึ่งจะทำให้มีการทดลองที่ค่อนข้างสะดวกปราศจากการรบกวนจากสถานีอื่น

แทนค่าลงไปในสมการ

$$\begin{aligned} L_{FS} \text{ (dB)} &= 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) - 147.55 \\ L_{FS} \text{ (dB)} &= 20 \log_{10} (63,200) + 20 \log_{10} (430 \times 10^6) - 147.55 \\ L_{FS} &= 96 + 172.67 - 147.55 \approx \mathbf{121 \text{ dB}} \end{aligned} \quad (5.15)$$

iii L_M = miscellaneous losses เมื่อเสาอากาศรับและส่งสัญญาณมีทั้งโพลาริเซชันเชิงเส้นและไม่สอดคล้องกันอย่างเหมาะสมการสูญเสียที่ไม่สอดคล้องของโพลาริเซชันจะเกิดขึ้นซึ่งสามารถกำหนดได้ โดย [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Polarization Mismatch Loss (dB)} = 20 \log (\cos \theta) \quad (5.16)$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่างสองเสาอากาศ สำหรับมุมแนวมุม 15 องศาการสูญเสียคือ 0.3 dB สำหรับ 30° เป็น 1.25 dB; สำหรับ 45°, 3 dB และ สำหรับ 90° จะพบว่ามี Infinite Loss โดยที่ความเร็วของการที่รถวิ่งไปในช่วง (19 – 20 Km/h) ถึง (≈ 30 Km/h) ส่งผลให้เกิดแรงสั่นสะเทือนของโพลที่มีขนาดเฉลี่ย $\approx 45^\circ$ ตามสูตร Polarization Mismatch Loss ทำให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกันของโพลาริซที่ 3 dB

iv L_{RX} = receiver losses เราใช้สายโคแอกเซียลบาง ๆ RG-174 จำนวน 4 ฟุตและมีการสูญเสีย 25 dB ต่อ 100 ฟุตซึ่งเท่ากับ 1dB และ 4 ขั้วต่อ SMA ที่มีการสูญเสีย 0.5 dB ต่อขั้วต่อที่เท่ากับ 2 dB ดังนั้นเราจึงมีการสูญเสียของเครื่องส่งสัญญาณทั้งหมด 3 dB.

แทนค่าทั้งหมดด้านบนด้วยสูตร Link Budget

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5.17)$$

$$P_{RX} = 37 + 3 - 3.2 - 121 - 3 + 0 - 3 = -90 \text{ dB} \quad (5.18)$$

โดยที่เครื่องวิทยุ GE-PSX200 ภาครับมีค่าความไว อยู่ที่ (P_{RS}) = 0.18 μ V สำหรับ 12 dB SINAD (Signal plus Noise plus Distortion to Noise plus Distortion ratio)

แปลงค่านี้เป็น dB μ V จะได้

$$P_{RS} = 20 \log_{10}(0.18) = -15 \text{ dB}\mu\text{V} \quad (5.19)$$

เราแปลงจาก dB μ V ไปเป็น dBm ด้วยอิมพีแดนซ์ 50 Ω โดยลบด้วย 107 dB

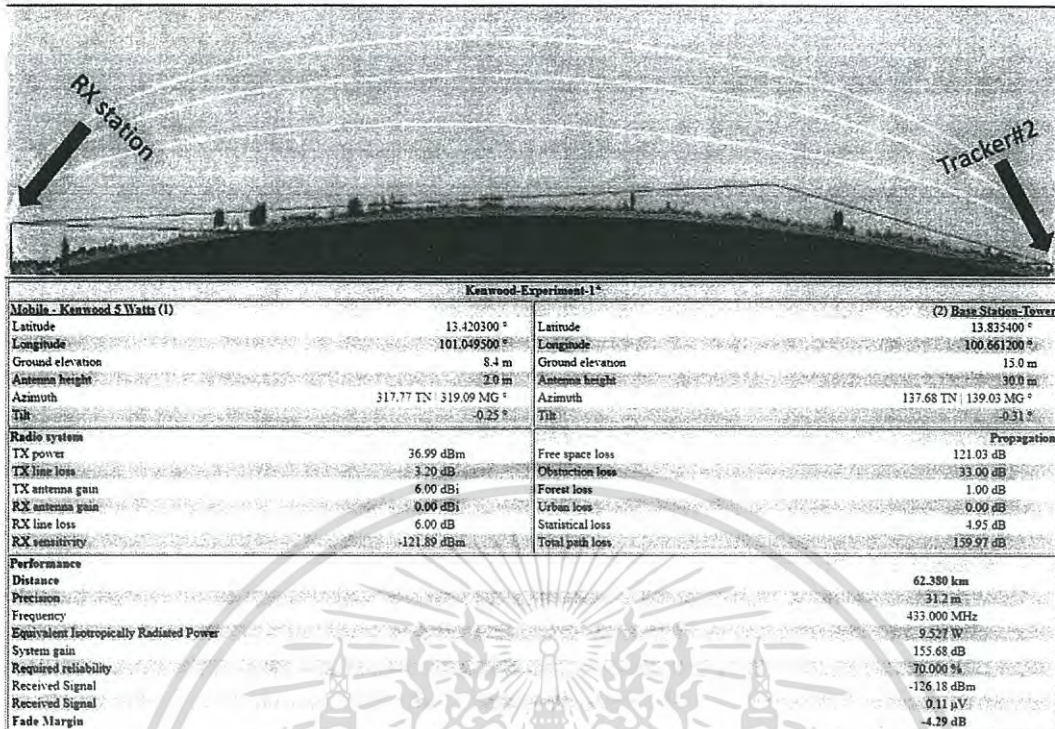
$$P_{RS} = -14.9 - 107 = -122 \text{ dBm} \quad (5.20)$$

ค่าระดับน้อยที่สุดที่รับได้ด้วย 12 dB SINAD ด้วยกับค่า Noise -138 dBm สำหรับแบนด์วิด 3400 HZ (1200hz+2200Hz) ที่ 1200 bps ดังนั้น -138 dBm < -122 dBm ที่ 12 SINAD ขีดจำกัดสำหรับ ความไว P_{RX} การรับสัญญาณจะน่าเชื่อถือได้เมื่อ $P_{RX} > P_{RS}$ สำหรับการทดลองนี้

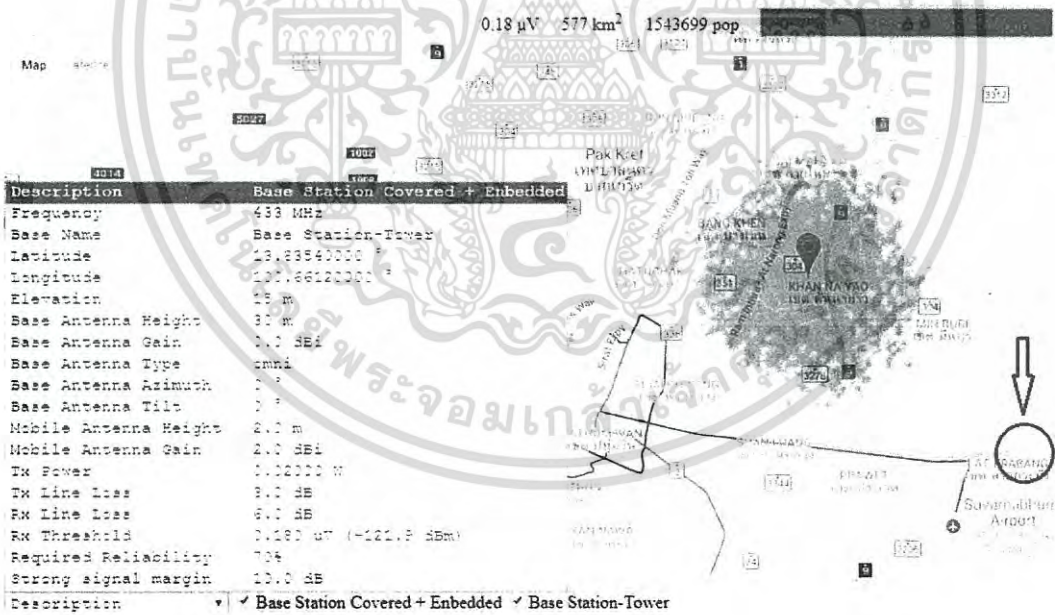
$$P_{RX} = -90 \text{ dBm} > P_{RS} = -122 \text{ dBm} \quad (5.21)$$

ดังนั้นการรับสัญญาณนี้น่าเชื่อถือได้และมี Link Margin อยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 แสดงค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม Radio Mobile กับ Tracker#2



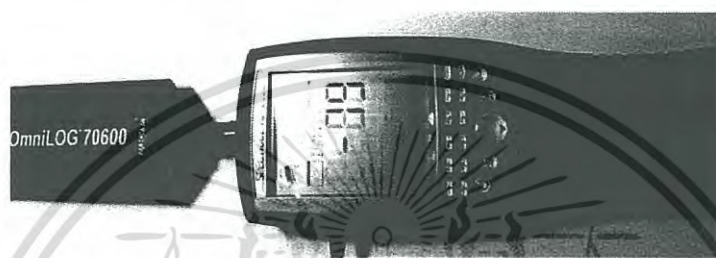
รูปที่ 5.15 โปรแกรมคำนวณ Range Coverage ที่ตรงกับกรทดลอง กับ Tracker #2

5.2 การวัดระยะทางที่ไกลจากเครื่องวัดสเปกตรัม

ในระหว่างการทดลองนี้ ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (10MHz - 6GHz) ใช้เพื่อวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับของเครื่อง XOX-Tracker แสดงในรูปที่ 5.10 ถึง 5.14 แสดงสัญญาณได้ลดลงแปรตามด้วยระยะทางและเพราะว่าเราไม่มี Bandpass filter จึงไม่สามารถแยกแยะระหว่างสัญญาณ

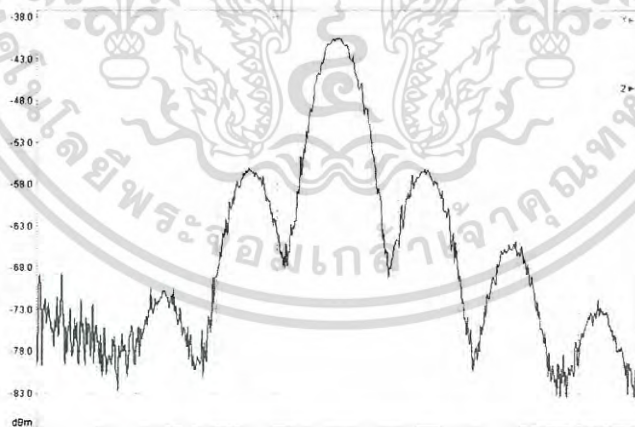
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริงและสัญญาณรบกวนซึ่งอาจจะมาจากอุปกรณ์อื่นที่กระจายรอบข้างที่ระยะทาง 400 เมตร โดยใช้กำลังส่งที่ตั้งเอาไว้วันน้อยแค่ 20-mW อย่างไรก็ตามเช่นเดียวกับในกรณีของการทดสอบประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องส่งสัญญาณนี้เราสามารถรับและถอดข้อมูลตำแหน่งได้กว่า 400 เมตร เพราะว่ามี การส่งผ่านสถานี Digipeater ที่ตั้งเอาไว้ แต่นี้เป็นเพราะการรับส่งแบบ line of Sight (LOS) แนวราบที่ ไม่มี ความสูงแต่เพราะว่า รูปแบบสัญญาณการมอดูเลต AFSK ที่ใช้โดยตัวส่งข้อมูลเฉพาะนี้และการบีบอัดสัญญาณของ GPS (NMEA format) รวมกันในรูปแบบ APRS โพรโตคอล โดยการบีบอัดนี้ช่วยให้สามารถรับส่งข้อมูลในปริมาณน้อย ๆ ได้ทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณเพื่อทำให้มีข้อผิดพลาดค่อนข้างต่ำ เพราะว่ามีจำนวนข้อมูลที่ออกมาของ APRS นั้นสั้นมาก ๆ



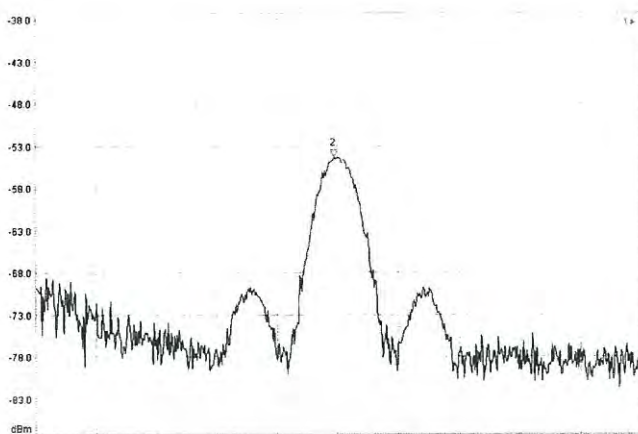
รูปที่ 5.16 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (10MHz - 6GHz)

เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมใช้คือ: Spectran HF-6050 V4 ดังรูป 5.9 โดยที่ Noise Floor มีค่ามากกว่า -80 dBm ดังนั้นเสียงรบกวนในระบบการวัดจึงถูกวัดจากระยะห่างไกล สายอากาศเป็นสายอากาศ Ultra Broadband Antenna OmniLOG มี Peak Gain: 6.5dBi และช่วงรับสัญญาณถูกตั้งไว้ที่ 420-440 MHz ข้อมูลที่รวบรวมได้แสดงในรูปที่ 5.11-5.15



รูปที่ 5.17 การวัดที่ระยะ 0 เมตร อ่านได้ -34dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 การวัดที่ระยะ 100 เมตร อ่านได้ -54.2 dBm

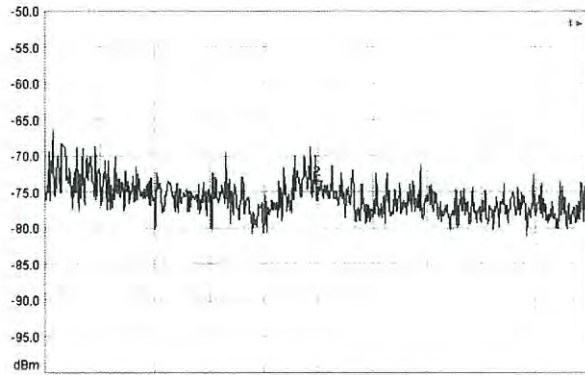


รูปที่ 5.19 การวัดที่ระยะ 200 เมตร อ่านได้ -68.14 dBm



รูปที่ 5.20 การวัดที่ระยะ 300 เมตร อ่านได้ -73.12 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 การวัดที่ระยะ 400 เมตร อ่านได้ -75 dBm (Signal = Noise Floor มีค่ามากกว่า -80 dBm)

5.3 สรุปผลการทดลองท้ายบท (Summary)

การทดลองในบทนี้ ต้องการทดลองจริงเพื่อเทียบกับการคำนวณซึ่งการทดลองอาจจะได้ผลไม่ตรงตามที่คำนวณ โดยที่มีปัจจัยแวดล้อมมาเกี่ยวข้อง โดยที่เราใช้สถานีรับที่ความสูง 45 เมตร มาเพื่อเพิ่มระยะที่สูงของการติดต่อแบบ Line of Sight (LOS) โดยที่ความถี่ทดลอง 430 MHz สรุปผลดังนี้

- a) กำลังส่ง .020 watt ระยะการรับส่งสัญญาณได้สูงสุด = 18 Km (วงจรถ่ายที่สร้างขึ้น)
- b) กำลังส่ง 5 watts ระยะการรับส่งสัญญาณได้สูงสุด = 63 Km (Built-in TNC Transceiver)

โดยมีการทดลองหาความเข้มของสัญญาณในระดับสายตาเดียวกันความสูงเท่ากันของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นที่ 0.020 watt โดยใช้ Spectrum Analyzer สามารถวัดได้ไกลถึง 400 เมตร การทดลองที่ได้ทำขึ้นนี้เป็นการทดลองแบบ peer to peer หรือ จุด ถึง จุด เท่านั้นโดยอุปกรณ์เช่น Wifi, 3G data network ไม่สามารถทำได้ในกรณีที่ไม่มี Infrastructure เช่นนี้

บทที่ 6

ผลงานการวิจัยที่ได้พัฒนาไปในงานจริง

ในบทนี้จะอภิปรายงานการทดลองที่ผ่านมาของงานวิจัยการออกแบบเพื่อนำ APRS มาพัฒนาจากการทดลองที่ผ่านมาและเป็นงานวิจัยเพื่อเป็นงานวิจัยพัฒนา(Implementation research) ต่อยอดใช้งานจริงซึ่งเป็นบทความทางวิชาการได้อีกถึง 4 Papers ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ Journal และอยู่ใน Proceeding จากการประชุมทางวิชาการระดับชาติและนานาชาติดังนี้

1. การออกแบบชุด Sensor Node เพื่อทดลองการส่ง ข้อมูลใน Weather format ให้กับ APRS โปรโตคอลที่มีกำลังส่ง 300 mW *(ตีพิมพ์ใน Journal IJSCAI) [46]
2. การออกแบบที่สร้างเครื่องมือวัดกัมมันตภาพรังสี (Geiger Counter) แล้วเอาข้อมูลการวัด มาผนวกกับNMEA ของ GPS เพื่อแปลงเป็น APRS โดยติดตั้งอยู่บนหุ่นยนต์อัตโนมัติที่สำรวจในพื้นที่ที่ได้รับการป้อนสารกัมมันตภาพรังสี เช่นใน ฟูกูชิม่า ญี่ปุ่น *(ตีพิมพ์งานประชุมทางวิชาการ ICCAS 2015, Busan, Korea) [44]
3. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อใช้ในโรงเรือนปลูกเห็ด โดยประยุกต์ใช้งานกับระบบ APRS โดยอาศัยการบันทึกข้อมูลลง Database Server มาเป็น ระบบการบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ*(ตีพิมพ์งานประชุมทางวิชาการECTI-CARD 2016) *Best Paper Award ในกลุ่ม Automation Agriculture [47]
4. สุดท้ายของงานวิจัยเพื่อใช้ข้อได้เปรียบในการส่งข้อมูลระยะไกล เพื่อส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ใช้การวัดขนาดลำต้นต้นไม้ยูคาลิปตัส ในการทำอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่นำเอาไปทำเยื่อกระดาษ*(ตีพิมพ์งานประชุมทางวิชาการ ICISIP 2016, Kyoto Japan) [48]

โดยทำการการทดลอง 4 แบบ และได้ดำเนินการทดลองในหลายพื้นที่เพื่อตรวจสอบวิจัยการ สร้างเครือข่ายไร้สายแบบ APRS รายละเอียดแต่ละงานวิจัยพอสังเขปดังนี้

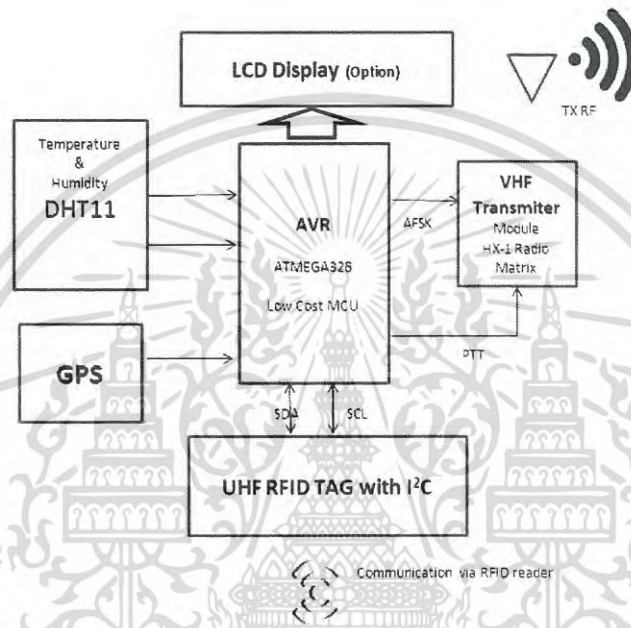
6.1 การออกแบบ Sensor Node

งานวิจัยนี้ชื่อ “USING RFID I2C NODE TO STORE SENSORS DATA FOR SMART FARMING PURPOSES”[46] และได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารทางวิชาการ International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, ISSN: 2321-404X, Volume-3, Issue-2, Nov-2015 เป็น งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์การใช้งานส่งข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้น รวมไปถึง ตำแหน่งพิกัดโดยเอา ค่า NMEA จาก GPS Module ที่ติดตั้งอยู่ในการแสดงให้เห็นการนำเอา APRS มาออกแบบ sensor node โดยออกแบบ Embedded Board โดยมีการออกแบบไว้ดังนี้

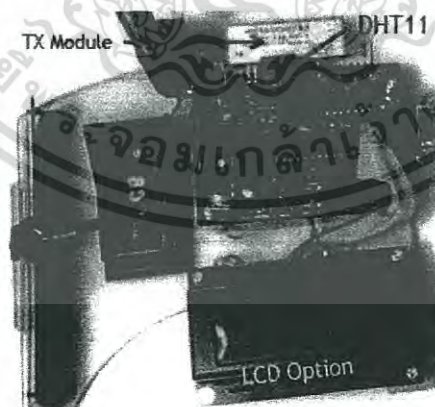
การออกแบบ ชุด Sensor Node นี้เป็นการนำเอา ระบบAPRS มาประยุกต์การออกแบบใน ชุดที่ออกแบบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยเอาเทคนิคออกแบบมาต่อยอด เพิ่มเติมจากที่ใช้งานที่สามารถส่งข้อมูลที่ต้องการได้ โดยเอามาออกแบบการส่งตำแหน่งและข้อมูลเซนเซอร์ที่ทดลองนี้ คือ วัดอุณหภูมิ และความชื้น คือ เซ็นเซอร์ DHT11 โดย โหนด SENSOR คือการรวมกันของวิทยุ VHF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเด็มวิทยุและตัวรับสัญญาณ GPS มาเป็นความสามารถเฉพาะของการส่งเท่านั้นและไม่สามารถรับข้อความได้ APRS กำลังส่งของ 300mW แม้จะมีขนาดที่เล็กของระยะยาวการส่ง LOS line of sight ที่ระดับความสูงสามารถให้การติดตามมีระยะเวลานานจากการใช้แบตเตอรี่ Li-ion ที่สามารถให้การดำเนินงานเป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมงมีอัตราการส่งหนึ่งครั้งในทุกสองนาที่พลังงานในระดับ 300 mW ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบูรณาการแควิเคราะห์ข้อมูลพิกัดตำแหน่งแบบ NMEA จากตัวรับสัญญาณ GPS และแปลงให้เป็นรูปแบบ APRS โดยการออกแบบอธิบายได้ตามรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 Block Diagram ของ Sensor Node [46]



รูปที่ 6.2 แผงวงจรที่ได้ออกแบบ [46]

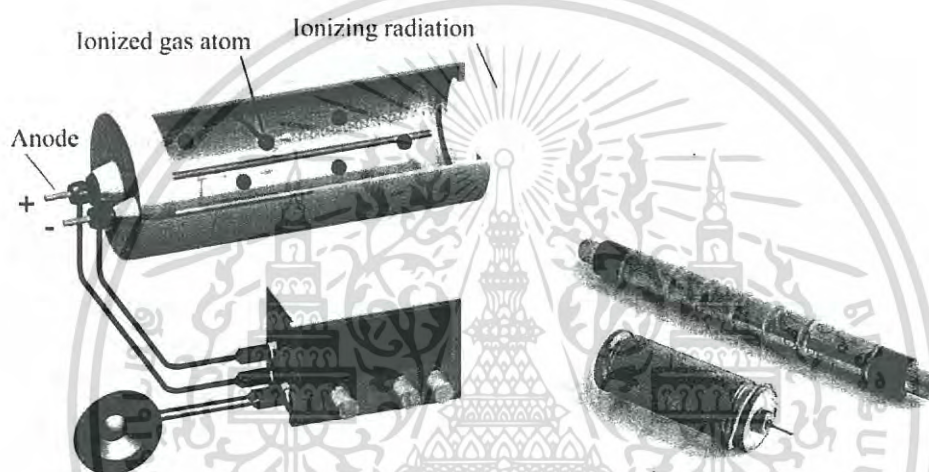
แนวคิดหลักของการวิจัยนี้ได้โดยการติดตั้ง RFID ชุดเซนเซอร์โหนดในแต่ละสถานที่ของฟาร์มหรือสวนพืชไร่เพื่อที่จะสามารถติดตามการวัดค่ารวมไปถึงการบอกตำแหน่งของสถานที่ต่างไปใช้มากที่สุดเท่าที่เป็นรูปที่ 4 โดยแต่ละหน่วยจะรายงานตำแหน่งปัจจุบัน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการที่ต้องมีการสำรวจพื้นที่และวัดค่าสารที่รั่วไหลแต่การวัดอาจจะเป็นอันตรายต่อคนที่เข้าไปวัดจึงได้มีแนวคิดที่ออกแบบหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ และมี GPS บอกพิกัดหลังจากการวัดค่ากัมมตภาพรังสีที่วัดแล้วป้อนข้อมูลที่ได้ ผ่าน APRS โพรโตคอล

6.2.2 ออกแบบการวัดค่ากัมมตภาพรังสี (Geiger Counter)

อาศัยหลักการของการทำงานของ หลอดวัดกัมมตภาพรังสีที่บรรจุแก๊ส Ionized ต้องการไฟเลี้ยง DC เลี้ยงอยู่ที่ 300-600 volt และเมื่อมีสารกัมมตภาพรังสีมาอยู่ในรัศมีที่จะทำปฏิกิริยาจากการแพร่กระจายของสารนั้นจะทำให้ อะตอมของ แก๊ส Ionizer ที่บรรจุภายในหลอดฯ จะเกิดการแตกตัวออกมาทำให้เกิดมีสัญญาณออกมาจากขั้วบวกของหลอดที่ใช้วัดนั้นอธิบายหลักการตามรูปที่ 6.4

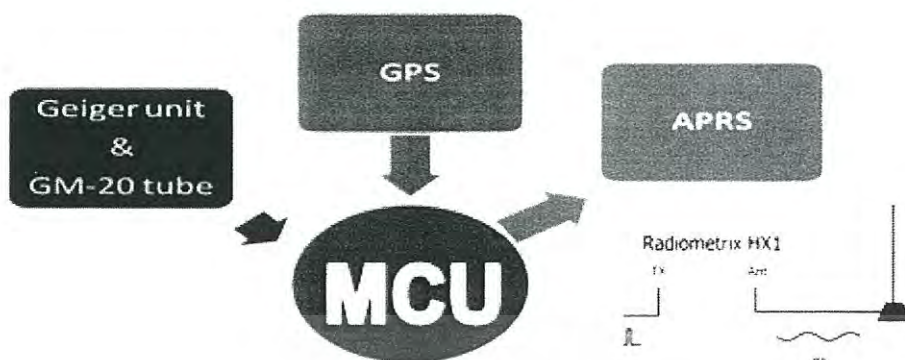


รูปที่ 6.4 จำลองหลักการทำงานของ Geiger Tube[58]

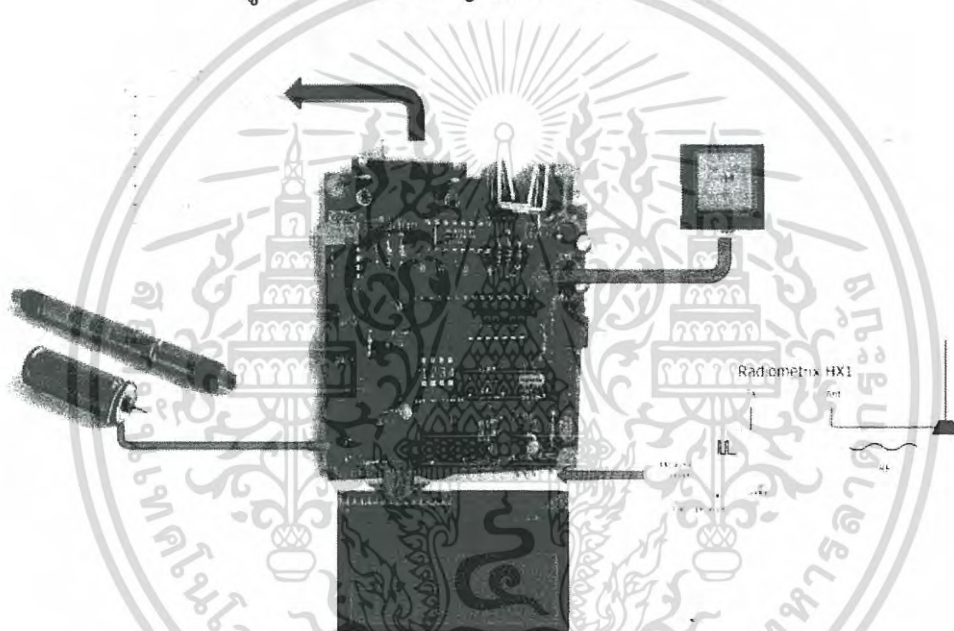
การออกแบบวงจรที่จะสร้างไฟ DC ขนาด 600 volts เพื่อเป็นไฟเลี้ยงมีเทคนิคในการทำ Voltage Multiply โดยใช้ IC Timer 555 ที่สามารถสร้างพัลส์เพื่อป้อนเข้า Diode เพื่อทำการสร้าง Voltage ตามเทคนิคนั้น ซึ่งวงจรนี้จะสามารถสร้างได้ 610 volts [58-61]

6.2.3 ออกแบบชุด APRS ที่มีการรวมข้อมูลตำแหน่งและข้อมูลการวัดกัมมตภาพรังสี

Block Diagram ที่สามารถอธิบาย เห็นการส่งผ่านข้อมูลที่ได้รับทั้งจาก GPS และ วงจรวัดของหลอดวัดกัมมตภาพรังสี และ ส่งออกไปยัง Routine APRS ในไมโครคอนโทรลเลอร์



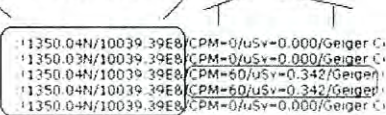
รูปที่ 6.5 Block Diagram การออกแบบ [44]



รูปที่ 6.6 ชุดต้นแบบ APRS Geiger Unit (Visual Diagram) [44]

หลังจากที่ได้มีการออกแบบระบบฝังตัวชุดต้นแบบจนได้ทดลองประสบความสำเร็จ ในการตรวจสอบการส่ง Packet radio APRS ออกจาก TX Module และ สามารถทดลองการวัดจากสารกัมมันตภาพรังสี ว่ามีการส่งออกมาตรงตามที่แสดงหรือไม่และได้ออกแบบ PCB มาเป็นรูปแบบมาตรฐานในการเอาไปติดตั้งบน หุ่นยนต์แบบไร้การควบคุมที่สามารถค้นหาเส้นทางเดินได้เองตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เพื่อมีการส่ง APRS บอกตำแหน่งและแจ้งค่าที่วัดกัมมันตภาพรังสีได้ รูปแบบของข้อมูลที่ส่งออกมาจาก Board นี้แสดงในรูปที่ 6.7 โดยข้อมูลนั้นจะมีการแสดงค่าการวัดอยู่ ประกอบกันไปด้วยกันกับพิกัดที่ได้รับจาก NMEA ของ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lat/Long Position Report Format — without Timestamp						
! or =	Lat	Sym Table ID	Long	Symbol Code	Comment (max 43 chars)	
Bytes:	1	8	1	9	1	0-43
Examples !4903.50N/07201.75W-Test-001034 no timestamp, no APRS messaging, with comment.  <ul style="list-style-type: none"> -!1350.04N/10039.39E8/CPM=0/uSv=0.000/Geiger C -!1350.03N/10039.39E8/CPM=0/uSv=0.000/Geiger C -!1350.04N/10039.39E8/CPM=60/uSv=0.342/Geiger C -!1350.04N/10039.39E8/CPM=60/uSv=0.342/Geiger C -!1350.04N/10039.39E8/CPM=0/uSv=0.000/Geiger C 						

รูปที่ 6.7 APRS Message Formatสำหรับส่งค่าวัดกัมมตภาพรังสี CPM unit [44]

6.3 ออกแบบ การควบคุมอุณหภูมิความชื้นโดยใช้ APRS ทำ Datalogging สำหรับปลูกเห็ด

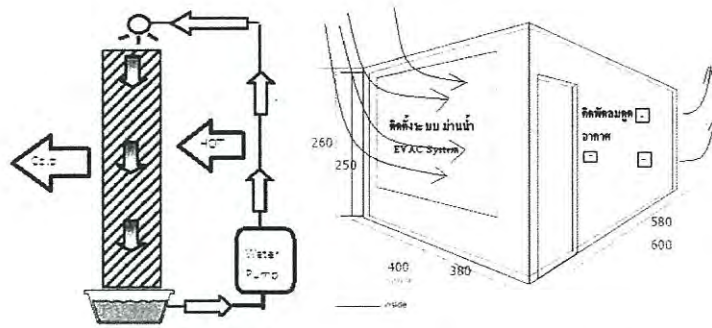
โดยงานวิจัยนี้ชื่อ “การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการปลูกเห็ดระบบอัจฉริยะ”. ตีพิมพ์ในเอกสาร ทางวิชาการจาก การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8 ECTI CARD 2016 *ได้รับรางวัล งานวิจัยดีเด่น ในกลุ่ม เกษตรอัตโนมัติ [47]

ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงปลูกเห็ด โดยเฉพาะความชื้น(RH)ที่มีความละเอียดถึง $\pm 2\%$ โดยการคำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว ที่ติดตั้งไว้ในโรงปลูกเห็ดรวมไปถึงการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และควบคุมการเพิ่มผลผลิตของการปลูกเห็ดให้แน่นอนอย่างเป็นระบบ แต่ข้อจำกัดสำหรับบางพื้นที่ที่ไม่มีอินเทอร์เน็ต ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาโดยการนำการส่งข้อมูล จากพื้นที่ฟาร์มที่ห่างไกลจากระบบอินเทอร์เน็ต โดยอาศัยการใช้โปรโตคอลการส่งข้อมูล APRS. (Automatic Position Report System) เพื่อป้อนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไปบันทึกผลเพื่อส่งเข้าฐานข้อมูลผ่านระบบเน็ตเวิร์คในอีกพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลที่มีระบบเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ได้ระยะทาง มากกว่า 2 กิโลเมตร โดยใช้คลื่นวิทยุเป็นพาหะ เพื่อการบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ

6.3.1 ระบบ EVAP (Evaporative Air Cooling System)

การควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่ต้องการทำได้โดยสร้างความชื้นจากระบบ EVAP (Evaporative Air Cooling System) [6] โดยระบบ EVAP หมายถึงระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานธรรมชาติ และการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็น หลักการทำงานของระบบ EVAP คือการปล่อยกระแสลมไหลผ่านตัวกลางที่มีน้ำไหลผ่าน (Cooling pad) และการที่อากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไหลผ่านน้ำจะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งจะเป็นการดึงเอาความร้อนของอากาศออก ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และอากาศที่วิ่งผ่านแผงน้ำนี้จะมีอุณหภูมิที่เย็นมากขึ้น โดยแผงความเย็น (Cooling pad) ที่ทำจากกระดาษอัดเคลือบน้ำยาชนิดพิเศษ ซึ่งกระดาษอัดชนิดน้ำที่ได้นั้นนำมาเรียงเป็นแท่งให้มีความหนาประมาณ 4-6 นิ้ว วางเรียงให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด เพื่อให้มีโอกาสสัมผัสน้ำและอากาศที่ไหลผ่านมากที่สุดเช่นกัน เป็นการช่วยให้น้ำระเหยได้มากนั่นเอง และมีพัดลมระบายเอาอากาศร้อนข้างนอกในด้านหลังของโรงปลูกตามรูปที่ 6.11

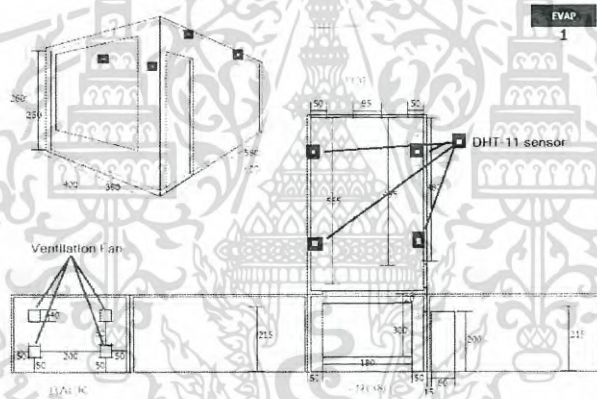
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



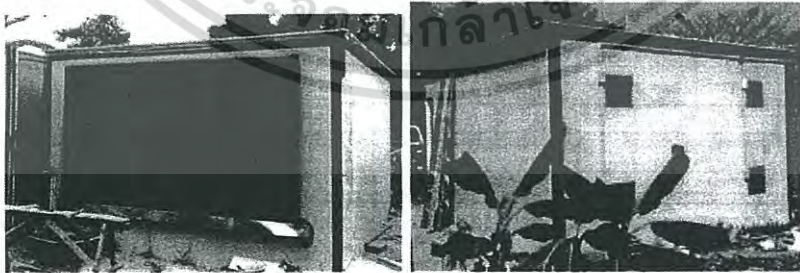
รูปที่ 6.8 ระบบ EVAP ที่นำมาใช้เป็นต้นกำเนิดความชื้น [47]

6.3.2 โรงเรือน

ทำการติดตั้งระบบที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยในพื้นที่ที่ตั้งโรงปลูกเห็ด ขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.50 เมตร โดยมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งในด้านหลัง 4 ตัว เพื่อควบคุมความชื้นโดยใช้ระบบแผง EVAP หนา 4 นิ้ว ด้านหน้าเพื่อสร้างความชื้นให้ระบบแสดงดังรูป 6.10



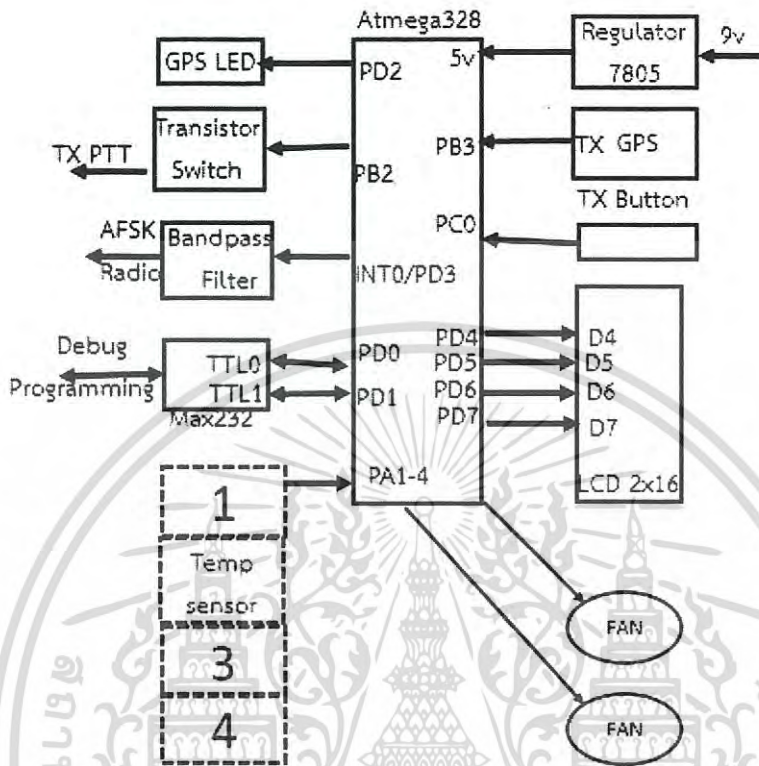
รูปที่ 6.9 การวางแผนการติดตั้ง เซ็นเซอร์และพัดลมระบายความชื้น [47]



รูปที่ 6.10 โรงเรือนที่ใช้ในการทดลองกับระบบ APRS [47]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

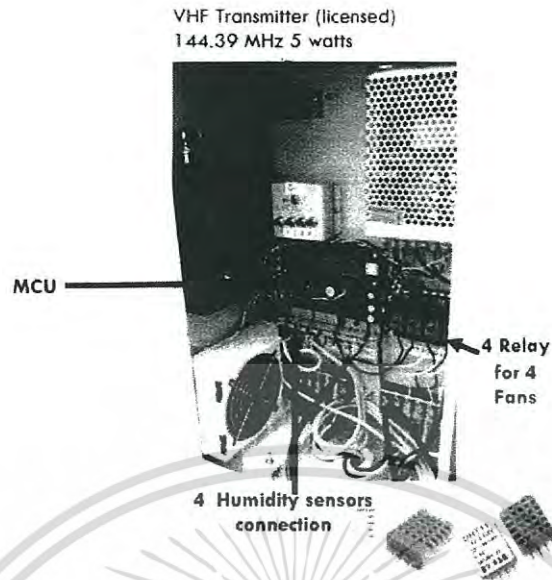
6.3.3 ชุดควบคุมและ APRS



รูปที่ 6.11 Block Diagram ระบบ APRS และ ระบบควบคุมความชื้น [47]

MCU ที่ (ATmega328) เป็น มีประสิทธิภาพการทำงานที่ 16 MHz พร้อม Digital I / O ที่ใช้ต่อกับเซ็นเซอร์วัดความชื้น ใช้การอ่านแบบดิจิตอล มีอัตราการสุ่มตัวอย่างมากกว่า 1 เฮิร์ตซ์ (ทุกๆ วินาที) DHT 11 เป็นเซ็นเซอร์ชั้นพื้นฐานที่มีอุณหภูมิพิเศษต้นทุนต่ำแบบดิจิตอลและเซ็นเซอร์ความชื้น มันใช้เซ็นเซอร์ความชื้น capacitive และ Thermistor การวัดอากาศรอบและความชื้นออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล

โดยระบบ Hardware ที่ออกแบบจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 6.12 มีการส่งข้อมูลจากสถานีปลูกที่ห่างไกลออกไปหลายสิบกิโลเมตรจึงต้องใช้กำลังส่งที่มากกว่าที่ใช้ Module รุ่นก่อนๆ แต่ ใช้กำลังส่ง 3 watts จากวิทยุสื่อสารแบบมือถือที่นำไปติดตั้งในกล่องควบคุมดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.12 ชุดควบคุมความชื้นที่ใช้ระบบ APRS บ้านทีกค่าเซนเซอร์ [47]

6.3.4 การเขียนโปรแกรม

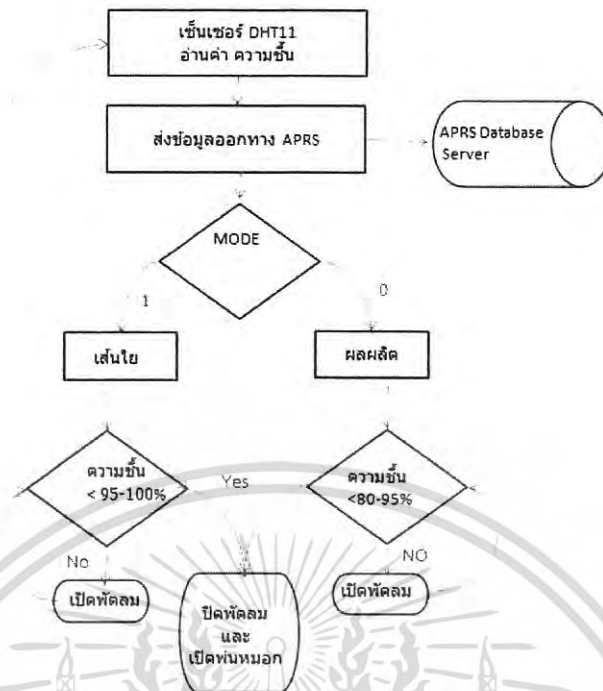
หลักการเขียนโปรแกรมให้สามารถควบคุมโรงปลูกเห็ดได้นั้น อ้างถึงงานวิจัยของ Tscierpe (1973)[53-55] ได้ทำการวิจัยและอธิบายข้อกำหนดการควบคุมในสองช่วงของวงจรชีวิตการปลูกเห็ดในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เงื่อนไขการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกตามช่วงเวลา

ช่วงเป็นเส้นใย (Mycelium)	อุณหภูมิ ในช่วง 25°-29° C ความชื้น ในช่วง 95 -100%
ช่วงผลผลิต (Production)	อุณหภูมิ ในช่วง 14°-18°C* ความชื้น ในช่วง 80-95%

*การเขียนโปรแกรม ใช้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH%) มาเป็นเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมความชื้นเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้นำเอาค่าอุณหภูมิมาใช้แต่อย่างใด [53-55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.13 Flow Chart ของการเขียนโปรแกรมควบคุมความชื้น และ ส่งค่าผ่าน APRS[47]

การส่งข้อมูลออกมาเพื่อเข้าระบบอินเทอร์เน็ตนั้นใช้ ชื่อว่า APRS (Automatic Position Report System) หรือ Packet Radio โดยการส่งรูปแบบข้อมูลจากโรงปลูกเห็ด ออกไปผ่านคลื่นวิทยุ ย่าน VHF 144.390 MHz ในลักษณะของข้อมูลถูกจัดให้มีแบบสถานีตรวจอากาศ (Weather Station) เข้าไปยังสถานีรับที่มีต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตหรือที่เรียกว่า Internet Gateway นั้นอยู่ห่างออกไป ประมาณ 2 กิโลเมตร โดยที่พื้นที่โรงปลูกเห็ดนั้นไม่มีบริการของระบบอินเทอร์เน็ตจึงจำเป็นต้องใช้ ระบบการส่งสัญญาณระยะไกลเป็นทางเลือก และในการทดลองนั้นจำเป็นต้องทราบถึงการ เปลี่ยนแปลงของความชื้นภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน เพื่อนำค่าที่ได้มาปรับเปลี่ยนในการเขียน โปรแกรมควบคุมพัดลมที่ดูผลความชื้นให้อากาศถ่ายเทดีขึ้น และเพื่อรักษาระดับความชื้นด้านหลัง ของโรงปลูกให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โดยมีการควบคุมพัดลมให้สลับกันทำงาน เพื่อกระจายความชื้นให้มีความสัมพันธ์กันในพื้นที่ทำการทดลอง แสดง Flowchart ตามเงื่อนไข ที่ได้มาจากการทดลองที่ทำ ก่อนหน้านี้ ออกมาได้แสดงตาม Flowchart ในรูปที่ 6.13

6.4 ระบบการติดตามการวัดขนาดลำต้นต้นไม้เพื่อบันทึกการเติบโตใช้ใน อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

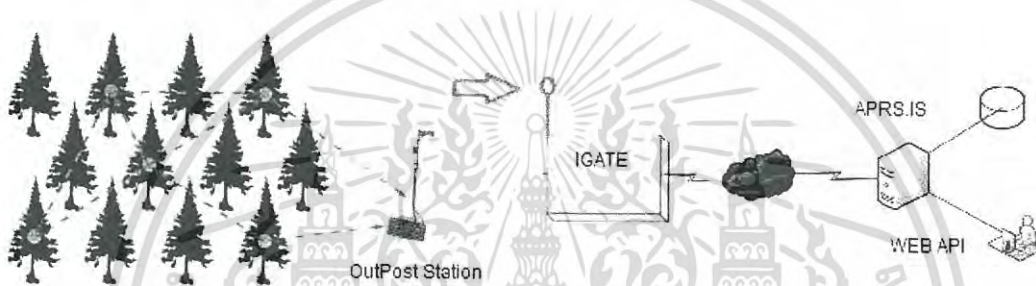
6.4.1 ที่มาและแรงจูงใจในเพื่อวิจัยและการทดลอง[48]

งานวิจัยนี้ชื่อ “The Growth rate Tracking System of the Tree for Forest industry”. ตีพิมพ์ในเอกสารทางวิชาการจากการประชุมวิชาการ the 4th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2016 Kyoto, Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำอุตสาหกรรมป่าไม้เพื่อนำไม้ไปทำเยื่อกระดาษ นั้นมีการปลูกต้นไม้ในพื้นที่ๆกว้างใหญ่และไม่มีการทำระบบที่สามารถวัดขนาดต้นไม้เพื่อบอกอัตราการเจริญเติบโตเพื่อเก็บข้อมูลในการตัดสินใจเพื่อพิจารณาช่วงเวลาในการตัดต้นไม้เพื่อส่งไปโรงงานทำเยื่อกระดาษ โดยงานวิจัยนี้ มีโจทย์มาให้พิจารณาดังนี้ โดยมีรูปแบบโดยย่อดังรูปที่ 6.15

- ทำการติดตามและบันทึกการเจริญเติบโตของต้นไม้จำนวน 10% ของพื้นที่ปลูกป่าจำนวน 450 ต้น โดยจะเริ่มการบันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ 2” ไปจนโตได้ขนาดลำต้นที่ 4” ซึ่งเป็นขนาดที่พร้อมตัดโดยใช้ Sensor แบบ Flex
- ทำการส่งข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ที่มีการขยายลำต้นออกไปเข้า Server ผ่านระบบการสื่อสารไร้ สายและในพื้นที่ปลูกนี้ ห่างจากสถานีหรือสำนักงานที่มีอินเทอร์เน็ตมากกว่า 5 กิโลเมตร โดยใช้ APRS โปรโตคอล



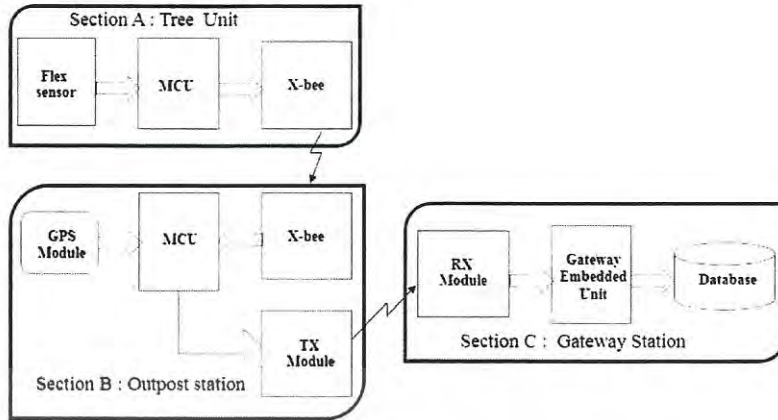
รูปที่ 6.14 แนวคิดของการออกแบบ และ รูปแบบส่งข้อมูลระยะไกลผ่าน APRS [48]

6.4.2 หลักการทำงานของระบบ

โดยที่การทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหรือ Section

- Tree unit ใช้ Flex Sensor and X-Bee
- Outpost station X-Bee and RF-TX Module 300Mw หรือ มากกว่าเพื่อให้ได้ ระยะที่ไกลมากๆ
- Gateway station ประกอบไปด้วยเครื่องรับวิทยุและชุดการถอดรหัสข้อมูลเพื่อแปลงออกไปเพื่อป้อนไปเข้า Database Server

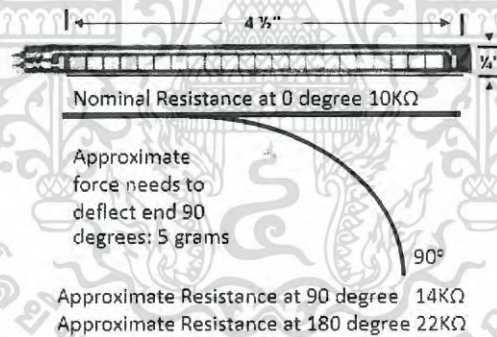
ตามรูปของ Block Diagram นั้นเราจะมี Tree unit เพื่อการทดลองประมาณ 3 ชุดโดยแต่ละตัวจะส่งไปเข้าที่สถานี Outpost โดยที่ใช้การสื่อสารระยะไกล ที่ใช้ X-BEE 2.4 GHz และ เมื่อสถานี outpost ได้รับสัญญาณหรือข้อมูลจะเก็บและทำการปรับปรุงหรืออัปเดตตลอดเวลาเพื่อทำการส่งข้อมูลตามที่ตั้งเวลาไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ต่อครั้งหรือ เดือนละ 2 ครั้งเพื่อนำไปเข้า Server เพื่อบันทึกใน Database server



รูปที่ 6.15 Block Diagram โดยรวมของ แต่ละ Section [48]

โดยต้นไม้ที่จะทำการทดลองก็จะมี ชุด Sensor และ MCU ที่จะประมวลผลเพื่อการส่งข้อมูล โดยใช้ Flex Sensor เพื่อทำการวัดหาขนาดการเจริญเติบโตของลำต้นโดยอาศัยหลักการของ Flex Sensor มาออกแบบวงจรที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเปรียบเทียบความต้านทานต่อมุมที่ถูกบิดงอ ดังนี้

- การออกแบบ Sensor [56-57]

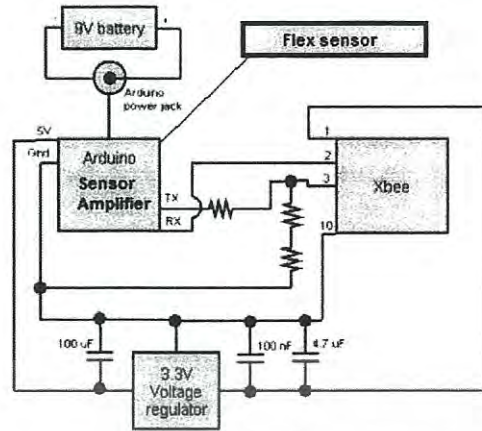


รูปที่ 6.16 Characteristic ของ Flex Sensor [56-57]

โดยที่ Flex Sensor จะมี การเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางตามการงอหรือเปลี่ยนรูป ต่อมุมองศาต่างๆ

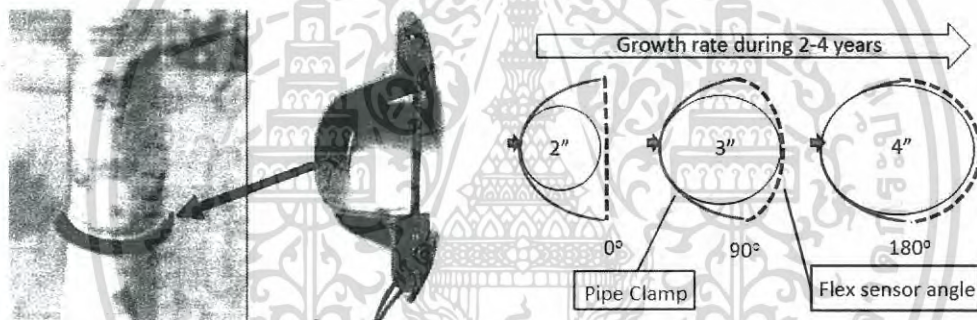
ใช้ Atmel ATMEGA328P Pico-Power 8-bit AVR RISC-based Microcontroller, a 6-channel 10-bit A/D converter โดยเขียนโปรแกรมที่ต้องการทำงานเฉพาะ Routine ง่ายๆที่อ่านค่า Flex Sensor แล้วส่งผ่าน X-Bee

เมื่อนำคุณสมบัติทั้งหมดมาประกอบกันเพื่อติดตั้งได้মন Block Diagram ของ Tree Unit ดังรูป



รูปที่ 6.17 วงจรของ Tree Unit [48]

การติดตั้ง Flex Sensor ก็มีเทคนิคที่คิดขึ้นในเบื้องต้นโดยใช้ อุปกรณ์ที่ใช้ ยึดท่อ PVC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเพื่อหาง่ายและราคาไม่แพง แสดงดังรูปที่ 6.18

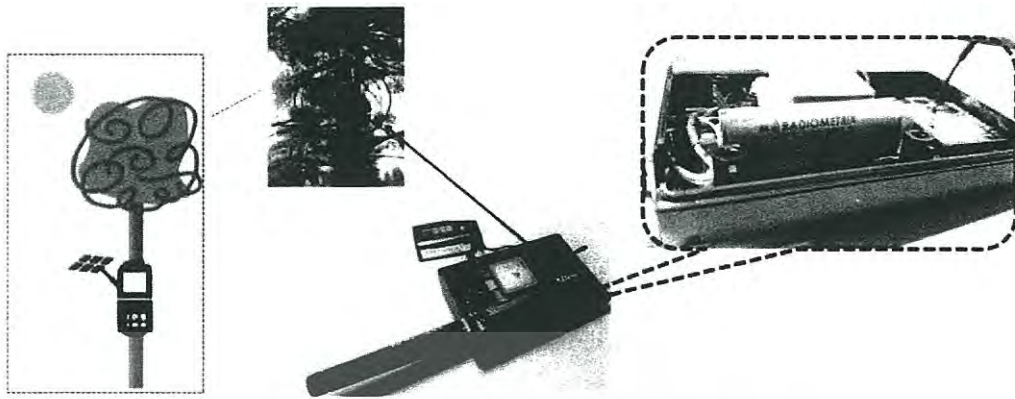


รูปที่ 6.18 การติดตั้ง Flex Sensor บน ต้นไม้ Tree Unit [48]

6.4.3 Outpost Station

ฟังก์ชันของชุดนี้ จะใช้ MCU เหมือนกับ Tree Unit โดยใช้ดึงข้อมูลจาก Tree Unit ผ่าน X-Bee ซึ่งจะรับข้อมูลผ่านจากในแต่ละต้น แล้วมารวมกันเก็บใน Memory Buffer มารวมกับข้อมูล GPS เพื่อทำการแปลงออกเป็น Packet Radio ของ APRS โดยที่ GPS นี้ จะเป็นตัวที่บอกพิกัดของสถานีใน สวนป่าที่นำมาเก็บข้อมูลการเติบโต 10% ที่ได้กำหนดไว้ เพื่อลงไปที่ IGATE Station โดย MCU จะทำการรับข้อมูลผ่านการสื่อสาร X-Bee IEEE 802.15.4 network แปลงข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในรูป APRS ความเร็วในการส่งข้อมูล 1200 bps ที่ส่งออกอากาศทางคลื่นวิทยุผ่าน Radio Matrix Module ⁽¹²⁾ Narrow band VHF 144.390 MHz กำลังส่ง TX (300mW) โดยใช้สายอากาศแบบ Half-wave Antenna, ระยะทางที่หวังผลประมาณ 1-2 Km ในพื้นที่เปิดอ้าดัยหลักการ (line of sight) ไปยังสถานีรับที่เราเรียกว่า Internet Gateway Station สามารถอธิบายให้เห็นภาพดังรูปที่ 6.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 การติดตั้ง ชุด Outpost Station บน ต้นไม้

6.4.4 รูปแบบของข้อมูลผ่าน APRS

ข้อมูลที่ถูกเปลี่ยนแล้วป้อนเข้าไปที่ APRS-IS (APRS Internet Server) ทาง port 14580 via Internet Network. โดยข้อมูลที่ได้จะไปเก็บใน Database Server ที่เราเรียกว่า APRS-IS โดยที่หลังจากนั้นเราก็ สามารถนำเอาข้อมูลกลับออกมาจาก Database server ได้หลายทาง แสดงดังรูป

Lat/Long Position Report Format — with Timestamp							
T / o / g	Time DHM / HMS	Lat	Sym Table ID	Long	Symbol Code	Comment (max 43 chars)	
Bytes	1	7	1	9	1	0-43	
Timestamp	FIELD-1	APETS1	WIDE	S	FIELD-1	1349.65N/10038.27E	Growth Rate: Tree1=125/Tree2=145/Tree3=138 -status= 12.7 / 24.50
	FIELD-1	APETS1	WIDE	S	FIELD-1	1349.65N/10038.27E	Growth Rate: Tree1=125/Tree2=145/Tree3=138 -status= 12.7 / 24.50
	FIELD-1	APETS1	WIDE	S	FIELD-1	1349.65N/10038.27E	Growth Rate: Tree1=125/Tree2=145/Tree3=138 -status= 12.7 / 24.50
	FIELD-1	APETS1	WIDE	S	FIELD-1	1349.65N/10038.27E	Growth Rate: Tree1=125/Tree2=145/Tree3=138 -status= 12.7 / 24.50

รูปที่ 6.20 APRS FORMAT ที่กำหนดให้มาใช้ในการทดลองนี้ [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการศึกษาวิจัยในอนาคต

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดทั้งการศึกษา การออกแบบ การทดลองที่ได้ นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และ แนวทางในการศึกษาวิจัยที่จะได้ดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคตซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

7.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

การทำงานสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ เริ่มต้นจากการนำเสนอความเป็นมา และ ความสำคัญของ ปัญหา โดยปัญหาเกิดความต้องการในการใช้ส่งข้อมูลระยะไกลแต่ไม่สามารถทำได้เนื่องจากพื้นที่ นั้นๆไม่มี Infrastructure เช่นระบบ GSM ระบบ WIFI ระบบสื่อสารระยะไกลผ่าน X-BEE เป็นต้น โดย ที่ APRS โพรโตคอลเป็นตัวเลือกโดยเสนอข้อดีที่ APRS ไม่ต้องการติดตั้งระบบเครือข่ายใดๆสามารถ ใช้งานเป็น Peer to Peer หรือ Many Peer to Peer ได้อย่างง่ายได้มาเป็นผู้เลือกและเป็นที่มาของ การศึกษาและพัฒนาเป็นอุปกรณ์งานวิจัยนี้

หลักการพื้นฐานของการทำงานของ APRS ที่มีที่มาจาก การพัฒนา AX.25 เรื่อยมาจนเป็น Packet Radio และถูกพัฒนาให้มาเป็น โพรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อเพื่อส่งตำแหน่งที่อยู่เพื่อใช้ในการ ติดตามหรือสร้างข่ายการสื่อสารที่มีการทำงานแบบไม่ซ้ำซ้อนเหมือนระบบไร้สายแบบอื่นๆ เพื่อเป็น การกำหนดเป้าหมายของการศึกษาวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ ขอบเขต และ ข้อกำหนดของการทำการวิจัย นี้ รวมไปถึงผลงานการวิจัยที่ได้มาจากการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากการศึกษาและออกแบบ เพื่องานวิจัยนี้ดังรายละเอียดบทที่ 2

ทำการศึกษถึงหลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานประกอบไปด้วย รูปแบบ การทำงานของโพรโตคอลของการสื่อสารข้อมูลและการทำงานพื้นฐานของระบบที่ต้องมีอุปกรณ์ที่มี อยู่คือ Terminal Node Controller หรือ TNC ที่เป็นอุปกรณ์หลักที่มีอยู่มาใช้นั้นใช้ในการเข้าและ ถอดรหัสของ AFSK เพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูล APRS ต้องผ่านอุปกรณ์นี้ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัด ทางด้านเทคโนโลยีในอดีตจึงไม่มีการพัฒนาอุปกรณ์เฉพาะที่สามารถมาใช้เพื่อการประยุกต์ในการ นำเอา APRS โพรโตคอลไปใช้งานเพื่อเชื่อมต่อกับ GPS และ เซ็นเซอร์ เพราะว่า TNC ทำหน้าที่แค่ เป็นอุปกรณ์การแปลงสัญญาณเท่านั้นไม่มีความสามารถในการต่ออุปกรณ์อื่นเช่น GPS และ เซ็นเซอร์ ได้เลย เพื่อทำความเข้าใจถึงทฤษฎีและนำเอามาใช้ในการออกแบบดังที่ได้อธิบายในบทที่ 3

ตั้งนั้นงานวิจัยนี้ ทั้งหมดคือการออกแบบอุปกรณ์ที่จะสามารถรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ รวมทั้ง GPS ที่บอกตำแหน่ง ร่วมกับข้อมูลการอ่านเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆเอามารวมกันเพื่อแปลงออกเป็น APRS โพรโตคอล โดยใช้หลักการ AFSK นำมาออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และเทคนิคการเขียนโปรแกรม เพื่อแปลงข้อมูลและแปลงไปเป็น AFSK ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4

มาจนถึงการทดลองเพื่อเปรียบเทียบให้ได้ตามวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้โดยการออก แบบและทำอย่างไรให้มีการสื่อสารระยะไกลเกิดขึ้นทดลองเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณ Link Budget เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์ที่ออกแบบและอุปกรณ์ที่มีอยู่เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพสูงสุดในการสื่อสารระยะไกลว่ามีข้อจำกัดและวิเคราะห์ความสามารถในการส่งข้อมูล โดยมีการจำลองทั้งการคำนวณและการออกไปทดลองจริงเพื่อค้นหาระยะทางและทำให้การสื่อสารได้มีระยะทางไกลที่สุดด้วยเทคนิคที่ APRS โปรโตคอลได้ออกแบบไว้แต่ใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบ เปรียบเทียบรวมไปถึงการวัดจากเครื่องมือเพื่อให้ทราบการสื่อสารแบบ Peer to Peer ดังรายละเอียดของบทที่ 5 มีผลสรุปดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบจากปัจจัยหลักและผลการทดลอง

	TNC/ Radio	Kenwood TH-D7	Tracker**
Function	APRS ready	APRS ready	APRS ready
ขนาด size (in)	8 x11	3 x 6	2 x 3
น้ำหนัก weight (กรัม)	>1,000	600	200
เชื่อมต่อ GPS โมดูล	ไม่ได้	ได้	ได้
เชื่อมต่อ เซ็นเซอร์	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
สิ้นเปลืองพลังงาน (Watt)*	24.08	18.15	5.17
ราคารวม Cost (บาท)	6,000	20,000	500

*ตารางการวัดแสดงในภาคผนวก ก

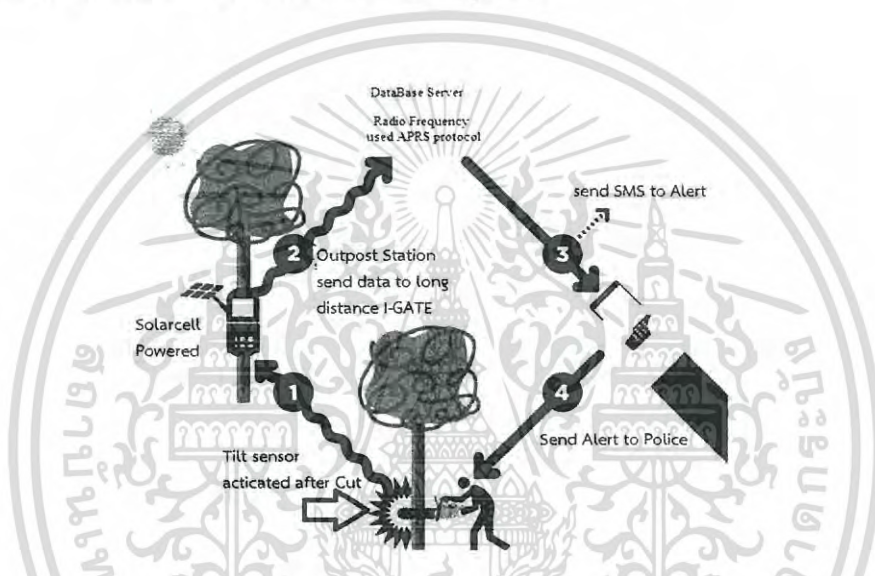
โดยการทดลองตามที่ตั้งเป้าหมายของงานวิจัยนี้ไว้แต่แรกคือพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็ก กินพลังงานสิ้นเปลืองน้อย ราคาถูก และสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการทุกอย่างตามที่ตารางที่ 7.1 ได้แสดงไว้ โดยที่สามารถต่อ เซ็นเซอร์อะไรก็ได้และสามารถต่อ GPS เพื่อบอกตำแหน่งโดยอุปกรณ์ที่ตั้งชื่อ “Tracker” ได้ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ทั้งหมดตามที่ได้ตั้งสมมติฐานการวิจัยไว้

การออกแบบอุปกรณ์ที่ได้ศึกษาพื้นฐานการทำงานและได้ออกแบบเลือกเอาข้อดีมาเพื่อพัฒนาในงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงและจากการทำให้สามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กเพื่อประสิทธิภาพการทำงานในงานวิจัยอื่นๆหลากหลายในทุกด้าน เช่น การพัฒนาเพื่อนำไปติดตั้งในดาวเทียม CubeSat หุ่นยนต์สำรวจพื้นที่เสี่ยงภัย การบันทึกข้อมูลการเกษตร และการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมป่าไม้ ตามที่มีงานวิจัยและได้นำเสนอในงานประชุมทางวิชาการทั้งในระดับชาติและในระดับนานาชาติถึง 4 งานวิจัยและงานวิจัยเหล่านั้นได้ถูกนำไปใช้จริงมาเพราะได้ผลลัพธ์จากการศึกษาและพัฒนาการใช้ APRS โปรโตคอลที่ได้อธิบายมาในข้างต้น ซึ่งงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการแสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่ได้ศึกษาและออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้เพื่อพัฒนาธุรกิจและการพัฒนาชาติในหลายสาขาตามที่อภิปรายในบทที่ 6 นั้นได้อภิปรายงานวิจัยที่ทำเพื่อทดลองต่อยอดไปได้อีกหลายๆความคิดและสามารถนำเอาไปใช้งานให้เหมาะกับงานนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 แนวทางในการศึกษาวิจัยในอนาคต

เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้ด้านการสื่อสารข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นอย่างสูงในปัจจุบัน ซึ่งส่วนใหญ่ต้องการการสื่อสารข้อมูลผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่สมัยใหม่เช่น สื่อสารข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือ แต่ยังมีพื้นที่อีกมากที่ไม่สามารถใช้ได้ เช่นในป่าดิบหรือตามพื้นที่ห่างไกลที่ยังไม่พัฒนา โดยเฉพาะปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า และในป่าจะไม่มีสัญญาณการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้โทรศัพท์มือถือหรือWIFIได้เลยหรืออาจจะต้องมีการลงทุนด้วยเงินมหาศาลเพื่อวางระบบ Infrastructure แต่ APRS เป็นทางเลือกและสามารถตอบโจทย์เหล่านั้นได้ เช่น แนวคิดที่ยกมาให้เป็นระบบป้องกันการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า (TREE of Forest protection system) เป็นการประยุกต์เอา APRS ไปใช้ได้ในการพัฒนาในอนาคตได้อธิบายดังรูป 7.1

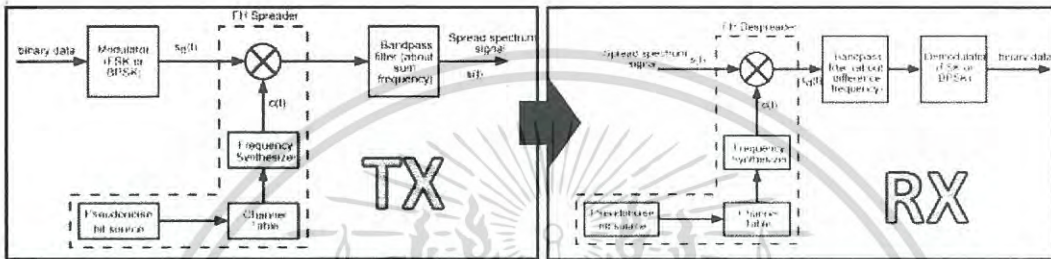
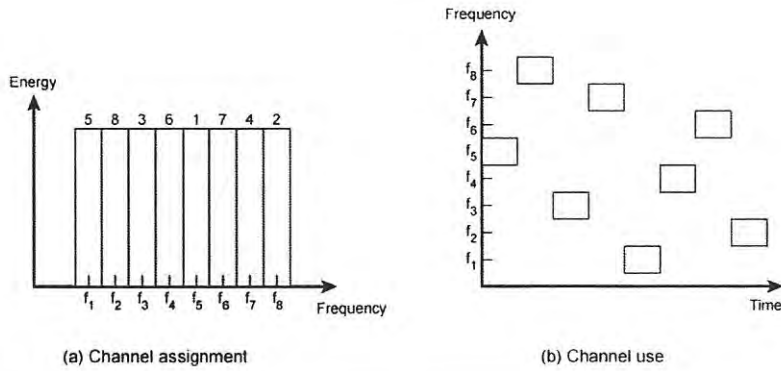


รูปที่ 7.1 แสดงการนำ APRS ไปใช้ในระบบเตือนภัยเพื่อป้องกันการลักลอบตัดต้นไม้ในป่าสงวน[48]

อีกแนวทางการพัฒนาวิจัยต่อไปในอนาคต ในการศึกษาโพรโตคอล APRS ต่อไปในอนาคตจากสิ่งที่ได้ศึกษามาว่าการส่งข้อมูลที่เป็นลักษณะที่มีการบีบอัดข้อมูลนั้นทำให้ APRS มีข้อเด่นในการส่งข้อความสั้นๆที่สามารถใช้เพื่อเป็นข่ายการสื่อสารหลักและในอนาคตที่มีการพูดถึง Internet Of Thing นั้นถ้ามีการศึกษาจุดเด่นของ APRS แต่ APRS นั้นออกแบบมาให้ส่งข้อมูลบนความถี่ช่องเดียวเท่านั้น สิ่งที่ยากเห็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดให้ มีความฉลาดในการส่งข้อมูลบนความถี่วิทยุที่มีความสามารถในการตั้งการสื่อสารวิทยุ ใน IOT ได้หากมีการพัฒนามากขึ้นให้มีความฉลาดดังนี้

1. สามารถทำ Frequency Hopping, Sweeping [66]
2. ในกรณีมีการติดต่อแบบ Many Peer to Peer(Igate) โดยใช้ Time Slot [64]
3. Confirmed Data ในช่วงเวลา เพื่อทำงานแบบ Full Duplex ตัวอย่างดังรูป 7.2 ของการติดต่อที่ APRS ปกติจะส่งโดยแบบ Unconfirmed Data โดยสามารถพัฒนาให้มีความฉลาดมากขึ้นเพื่อการสื่อสารข้อมูลให้มีการตอบรับและรายงานสถานะตลอดเวลา[48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 การนำ FHSS มาใช้ อธิบายตาม Block Diagram [66]

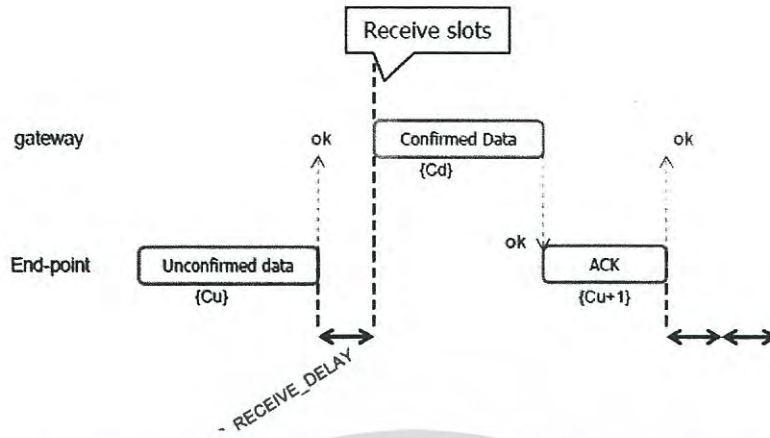
Time slot กำหนดจำนวนวินาทีหลังจากจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาแต่ละครั้ง โดยการส่ง Beacon ควรใช้ในลักษณะเป็นสัญญาณเตือนภัยที่มีหลายจุดโดยใช้ความถี่เดียวกัน โดยจุดเริ่มต้นของแต่ละช่วงคือ การปรับของชั่วโมง UTC, 2 และช่วงเวลาทำงานอย่างต่อเนื่องสำหรับส่วนที่เหลือของชั่วโมง

ตัวอย่างเช่นตัวติดตามได้รับช่วงเวลา 550 วินาทีและช่องเวลา 12 ตัวจะเป็นสัญญาณเตือนในเวลาต่อไปนี้:

Time	Calculated by
00:00:12	0*550 + 12
00:09:22	1*550 + 12
00:18:32	2*550 + 12
00:27:42	3*550 + 12
00:36:52	4*550 + 12
00:46:02	5*550 + 12
00:55:12	6*550 + 12
01:00:12	0*550 + 12

รูปที่ 7.3 การแบ่งช่วงเวลาเพื่อให้สัญญาณจากหลายจุดสามารถทำงานร่วมได้ [64]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 Timing Diagram of Confirmed Data Message [48]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rahnama, Moe. "Overview of the GSM system and protocol architecture." *IEEE Communications magazine* 31.4 (1993): 92-100.
- [2] IEEE Standards Association. "802.11-2012-IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks–Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications." IEEE STD 802 (2012).
- [3] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, "Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking," Prentice Hall, 2007.
- [4] M. Wirner, A. Jahn, E. Lutz and A. Bottcher, "Analysis of system Parameters for LEO/ICO Satellite Communication Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.* Vol 13, N°2, 1995.
- [5] H.Taub, D. Schilling, "Principles of communication systems" McGraw-Hill, 2ème Edition 1987.
- [6] Picone, J. M., J. T. Emmert, and J. L. Lean. "Thermospheric densities derived from spacecraft orbits: Accurate processing of two-line element sets." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 110.A3 (2005).
- [7] Bernhard Mehl "6 Internet Of Things Communication Protocols" [online].available <https://blog.getkisi.com/internet-of-things-communication-protocols/>
- [8] Chonggang Wang, Tao Jiang and Qian Zhang : "ZigBee® Network Protocols and Applications"
- [9] ZigBee specification version 2006: "ZigBee" document 064112, 2006.
- [10] ZigBee Alliance: "ZigBee Specification, Version 1.0" ZigBee Document 053474r06.
- [11] Information technology systems– Telecommunications and information exchange between – High-level data link control (HDLC) procedures. ISO/IEC 13239:2002. ISO, Genève 2002
- [12] Wikipedia. Automated packet reporting system. Online available https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Packet_Reporting_System
- [13] Bob Bruninga Automatic Packet Reporting System, Online available : <https://www.aprs.org>
- [14] Bob Bruninga, "A Description of APRS by WB4APR, Packet Users Notebook," *CQ Magazine*, Dec 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] American Telephone and Telegraph Company, **Data Sets 202S and 202T Interface Specification**, AT&T Publication 41212, July, 1976.
- [16] Beech, William A., et al. "AX. 25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio, Version: 2.2 Rev." Tucson Amateur Packet Radio Corp. 1997.
- [17] Dabrowski, Krzysztof. "Amatorska komunikacja cyfrowa". Wydawnictwo Naukowe PWN, 1994.
- [18] Zielinski, B. "Efficiency estimation of AX. 25 protocol." *Theoretical and Applied Informatics* 20.3 (2008): 199-214.
- [19] I. Wade, (ed.), **Automatic Position Reporting System. APRS Protocol Reference. Protocol Version 1.0**. Tucson Amateur Packet Radio Corporation, Tucson 2000.
- [20] W. A. Beech, D. E. Nielsen, J. Taylor J, **AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio**. Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 1997.
- [21] Foutzitzis, Evangelos K. "Multiple assets position determination in a 3-dimensional environment using the APRS protocol". Diss. Monterey California. Naval Postgraduate School, 2007.
- [22] ADDAIM, Adnane, Abdelhak KHERRAS, Abdelhafid ER-RADI EL Bachir ZANTOU, and Ecole Mohammedia d'ingénieurs. "Design of APRS Network using Low Cost Nanosatellite." In *The Seventh IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2005)*, Marrakech, Morocco. 2005.
- [23] Van Tonder, Hendrik Petrus. **Improving Automatic Position Reporting System (APRS) Throughput and Reliability**. Diss. Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2005.
- [24] Benson, Bridget. "Clarifying the Amateur Bell 202 Modem." (2014).
- [25] Ackermann, J. "Setting Your TNC's Audio Drive Level." (2014)
- [26] V. F. Alisouskas, W. Tomasi, **Digital and Data Communications**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1985.
- [27] Dale DePriest, Peter Bennett, Joe Mehaffey "NMEA data," Online available: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- [28] Telecommunications "Link budget" online Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget
- [29] Cushcraft "Antenna Polarization Considerations in Wireless Communications Systems" Online available: <http://www.cushcraft.com/comm/support/pdf/Antenna-Polarization-14B32.pdf>
- [30] The NXP Semiconductors UCODE product family reference datasheet equivalents to NXP SL3S4011_4021. Online Available http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SL3S4011_4021.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] I²C bus specification and user manual. Online available:
http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf
- [32] MAGICSTRAP® with I²C Interface Preliminary Data Sheet LXMS2HACNF-165 datasheet. Online. Available:
http://www.murata.com/~media/webrenewal/products/rfid/magicstrap/techguide/uhf_i2c_magicstrap_data_sheet.ashx
- [33] ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLEFLASH Online available:
<http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx>
- [34] DHT11-Humidity&Temperature Sensor Datasheet. Online available:
<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [35] J.Parthasarathy Member Technical Staff, Sun Microsystems Pvt ltd, India, Divyasree chambers, off-Langford road, Bangalore-560027, India. "POSITIONING AND NAVIGATION SYSTEM USING GPS" International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVI, Part 6, Tokyo Japan 2006
- [36] Brock, David L. "The electronic product code (epc)." Auto-ID Center White Paper MIT-AUTOID-WH-002(2001).
- [37] HX1 RadioMetrix VHF Narrow Band FM High Power (300mW) Datasheet Online available :<http://www.radiometrix.com/files/additional/hx1.pdf>
- [38] AS3992 UHF Reader IC EPC Class 1 Gen 2 Compatible Reader IC module Online available <http://ams.com/eng/Products/UHF-RFID/UHF-RFID-Reader-ICs/AS3992>
- [39] Wheeler, Harold. "The radiansphere around a small antenna." Proceedings of the IRE 47, no. 8 (1959): 1325-1331.
- [40] Rubber Ducky Antenna information detail Online available:
<http://www.abominablefirebug.com/RDuckey.html>
- [41] Kenwood TH-D7 Picture schematic GPS Connector. Online available:
<http://users.sch.gr/gxry/images/thd72gps4a.jpg>
- [42] APRS.fi APRS Database Web-Server. Online available:
http://aprs.fi/page/about_technical
- [43] Jayavardhana Gubbi a , Rajkumar Buyya b,* , Slaven Marusic a , Marimuthu Palaniswami a "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions" Future Generation Computer Systems 29 (2013) 1645–1660 journal homepage: www.elsevier.com/locate/fgcs
- [44] Chaiyasoonthorn S, Hongyim N and Mitatha, S:"Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area". In: Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015 15th International Conference on. IEEE, 2015. p. 85-88.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [45] N. Hongyim, S. Mitatha. "Building Automatic Antenna Tracking system for Low Earth Orbit (LEO) satellite communications." **2015 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)**. IEEE, 2015. pp.1-6
- [46] N. Hongyim, S. Mitatha. "USING RFID I2C NODE TO STORE SENSORS DATA FOR SMART FARMING PURPOSES" **International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence**, ISSN: 2321-404X, Volume-3, Issue-2, Nov-2015. pp. 99-101
- [47] นิมิตร หงษ์ยิม, สมศักดิ์ มิตะธา "Microcontroller Based for Smart Mushroom Cropping" บทความวิจัย การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8 ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand, 27-29 กรกฎาคม 2016 (*Best Paper Award) pp. 599-602
- [48] N. Hongyim, S. Mitatha. "The Grow Rate tracking System of the tree for Forest Industry" **The International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2016 (ICISIP 2016)** pp. 207-211
- [49] Alliance, LoRa. "LoRaWAN™ Specification." LoRa Alliance (2015).
- [50] APRS.fi APRS Database Query Web-Interface [online]. Available: http://aprs.fi/page/about_technical
- [51] Javi Martin "Programming AX.25 Technique" (2011)
- [52] APRS Internet Service "How APRS-IS is working" Online available: <http://www.aprs-is.net>
- [53] Vedder, P.J.C., "Modern Mushroom Growing. Stanley Thornes, Cheltenham", (1978), pp. 420.
- [54] Willits, D.H., Karnoski, T.K. and McClure, W.F., "A microprocessor-based control system for greenhouse research-Part I hardware". *Trans. ASAE*, 23: 1980, 68-692,698.
- [55] Tantau, H.-J., "The ITG digital greenhouse climate control system for energy saving", *Gartenbauwissenschaft*, 1984, 49: 140-143
- [56] Jennifer Jean Jurgens : "The Development of a Carbon-based Resistive Ink Flex Sensor for Use in an Instrumented Glove to Measure Relative Finger Positions" Iowa State University, 1995
- [57] Ponticelli, Roberto, and P. Gonzalez de Santos: "Full perimeter obstacle contact sensor based on flex sensors." *Sensors and Actuators A: Physical* 147.2 (2008): 441-448.
- [58] Credit picture of Geiger counter from WIKIPEDIA [GNU Free Documentation License](http://en.wikipedia.org/wiki/Geiger_counter). Online available: http://en.wikipedia.org/wiki/Geiger_counter
- [59] [Marc A. Shampo](#), PhD, [Robert A. Kyle](#), MD, and [David P. Steensma](#), MD[†] Mayo Clinic, Rochester, MN[†]Dana-Farber Cancer Institute, Boston MA "Hans Geiger—German Physicist and the Geiger Counter" *Mayo Clin Proc.* 2011 Dec; 86(12):e54.doi: [10.4065/mcp.2011.0638](https://doi.org/10.4065/mcp.2011.0638) PMC-ID: PMC3228631

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [60] Credit picture from Brohogan "DIY Geiger Counter" Online available: <https://sites.google.com/site/diygeigercounter/circuit-description>
- [61] Hilde levi "A Geiger Counter Arrangement Applied to Measurements of Radioactive Indicators in Biological Research" Published: Dec 2008
- [62] MicroSat WX3in1 Online available: http://microsat.com.pl/manual_download.php?file=wx3in1mini_v119_manual_english.pdf
- [63] SINE, LOOKUP TABLE CONTAINS. "Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS)."
- [64] Kenneth, W. 2014. "Examining Ambiguities in the Automatic Packet Reporting System."
- [65] Weaver, Joshua A. 2005. "An automated system to detect flash floods and alert at-risk communities" . Diss. Massachusetts Institute of Technology.
- Network, Simple Switched. "William Stallings Data and Computer Communications 7th Edition."



ภาคผนวก ก

Experiment data collection

A. Raw Data of Experiment #1 (Tracker#1-Embedded unit@20mW)

ตัวอย่างข้อมูลดิบบางส่วนในรูป heximal จำนวน Bytes ในแต่ละ Packet

2017-04-14 06:42:44 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q T 1 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355154312c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l < : n h i > / h t t p : / / b l o  
7141522c4532304246512d353a606c3c3a6e68693e2f687474703a2f2f626c6f  
0x40 g . s i a m s q . n e t  
672e7369616d73712e6e6574
```

2017-04-14 06:45:14 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q U 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355155322c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l ; E l l c > /  
7141522c4532304246512d353a606c3b456c201c3e2f
```

2017-04-14 06:46:32 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q U 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355155332c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l ; : m " # > /  
7141522c4532304246512d353a606c3b3a6d22233e2f
```

2017-04-14 06:46:56 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q S 1 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355153312c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l ; , p , * > / h t t p : / / b l o  
7141522c4532304246512d353a606c3b2c702c2a3e2f687474703a2f2f626c6f  
0x40 g . s i a m s q . n e t  
672e7369616d73712e6e6574
```

2017-04-14 06:48:58 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P V 5 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355056352c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l : c o | + > /  
7141522c4532304246512d353a606c3a636f7c2b3e2f
```

2017-04-14 06:49:28 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P S 1 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153355053312c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l : L p J , > /  
7141522c4532304246512d353a606c3a4c704a2c3e2f
```

2017-04-14 06:51:10 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y V 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153345956362c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l 9 , q ^ F > /  
7141522c4532304246512d353a606c392c715e463e2f
```

2017-04-14 06:51:51 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 0 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,  
4853314946552d363e3153345954302c57494445312d312c57494445322d312c  
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` l 8 v p h P > /  
7141522c4532304246512d353a606c38567068503e2f
```

2017-04-14 06:52:11 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y S 4 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4853314946552d363e3153345953342c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 8 9 p h] > /
 7141522c4532304246512d353a606c383970685d3e2f

2017-04-14 06:53:23 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954322c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 7 W m " 6 > /
 7141522c4532304246512d353a606c37576d22363e2f

2017-04-14 15:31:34 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 0 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954302c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 7 U m C > / h t t p : / / b l o
 7141522c4532304246512d333a606c37556d20433e2f687474703a2f2f626c6f
 0x40 g . s i a m s q . n e t
 672e7369616d73712e6e6574

2017-04-14 15:31:57 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954322c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 7 W l } ! > /
 7141522c4532304246512d333a606c37576c7d213e2f

2017-04-14 15:32:23 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 5 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954352c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 7 E n T g > /
 7141522c4532304246512d353a606c37456e54673e2f

2017-04-14 15:32:54 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954362c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 7 - n h a > /
 7141522c4532304246512d353a606c372d6e68613e2f

2017-04-14 15:33:24 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954362c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 6 7 f m } ` > / h t t p : / / b l o
 7141522c4532304246512d353a606c367f6d7c603e2f687474703a2f2f626c6f
 0x40 g . s i a m s q . n e t
 672e7369616d73712e6e6574

2017-04-14 15:33:34 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 7 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954372c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 6 | m S > /
 7141522c4532304246512d353a606c367c6d20533e2f

2017-04-14 15:35:06 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 0 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954302c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 7 l m ? lf> / h t t p : / / b l o
 7141522c4532304246512d353a606c376c6d3f1f3e2f687474703a2f2f626c6f
 0x40 g . s i a m s q . n e t
 672e7369616d73712e6e6574

2017-04-14 15:37:02 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y S 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345953362c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 8 l d n f } > /
 7141522c4532304246512d353a606c381d6e667d3e2f

2017-04-14 15:37:57 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954332c57494445312d312c57494445322d312c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 8 ^ p z a > / h t t p : / / b l o
7141522c4532304246512d353a606c385e707a613e2f687474703a2f2f626c6f
0x40 g . s i a m s q . n e t
672e7369616d73712e6e6574
```

2017-04-14 15:43:17 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q Q 1 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355151312c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 : a m > P > /
7141522c4532304246512d353a606c3a616d3e503e2f
```

2017-04-14 15:46:54 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q U 4 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355155342c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 : f l f ) > /
7141522c4532304246512d333a606c3a666c66293e2f
```

2017-04-14 15:48:55 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q V 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355156332c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 : S m K ) > /
7141522c4532304246512d353a606c3a536d4b293e2f
```

2017-04-14 15:50:26 ICT HS1IFU-6: 76 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q V 0 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355156302c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 : t l I # > / h t t p : / / b l o
7141522c4532304246512d353a606c3a746c49233e2f687474703a2f2f626c6f
0x40 g . s i a m s q . n e t
672e7369616d73712e6e6574
```

2017-04-14 15:52:26 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q U 8 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355155382c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 ; 1 1 c > /
7141522c4532304246512d353a606c3b206c201c3e2f
```

2017-04-14 15:53:26 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q U 4 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355155342c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 ; 7 l 1 c > /
7141522c4532304246512d333a606c3b376c201c3e2f
```

2017-04-14 15:57:50 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 Q T 5 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355154352c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 < 1 c m I F > /
7141522c4532304246512d353a606c3c1c6d49463e2f
```

B. Raw Data of Experiment #1 (Tracker#2 Kenwood TH-D7 5W)

ตัวอย่างข้อมูลดิบบางส่วนในรูป heximal จำนวน Bytes ในแต่ละ Packet

2017-04-13 06:08:33 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y X 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153345958332c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 C 1 c m T T > /
7141522c4532314549432d323a606c431c6d54543e2f
```

2017-04-13 06:10:27 ICT HS1IFU-6: 54 bytes

```
0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y V 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153345956362c57494445312d312c57494445322d312c
0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 B T m J O > /
7141522c4532314549432d323a606c42546d4a4f3e2f
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์กับการแข่งขันเพื่อการแข่งขัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2017-07-13 06:12:38 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y R 9 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345952392c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , H S 1 B L J - 1 : ` 1 B V m q R > /
 7141522c485331424c4a2d313a606c42566d71523e2f

2017-04-13 06:13:03 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y Q 7 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345951372c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , H S 1 B L J - 1 : ` 1 B \ m @ , > /
 7141522c485331424c4a2d313a606c425c6d402c3e2f

2017-04-13 06:14:26 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y R 0 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345952302c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 B & 1 q C > /
 7141522c4532304246512d353a606c42266c71433e2f

2017-04-13 06:18:22 ICT HS1IFU-6: 76 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y Q 7 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345951372c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , H S 1 B L J - 1 : ` 1 B (m r 7f> / h t t p : / / b l o
 7141522c485331424c4a2d313a606c42286d727f3e2f687474703a2f2f626c6f
 0x40 g . s i a m s q . n e t
 672e7369616d73712e6e6574

2017-04-13 06:18:52 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y R 9 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345952392c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , H S 1 B L J - 1 : ` 1 A z o - & > /
 7141522c485331424c4a2d313a606c417a6f2d263e2f

2017-04-13 06:19:22 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y T 4 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345954342c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 A j m _) > /
 7141522c4532314549432d323a606c416a6d5f293e2f

2017-04-13 06:19:53 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y U 8 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345955382c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 A [n i , > /
 7141522c4532314549432d323a606c415b6e692c3e2f

2017-04-13 06:20:54 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y X 5 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345958352c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 @ ~ p 6 k > /
 7141522c4532314549432d323a606c407e70366b3e2f

2017-04-13 06:21:24 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y Y 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345959322c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 @ g l ! F > /
 7141522c4532304246512d333a606c40676c21463e2f

2017-04-13 06:23:26 ICT HS1IFU-6: 54 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 4 Y Y 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153345959322c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 @ g l | z > /
 7141522c4532304246512d333a606c40676c7c7a3e2f

2017-04-13 06:23:54 ICT HS1IFU-6: 76 bytes
 0x00 H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P P 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
 4853314946552d363e3153355050332c57494445312d312c57494445322d312c
 0x20 q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 @ S p @ 7f> / h t t p : / / b l o

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้เข้าข่ายประโยชน์สาธารณะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

7141522c4532314549432d323a606c405370407f3e2f687474703a2f2f626c6f
0x40                                     g . s i a m s q . n e t
672e7369616d73712e6e6574

2017-04-13      06:24:25      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P R 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355052322c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 @ 2 o h 7f> /
7141522c4532314549432d323a606c40326f687f3e2f

2017-04-13      06:24:55      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P S 6 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355053362c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 ? } n } 1c> /
7141522c4532314549432d323a606c3f7d6e7d1c3e2f

2017-04-13      06:25:25      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P T 5 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355054352c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 ? 1 1 1c> /
7141522c4532314549432d323a606c3f6c6c201c3e2f

2017-04-13      06:27:06      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P T 7 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355054372c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 ? ? 1 , W > /
7141522c4532314549432d323a606c3f3f6c2c573e2f

2017-04-13      06:30:19      ICT HS1IFU-6:      76      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P T 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355054332c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 0 B F Q - 5 : ` 1 ? % m @ 1 > / h t t p : / / b l o
7141522c4532304246512d353a606c3f256d405d3e2f687474703a2f2f626c6f
0x40                                     g . s i a m s q . n e t
672e7369616d73712e6e6574

2017-04-13      06:32:17      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P T 3 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355054332c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 > v l r a > /
7141522c4532314549432d323a606c3e766c72613e2f

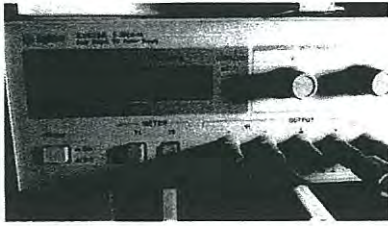
2017-04-13      06:33:17      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P T 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355054322c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 1 E I C - 2 : ` 1 > f m @ Z > /
7141522c4532314549432d323a606c3e666d405a3e2f

2017-04-13      06:35:58      ICT HS1IFU-6:      54      bytes
0x00      H S 1 I F U - 6 > 1 S 5 P V 2 , W I D E 1 - 1 , W I D E 2 - 1 ,
4853314946552d363e3153355056322c57494445312d312c57494445322d312c
0x20      q A R , E 2 0 B F Q - 3 : ` 1 > % l h 7f> /
7141522c4532304246512d333a606c3e256c687f3e2f

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C. Power Consumption data collection



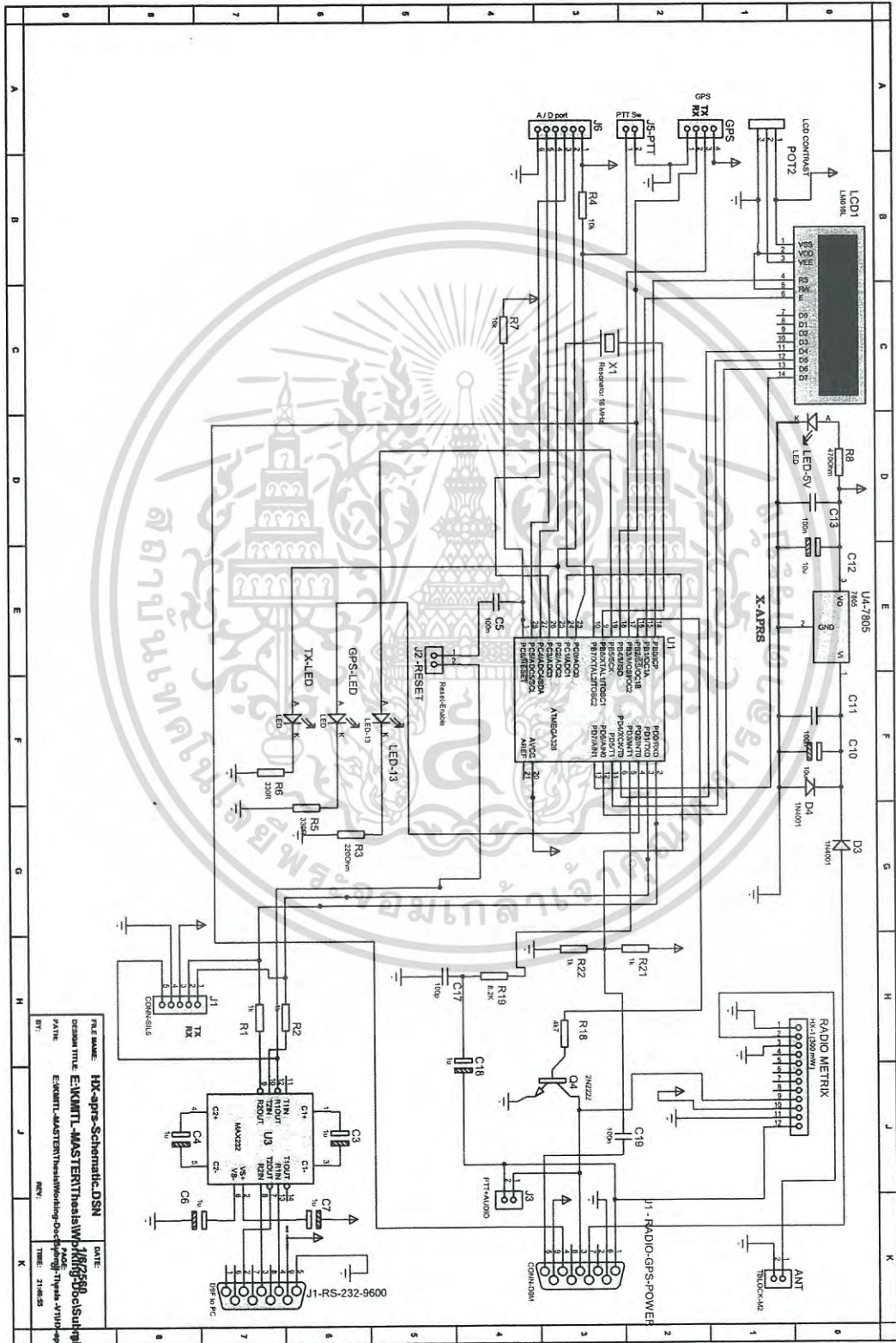
Bench Setup การวัดการสิ้นเปลืองของกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดเปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้ง 3 ชุด

@12VDC	TNC+ Transceiver	Kenwood	Tracker
Standby / ช่วงรับ	650mA	520mA	230mA
ช่วงส่งสัญญาณ #1	2,010mA	1,510mA	452mA
ช่วงส่งสัญญาณ #2	2,002mA	1,518mA	455mA
ช่วงส่งสัญญาณ #3	2,011mA	1,512mA	421mA
ช่วงส่งสัญญาณ #4	2,008mA	1,514mA	410mA
ช่วงส่งสัญญาณ #5	2,005mA	1,511mA	418mA
StandBy power (watts)	7.8	6.2	2.7
Avg TX Power (watts)	24.08	18.15	5.17

หมายเหตุ : ค่าของกระแสมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงที่ทำการทดสอบเพราะว่า GPS มีผลกระทบในการดึงกระแสในบางเวลา โดยทางเทคนิคไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข Tracker Schematic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. S.Chaiyasoonthorn, N. Hongyim, & S. Mitatha. "Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area." Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015 15th International Conference on. IEEE, October 13-16 2015. pp. 85-88.
2. N. Hongyim, S. Mitatha. "Building Automatic Antenna Tracking system for Low Earth Orbit (LEO) satellite communications." 2015 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). IEEE, 2015. pp.1-6
3. N. Hongyim, S. Mitatha. "USING RFID I2C NODE TO STORE SENSORS DATA FOR SMART FARMING PURPOSES" International Journal of Soft Computing and Artificial Intelligence, ISSN: 2321-404X, Volume-3, Issue-2, Nov-2015. pp. 99-101
4. นิมิตร หงษ์ยิ้ม, สมศักดิ์ มิตะถา "Microcontroller Based for Smart Mushroom Cropping" บทความวิจัย การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8 ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand, 27-29 กรกฎาคม 2016 (*Best Paper Award) pp. 599-602
5. N. Hongyim, S. Mitatha. "The Grow Rate tracking System of the tree for Forest Industry" The International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2016 (ICISIP 2016) pp. 207-211



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายนิมิตร หงษ์ยิ้ม
วัน เดือน ปีเกิด	18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2509
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	2559 บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการและบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตร วิทยาเขตบางเขน 2539 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. Embedded system 2. Data communication 3. Radio Frequency network
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน	กรรมการกลุ่ม Thailand IOT Consortium
พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน	ผู้ก่อตั้ง Makerholic และ Makeducation เพื่อทำกิจกรรมส่งเสริมนักประดิษฐ์ ในประเทศ ภายใต้การสนับสนุนจาก สวทช., และภาคเอกชน
พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์ วิทยาเขตนนทบุรี
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน	ที่ปรึกษา สมาคม RFID แห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน	กรรมการและผู้จัดการ บจ. ซิโนเล็ทซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ไทยแลนด์) บจ. ทรากอนการ์ด อินเทอร์เน็ตกรุ๊ป
พ.ศ. 2558 – ปัจจุบัน	นักวิจัยในโครงการที่ได้รับการส่งเสริม จาก โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) ภายใต้การกำกับดูแลของ สวทช กระทรวงวิทยาศาสตร์
พ.ศ. 2556 - 2558	ผู้อำนวยการอาวุโสฝ่ายปฏิบัติการ บจ.สตาร์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ. 2543 - 2556	Engineering Management for Catalyst Buseiness Unit of ON semiconductor Corp. Santa Clara, California, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้