



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบติดตามสภาพรถยนต์ระยะไกล

Car Environment Distance Tracking Systems

นายวสันต์ ไมตรี

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบติดตามสภาพรถยนต์ระยะไกล

Car Environment Distance Tracking Systems

นายวสันต์ ไมตรี

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา (ภาษาไทย) ระบบติดตามสภาพรถยนต์ระยะไกล

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายวสันต์ ไมตรี

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อ. บัณฑิต พัสยา, อ. จิระศักดิ์ สิทธิกร

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายสายฟ้า ชันธศักดิ์

สถานประกอบการ บริษัทโตโยต้าทรูโซ เน็กซ์ อีเล็กทรอนิกส์ จำกัด

บทคัดย่อ

ในอดีตการติดตามรถขนส่งที่มีหลากหลายและขนาดใหญ่สามารถทำได้จำกัดโดยเฉพาะสินค้าที่มีเงื่อนไขการเก็บรักษาและระบบการเชื่อมต่อข้อมูลภายในรถยนต์ที่มีราคาแพงจึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของรถขนส่งได้อย่างละเอียด ผู้พัฒนาจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของระบบในการติดตามรถขนส่งทั้งในด้านข้อมูลและประสิทธิภาพในการสื่อสารโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับยานยนต์ที่รองรับการสื่อสารภายในรถยนต์ที่เรียกว่าเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเฉพาะที่ (LIN) ซึ่งเป็นเครือข่ายสำหรับรถยนต์ที่สามารถส่งสัญญาณด้วยสายได้ไกล ใช้เพียงสายเดียว และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับการสื่อสารในรถยนต์ชนิดอื่น โดยเชื่อมต่อเข้ากับระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ที่จะสามารถทราบตำแหน่งที่อยู่ของรถขนส่งตามเวลาจริงและตัวรับรู้อุณหภูมิ ความชื้น และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลสำเร็จของโครงการที่ได้จะสามารถพัฒนาการติดตามสภาพรถขนส่งต่าง ๆ ได้ละเอียดมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ โดยสามารถรับรู้ถึงอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณก๊าซ และข้อมูลเพิ่มเติมตามที่ลูกค้าต้องการให้ติดตั้งเพิ่มเติม

Cooperative Title: Car Environment Distance Tracking Systems

Student intern name: Mr. Vason Maitree

Faculty: Engineering Department: Computer Engineering

Advisor name: Mr. Bundit Pasaya, Mr. Jirasak Sittigorn

Mentor name: Mr. Saifa Khantasak

Company: TOYOTA TSUSHO NEXTY ELECTRONICS (THAILAND) CO., LTD.

ABSTRACT

In the past, Implementation of large and several logistic car tracking system is limited especially product that keeps in condition and data communication in car is use cost. Developer want to research and development performance of logistic car tracking system both data and communication using automotive microcontroller that supported automotive communication called local interconnect network (LIN). LIN is long-range single wired communication and cheaper than another automotive communication. System also interfacing with global positioning system (GPS) to locate logistic car and knows data from sensors such as temperature, humidity and CO₂ sensor

Accomplishment of project is improvement of environment of logistic car tracking system such as temperature, humidity and CO₂ sensor or another topics that customer interested.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณบริษัทโตโยต้า ทูริโซ่ เน็กซ์ อีเล็คทรอนิกส์ จำกัด ที่ให้โอกาสได้พัฒนาฝีมือและร่วมเป็นส่วนหนึ่งในความสำเร็จของโครงการโดยเฉพาะผู้นิเทศงาน นายสายฟ้า ชันธศักดิ์ นายมาขามิ อีคุระ หัวหน้าทีม และทีมงานวิจัยและพัฒนา แผนกวิศวกรฝ่ายขายอุปกรณ์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษา รวมถึงคำแนะนำตลอดการทำงานทำให้ข้าพเจ้ามีทักษะ และความชำนาญเพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ในการประกอบอาชีพได้ในอนาคต

ขอบคุณ อาจารย์บัณฑิต พัสยา ที่อำนวยความสะดวกในการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ให้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี และขอบคุณบุคคลใกล้ชิดทุก ๆ ท่านที่ให้ความสนใจในการทำสหกิจศึกษาผ่านไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นที่เป็นส่วนสำคัญในทำให้รายงานเล่มนี้ออกมา สมบูรณ์ที่สุด และทำให้สหกิจศึกษาสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 วิธีการดำเนินการทำโครงการ.....	1
1.4.1 เอกสารข้อเสนอแนะและการพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept).....	1
1.4.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์.....	2
1.4.3 การออกแบบเฟิร์มแวร์และเว็บแอปพลิเคชัน.....	2
1.4.4 การติดตั้งและทดสอบระบบ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2.....	3
2.1 Local Interconnect Network.....	3
2.2 High Speed Packet Access.....	6
2.3 ชุดคำสั่ง Hayes และ คำสั่ง AT.....	6
2.4 Global Navigation Satellite System (GNSS) และ Global Positioning System (GPS).....	7
บทที่ 3.....	8
3.1 สถาปัตยกรรมของระบบและการพิสูจน์แนวคิด.....	8

3.1.1	ความต้องการและแผนภาพของระบบ.....	8
3.1.2	แผนการทำงาน (Gantt chart).....	8
3.1.3	การพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept).....	9
3.1.4	การออกแบบหน้าเว็บแอปพลิเคชัน	11
3.2	การออกแบบฮาร์ดแวร์	12
3.2.1	ส่วน Sensor Node	12
3.2.2	ส่วน Main Controller Board	12
3.3	การออกแบบเฟิร์มแวร์และเว็บแอปพลิเคชัน.....	13
3.3.1	ส่วน Sensor Node	13
3.3.2	ส่วน Main Controller และ Mother Ublox.....	15
3.3.3	ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน	19
บทที่ 4	20
4.1	การทดลองอุปกรณ์รับรู้ (Sensor).....	20
4.1.1	วัตถุประสงค์.....	20
4.1.2	ขั้นตอนการทดสอบ	20
4.1.3	ผลการทดลอง.....	20
4.1.4	สรุปผลการทดลองและการแก้ปัญหา.....	23
บทที่ 5	24
5.1	ผลการดำเนินการ	24
5.2	ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น.....	24
5.3	ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำสหกิจ.....	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก ก	27
ก.1	ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM8A	27

ก.2 ไมโครคอนโทรเลอร์ STM32	29
ก.3 Ublox SARA-U2.....	31
ก.4 Ublox MAX-M8	32
ก.5 BME680	33
ก.6 MH-Z14A.....	33
ก.7 DS18B20.....	34
ภาคผนวก ข.....	35
ข.1 คุณสมบัติของวงจรรวม Main Controller.....	35
ข.2 คุณสมบัติของวงจรรวม Sensor Node.....	36
ข.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ BME680.....	36
ข.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ MH-Z14A.....	37
ข.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ DS18B20.....	38
ข.6 คุณสมบัติของโมดูล SARA U-201.....	38
ข.7 คุณสมบัติของโมดูล SARA U-201.....	40
ภาคผนวก ค.....	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างวิธีการคิดค่าผลรวมตรวจสอบของข้อมูลและข้อมูลสำหรับระบุตัวตน.....	5
2.2 คำสั่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย 3G.....	7
3.1 ตารางแผนการดำเนินงาน.....	9
3.2 ตารางความหมายของแต่ละข้อมูลใน GPS RMC.....	17
4.1 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าอุณหภูมิ.....	21
4.2 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าความชื้นสัมพัทธ์.....	21
4.3 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าความดัน.....	22
4.4 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	23
ข.1 คุณสมบัติของวงจรรวม Main Controller.....	35
ข.2 คุณสมบัติของวงจรรวม Sensor Node.....	36
ข.3 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ BME680.....	36
ข.4 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ MH-Z14A.....	37
ข.5 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ DS18B20.....	38
ข.6 รายละเอียดความสามารถการใช้งานเครือข่ายมาตรฐาน 3G.....	38
ข.7 รายละเอียดความสามารถการใช้งานเครือข่ายมาตรฐาน 2G.....	39
ข.8 รายละเอียดความสามารถการใช้งานเครือข่ายมาตรฐาน 3G.....	40

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเชื่อมต่อและภาระงานของแต่ละอุปกรณ์ในกลุ่มสื่อสาร LIN.....	3
2.2 การเชื่อมต่อและภาระงานของแต่ละอุปกรณ์ในกลุ่มสื่อสาร LIN.....	4
2.3 รายละเอียดในส่วนข้อมูลแสดงตัวตน (Identifier).....	5
3.1 ระบบของโครงการ.....	8
3.2 แผนภาพสรุปแนวคิด.....	10
3.3 อธิบายการเชื่อมต่อสำหรับบอร์ดอุปกรณ์เสริมสำหรับต่อพ่วง.....	10
3.4 ระบบของโครงการในการพิสูจน์แนวคิด.....	11
3.5 อธิบายส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน.....	11
3.6 วงจรโดยสังเขปของ Sensor Node.....	12
3.7 วงจรโดยสังเขปของ Main Controller และ Ublox Mother Board.....	13
3.8 อธิบายการทำงานของโปรแกรมใน Sensor Node.....	14
3.9 การบันทึกข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ในส่วนแอปพลิเคชัน.....	15
3.10 สถานะของการสื่อสารแบบ LIN ของอุปกรณ์ที่เป็นบ่าว.....	15
3.11 แผนภาพสถานะของการสื่อสารแบบ LIN ของอุปกรณ์ที่เป็นนาย.....	16
3.12 ตัวอย่างของการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่เป็นบ่าวหมายเลข 1.....	16
3.13 การทำงานของการตั้งค่าและส่งข้อมูลของโมดูล 3G.....	18
3.14 ตัวอย่างของหน้าต่างของเว็บแอปพลิเคชัน.....	19
4.1 แผนภูมิเส้นของค่าอุณหภูมิที่ได้ใน 24 ชั่วโมง.....	20

4.2 แผนภูมิเส้นของค่าความชันสัมพัทธ์ที่ได้ใน 24 ชั่วโมง.....	21
4.3 แผนภูมิเส้นของค่าความดันที่ได้ใน 24 ชั่วโมง.....	22
4.4 แผนภูมิเส้นของค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ใน 24 ชั่วโมง.....	22
ก.1 สถาปัตยกรรมแบบ Harvard.....	27
ก.2 การทำงานแบบสายท่อ 3 ด้าน (3 Stage Pipeline)	27
ก.3 การเปรียบเทียบการทำคำสั่ง 1 คำสั่งของคำสั่งแบบ RISC และ CISC	28
ก.4 การเปรียบเทียบโปรแกรมการคูณของ Address 0 และ 1 ของคำสั่ง RISC และ CISC.....	28
ค.1 กล่องบรรจุภัณฑ์สำหรับ Sensor Node.....	42
ค.2 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 1 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง	42
ค.3 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 1 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่งพร้อมอุปกรณ์รับรู้.....	43
ค.4 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 2 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง	43
ค.5 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 2 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่งพร้อมอุปกรณ์รับรู้.....	44
ค.6 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับรู้และไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave Node	44
ค.7 กล่อง Master Node ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง.....	45
ค.8 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับรู้และไมโครคอนโทรลเลอร์ Master Node	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมในการส่งสินค้ามีขนาดใหญ่มากขึ้น ทำให้การตรวจสอบสินค้าต่าง ๆ เป็นไปได้ยากขึ้นโดยเฉพาะสินค้าที่มีเงื่อนไขในการเก็บรักษาเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ทางบริษัทจึงเห็นความสำคัญของการตรวจสอบรถขนส่งสินค้าที่สามารถติดตามได้ทั้งตำแหน่งที่อยู่ และข้อมูลอื่น ๆ ที่ลูกค้าสามารถติดตามได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ระบบสามารถระบุตำแหน่งที่อยู่ของรถขนส่งสินค้าได้
- 2) ระบบสามารถรับข้อมูลเพิ่มเติมที่ลูกค้าต้องการในแต่ละรถขนส่งสินค้าเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น
- 3) ระบบสามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์แม่ข่ายและแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันได้ตามเวลาจริง
- 4) ระบบสามารถแจ้งเตือนลูกค้าเมื่อมีข้อมูลค่าใดค่าหนึ่งสูงกว่าหรือต่ำกว่าที่กำหนด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ระบบสามารถระบุตำแหน่งที่อยู่ของรถขนส่งสินค้าในบริเวณถนนหรือบริเวณสถานที่เปิด
- 2) ระบบสามารถสำรองข้อมูลในกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อเครือข่ายได้ในระยะเวลาสั้น
- 3) เว็บแอปพลิเคชันสามารถกำหนดช่วงเวลาในการปรับปรุงข้อมูลที่แสดงผลให้เป็นข้อมูลล่าสุดแต่ละครั้งได้

1.4 วิธีการดำเนินการทำโครงการ

1.4.1 เอกสารข้อเสนอแนะและการพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept)

ทางผู้พัฒนาจัดทำเอกสารโครงการ ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ รวมทั้งพิสูจน์แนวคิดโดยออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ต้นแบบ และหน้าเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อทวนความต้องการของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ทางผู้พัฒนาออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ตั้งแต่การคัดสรรไมโครคอนโทรลเลอร์ การสร้างแผนภาพวงจร (Schematic) การออกแบบ ผลิตและรวบรวมวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board) และการตรวจสอบวงจร

1.4.3 การออกแบบเฟิร์มแวร์และเว็บแอปพลิเคชัน

ทางผู้พัฒนาออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบไว้เพื่อส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่าย และออกแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรับและแสดงข้อมูลที่ได้

1.4.4 การติดตั้งและทดสอบระบบ

ทางผู้พัฒนาออกแบบและผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์รวมถึงการติดตั้งและทดสอบระบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ลูกค้าสามารถทราบตำแหน่งที่อยู่ของรถขนส่งสินค้าได้
- 2) ลูกค้าสามารถรับรู้ข้อมูลเพิ่มเติมที่ลูกค้าต้องการในแต่ละรถขนส่งสินค้าเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น
- 3) ลูกค้าสามารถดูข้อมูลที่แสดงผลผ่านแอปพลิเคชันได้ตามเวลาจริง
- 4) ลูกค้าสามารถทราบแจ้งเตือนลูกค้าเมื่อมีข้อมูลค่าใดค่าหนึ่งสูงกว่าหรือต่ำกว่าที่กำหนด

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

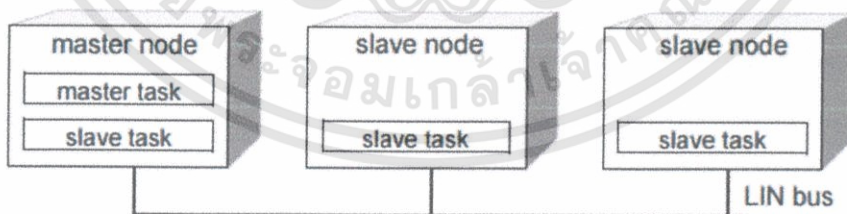
2.1 Local Interconnect Network

Local Interconnect Network (LIN) เกิดขึ้นในปี 1985 โดยเป็นการสร้างโปรโตคอลจากการสื่อสารอนุกรมดั้งเดิมคือ Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) เพื่อให้เป็นมาตรฐานเครือข่ายของอุปกรณ์รับรู้ (Sensor) และเครื่องกระตุ้นสัญญาณภายในยานยนต์ โดยมุ่งเน้นไปที่ความประหยัดและเป็นมิตรต่อเศรษฐกิจ

ข้อดีของการสื่อสารแบบ LIN คือใช้สายเส้นเดียวเท่านั้น โดยมีอุปกรณ์ที่เป็นนาย (Master) เพียงตัวเดียวที่สามารถควบคุมการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ที่เป็นบ่าว (Slave) พร้อมทั้งสามารถคาดเดาเวลาที่คาดเคลื่อนในการส่งสาร (Propagation Time) ได้

แนวคิดในระบบ LIN ต้องการพัฒนารูปแบบการสื่อสารและเครื่องมือที่ใช้ได้โดยมีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่สนใจโดยไม่กระทบอุปกรณ์อื่นทำให้เพิ่มความเร็วและความน่าเชื่อถือในการพัฒนาระบบ LIN ประกอบไปด้วยภาษาในการตั้งค่า LIN ซึ่งแก้ปัญหาคือการสื่อสารได้ปลอดภัยโดยไม่ทำลายการสื่อสารส่วนหนึ่งของ LIN เช่นข้อความไม่สามารถใช้ในการเชื่อมต่อแบบ LIN หรือภาวะของกลุ่มการสื่อสารที่สูงเกินไป

หลักการการทำงานของอุปกรณ์ที่เป็นนายจะมีงานที่มีทั้งส่วนนายและบ่าว ในขณะที่อุปกรณ์ที่เป็นบ่าวจะมีงานของบ่าวเท่านั้น

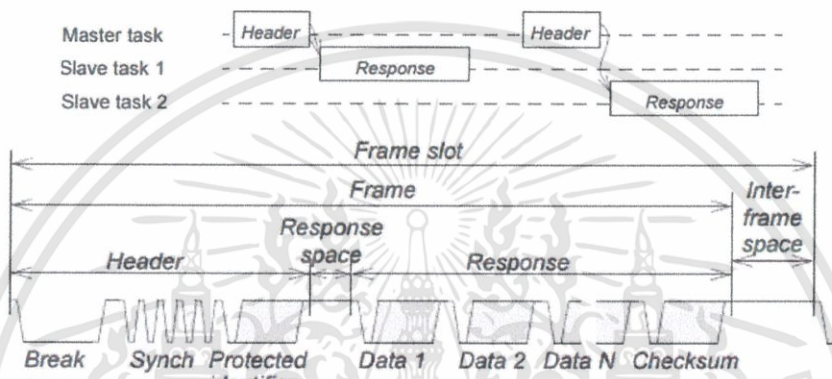


ภาพที่ 2.1 การเชื่อมต่อและภาระงานของแต่ละอุปกรณ์ในกลุ่มสื่อสาร LIN [1]

กรอบข้อมูล (Data Frame) ของระบบประกอบด้วยข้อความส่วนหัว (Header) ที่สร้างจากงานของนาย และข้อความตอบกลับ (Response) ที่สร้างจากงานส่วนบ่าว

ซึ่งตรงกับเป้าหมายดังกล่าวคือ

- 1) ความยืดหยุ่นของระบบโดยแต่ละอุปกรณ์สามารถเพิ่มเข้ามาในกลุ่มการสื่อสารโดยไม่ต้องตั้งค่าอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม
- 2) การกำหนดเส้นทางของข้อความโดยสามารถกำหนดได้ที่ข้อมูลสำหรับระบุตัวตน
- 3) การส่งละรับข้อมูลด้วยหลาย ๆ อุปกรณ์จากกรอบข้อมูลเดียว



ภาพที่ 2.2 กรอบข้อมูลการสื่อสาร LIN [1]

กรอบข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารแบบ LIN ส่วนหัว (Header) สำหรับส่วนงานของนาย (Master) ที่ส่งให้ทั้งเครือข่ายมีทั้งหมด 3 ส่วนคือ

- 1) ส่วนข้อมูลคั่นกรอบข้อมูล (Break) เป็นข้อมูลที่ใช้เป็นสัญลักษณ์ในการขึ้นต้นกรอบข้อมูล สร้างจากงานของนายในอุปกรณ์ที่เป็นนาย ประกอบด้วยบิต '0' จำนวน 13 บิต
- 2) ส่วนรูปแบบสำหรับการประสานข้อมูล (Synchronization Field) เป็นข้อมูลที่สร้างจากอุปกรณ์ที่เป็นนาย เพื่อให้อุปกรณ์ที่เป็นบ่าวสามารถตรวจจับข้อมูลก่อนที่จะเข้าสู่ข้อมูลส่วนยืนยันตัวตนได้ ประกอบไปด้วยข้อมูล 0x55 และเมื่อรวมบิตเริ่มต้นและบิตหยุดเข้าไปด้วยจะมีจำนวน 10 บิต
- 3) ส่วนข้อมูลสำหรับระบุตัวตน (Identifier) เป็นเลขขนาด 8 บิตโดยบิตที่ 0 ถึง 5 เป็นหมายเลขระบุตัวตนตั้งแต่ 0-63 โดยหมายเลข 0-59 สำหรับข้อความสัญญาณ หมายเลข 60 และ 61 สำหรับข้อความการวินิจฉัย (Diagnostic) และหมายเลข 62 และ 63 สำหรับหมายเลข

สำหรับ ส่วนบิตที่ 6 และ 7 เป็นบิตคัลยภาพ (Parity) สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของ
หมายเลขระบุตัวตนตามสูตรดังต่อไปนี้

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4 \quad (2.1)$$

$$P1 = \neg (ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5) \quad (2.2)$$

โดยปกติแล้วข้อมูลสำหรับระบุตัวตนนั้นจะใช้สำหรับกำหนดอุปกรณ์ที่จะส่งข้อความตอบ
กลับโดยเฉพาะการเชื่อมต่อแบบ LIN ที่มีอุปกรณ์ที่เป็นบ่าวมากกว่า 1 ตัว



ภาพที่ 2.3 รายละเอียดในส่วนข้อมูลแสดงตัวตน

กรอบข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารแบบ LIN ส่วนข้อความตอบกลับ (Response) สำหรับส่วนงานของบ่าว
(Slave) ที่ส่งให้ทั้งเครือข่ายมีทั้งหมด 2 ส่วนคือ

- 1) ส่วนข้อมูล (Data) เป็นข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปที่อุปกรณ์ตัวอื่น ๆ โดยมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 8
ไบต์โดยสามารถปรับได้
- 2) ส่วนการตรวจสอบข้อมูล (Checksum) เป็นข้อมูลขนาด 1 ไบต์ที่นำส่วนข้อมูลและ
ส่วนข้อมูลสำหรับระบุตัวตนมาบวกกันเพื่อให้ผู้รับข้อมูลเป็นผู้ตรวจสอบ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างวิธีการคิดค่าผลรวมตรวจสอบของข้อมูลและข้อมูลสำหรับระบุตัวตน [1]

การกระทำ	ผลรวม	ตัวทศ	ข้อมูล Checksum ในรูปเลขฐานสอง
4A ₁₆	4A ₁₆	0	01000101 ₂
+ 55 ₁₆	9F ₁₆	0	10011111 ₂
+ ตัวทศ	9F ₁₆		10011111 ₂
+ 93 ₁₆	132 ₁₆	1	00110010 ₂

การกระทำ	ผลรวม	ตัวทศ	ข้อมูล Checksum ในรูปเลขฐานสอง
+ ตัวทศ	33_{16}		00110011_2
+ $E5_{16}$	118_{16}	1	00011000_2
+ ตัวทศ	19_{16}		00011001_2
กลับบิต	$E6_{16}$		11100110_2

จากตัวอย่างในตารางที่ 2.1 ค่าตรวจสอบข้อมูลที่ได้อคือ $E6_{16}$ เมื่อส่งค่าให้ผู้รับ ผู้รับจะทำการคำนวณผลรวมตรวจสอบอีกครั้งโดยไม่ทำการกลับบิตเมื่อนำข้อมูลที่ได้รับคำนวณไปรวมกับส่วนตรวจสอบข้อมูลที่ได้รับมาต้องได้ FF_{16} ถือว่าเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง

สำหรับข้อเสียของการสื่อสารแบบ LIN คือเป็นการสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา (Half-Duplex) คือเป็นการสื่อสารที่อุปกรณ์หนึ่งสามารถทำได้ทั้งการส่งและการรับ แต่ไม่สามารถส่งและรับพร้อมกันได้ รวมถึงการส่งข้อมูลมีจำนวนไบต์ที่จำกัด และมีความเร็วที่ค่อนข้างช้าเหมือนเทียบกับการสื่อสารแบบอื่น ๆ

2.2 High Speed Packet Access

High Speed Packet Access (HSPA) เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ให้ความเร็วสูง ถูกจัดอยู่ในมาตรฐานโทรศัพท์มือถือยุคที่ 3 (3G) ซึ่งเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่พัฒนาต่อจาก WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลสู่ผู้ใช้ในเครือข่าย WCDMA ตามมาตรฐานมากขึ้นโดย HSPA ได้แบ่งออกเป็น 2 มาตรฐานคือ HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) เป็นมาตรฐานเครือข่ายที่จัดการในส่วนของการดาวน์โหลด (Download) ได้หลายช่วงความเร็วตั้งแต่ 1.8 เมกะบิตต่อวินาทีถึง 14.4 เมกะบิตต่อวินาที และ HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) เป็นมาตรฐานเครือข่ายที่จัดการในส่วนของการอัปโหลด (Upload) ได้สูงสุด 5.76 เมกะบิต

2.3 ชุดคำสั่ง Hayes และ คำสั่ง AT

Hayes command เป็นภาษาคำสั่งที่สร้างโดย Dennis Hayes เป็นภาษาที่ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์สื่อสารไร้สายโดยอุปกรณ์เริ่มแรกที่ใช้ภาษาดังกล่าวคือโมเด็ม 300 บิตต่อวินาที (300 Baud Modem) ชุดคำสั่งประกอบไปด้วย ชุดของสายอักขระขนาดสั้นที่สามารถผสมคำสั่งหรือตัวดำเนินการ

เพื่อสร้างคำสั่งสำหรับโมเด็ม แต่ในปัจจุบันคำสั่งมีหลากหลายมากยิ่งขึ้นตามความสามารถของ
คุณลักษณะและความเร็วของอุปกรณ์สื่อสารในปัจจุบัน ทำให้มีการพัฒนาชุดคำสั่งออกมาจนถึงรุ่น
ปัจจุบัน เช่นการเพิ่มคำสั่งที่สามารถทำได้เฉพาะอุปกรณ์ด้วยอักษรนำหน้า & เป็นต้น Hayes
Command นิยมเรียกในนาม AT Command โดย AT มีความหมายว่าข้อควรคำนึง (Attention)

ตารางที่ 2.2 คำสั่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย 3G

คำสั่งที่ป้อน	ความหมาย
AT	คำสั่งตรวจสอบการเชื่อมต่อจากโทรศัพท์ เมื่อการเชื่อมต่อไม่เกิด ข้อผิดพลาดใด ๆ จะได้รับข้อความตอบกลับด้วยคำว่า OK
AT+COPS	คำสั่งสำหรับค้นหาเครือข่ายโดยเมื่อสั่ง AT+COPS=0 จะเป็นการค้นหาผู้ให้ บริการอัตโนมัติตามซิม (SIM) ที่ใส่
AT+UHTTP	ตั้งค่า Server URL, Port และปรับแต่ง Header
AT+UHTTPC	รับหรือส่งค่าจาก Server ผ่าน HTTP Protocol

2.4 Global Navigation Satellite System (GNSS) และ Global Positioning System (GPS)

Global Navigation Satellite System (GNSS) เป็นระบบในการค้นหาตำแหน่งที่อยู่โดยมี
อยู่หลากหลายระบบเช่น GPS, GLONASS, Galileo หรือ BeiDou ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ GPS ซึ่งได้
นำมาถูกใช้เป็นโครงงานนี้

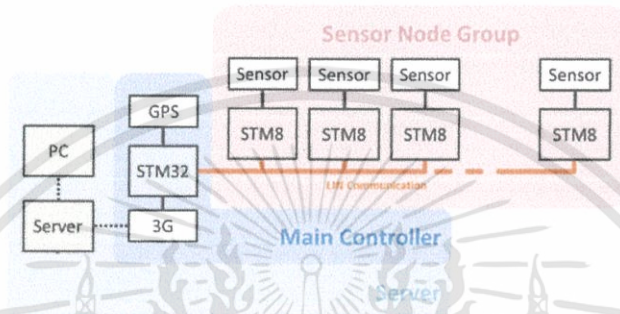
Global Positioning System (GPS) เป็นระบบการค้นหาตำแหน่งบนโลกที่พัฒนาขึ้นโดย
รัฐบาลของสหรัฐอเมริกาและควบคุมโดยกองทัพอากาศของสหรัฐอเมริกาโดยให้ข้อมูลตำแหน่งทาง
ภูมิศาสตร์และเวลาไปยังอุปกรณ์ที่รับข้อมูล GPS เมื่อดาวเทียมของ GPS สามารถจับตำแหน่งที่อยู่ได้
4 ดาวเทียมขึ้นไป หากถูกบดบังด้วยอาคารหรือภูเขาจะไม่สามารถจับตำแหน่งสัญญาณของ GPS ได้
เนื่องจากสัญญาณอ่อน การรับข้อมูลตำแหน่งทางภูมิศาสตร์นั้นไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลใด ๆ ก่อน
รวมทั้งเครือข่าย GPS ไม่มีการจำกัดการเข้าถึงบุคคล สามารถใช้ได้ทุกคนที่มีอุปกรณ์ที่รับข้อมูล GPS

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาโครงงาน

3.1 สถาปัตยกรรมของระบบและการพิสูจน์แนวคิด

3.1.1 ความต้องการและแผนภาพของระบบ



ภาพที่ 3.1 ระบบของโครงงาน

จากแผนภาพของระบบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1) ส่วน Sensor Node Group เป็นส่วนที่นำอุปกรณ์รับรู้ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ STM8A โดยเชื่อมต่อตามประเภทของอุปกรณ์รับรู้เช่น สัญญาณขาเข้าแบบดิจิทัลหรือแอนาล็อก หรือ การสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างอุปกรณ์รับรู้และไมโครคอนโทรลเลอร์ I2C (Inter-Integrated Circuit) หรือ SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นต้น โดย Sensor Node ทุกเครื่องจะสื่อสารกับ Main Controller ด้วยการสื่อสารอนุกรมแบบ LIN Communication
- 2) ส่วน Main Controller เป็นส่วนที่นำข้อมูลที่ได้จาก Sensor Board ทุกเครื่องและโมดูล GPS ส่งไปยัง Server ผ่านโมดูล (Module) 3G
- 3) ส่วน Server เป็นส่วนที่รับข้อมูลมาจาก Main Controller ผ่านการสื่อสาร 3G เพื่อนำมาแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน

3.1.2 แผนการทำงาน (Gantt chart)

แผนการทำงานประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักได้แก่การออกแบบและพิสูจน์แนวคิด เพื่อทวนการออกแบบระบบ การออกแบบฮาร์ดแวร์และแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board)

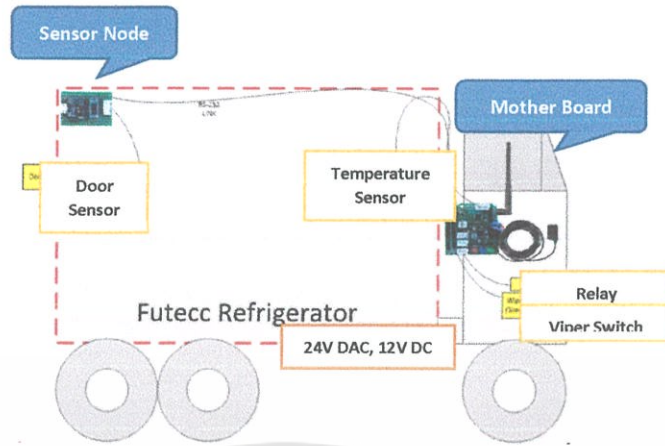
หรือ PCB) การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมฮาร์ดแวร์และเว็บแอปพลิเคชัน และการทำบรรจุภัณฑ์รวมถึงการติดตั้งและทดสอบระบบ

ตารางที่ 3.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

No.	หัวข้อ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.1	แผนภาพระบบ	↔					
1.2	จัดทำเอกสาร	↔					
1.3	ออกแบบการพิสูจน์แนวคิด	↔					
1.4	ทำหน้าเว็บต้นแบบ	↔					
1.5	พัฒนาการพิสูจน์แนวคิด		↔				
1.6	สรุปการพิสูจน์แนวคิด			↔			
2.1	ออกแบบแผนภาพวงจร		↔				
2.2	ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์		↔				
2.3	รวบรวมจัดซื้อชิ้นส่วนวงจร			↔			
2.4	ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์				↔		
2.5	การประกอบแผ่นวงจรพิมพ์				↔		
2.6	ทดสอบวงจร					↔	
3.1	ฝึกการใช้ STM8A MCU	↔					
3.2	ฝึกการใช้ STM32 MCU	↔					
3.3	พัฒนาส่วน Main Controller					↔	
3.4	พัฒนาส่วน Sensor Node					↔	
3.5	พัฒนาส่วน Web UI					↔	
3.6	ทดสอบระบบ						↔
4.1	ผลิตบรรจุภัณฑ์						↔
4.2	ติดตั้งบรรจุภัณฑ์						↔

3.1.3 การพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept)

ทดลองพิสูจน์แนวคิด (Proof of Concept) โดยการออกแบบลงไมโครคอนโทรเลอร์และโมดูลต้นแบบ โดยในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Uno เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ต้นแบบ



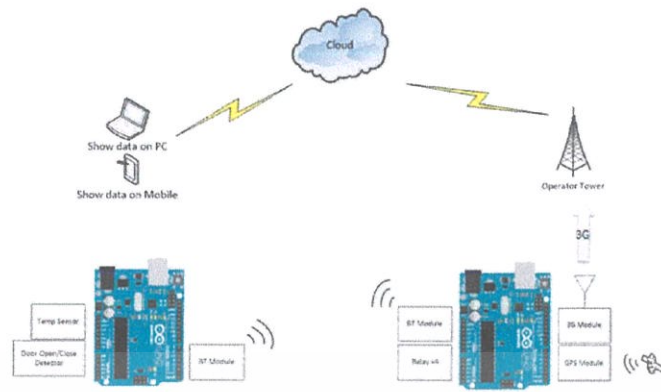
ภาพที่ 3.2 แผนภาพสรุปแนวคิด

โดยภายในกล่องอุปกรณ์มีการเชื่อมต่อดังนี้

- 1) บอร์ดอุปกรณ์เสริมสำหรับต่อฟ่วงอุปกรณ์รับรู้และบอกสถานะของไฟ
- 2) บอร์ด QUECTEL-U20 เป็นบอร์ดสำหรับ 3G และ GPS
- 3) บอร์ด Arduino Uno เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลักในการประมวลผล



ภาพที่ 3.3 อธิบายการเชื่อมต่อสำหรับบอร์ดอุปกรณ์เสริมสำหรับต่อฟ่วง



ภาพที่ 3.4 ระบบของโครงงานในการพิสูจน์แนวคิด

โดยมีคุณสมบัติการทำงานคือ

- 1) สามารถวัดอุณหภูมิภายในตู้เก็บสินค้า
- 2) สามารถอ่านตำแหน่งของรถขนส่งสินค้าโดยใช้ค่า GPS
- 3) สามารถอ่านค่าปุ่มสองตัว เสมือนเป็นการใช้ที่ปัดน้ำฝนและประตู
- 4) สามารถอ่านค่าจากเว็บแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดของรีเลย์
- 5) เว็บแอปพลิเคชันสามารถอ่านค่าการใช้ที่ปัดน้ำฝน ประตู ค่าอุณหภูมิ และตำแหน่งที่อยู่ด้วย GPS ได้

3.1.4 การออกแบบหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

หน้าเว็บแอปพลิเคชันสามารถบอกตำแหน่งผ่านแผนที่ได้โดยใช้บริการของ Google API และเก็บค่าลงฐานข้อมูลได้



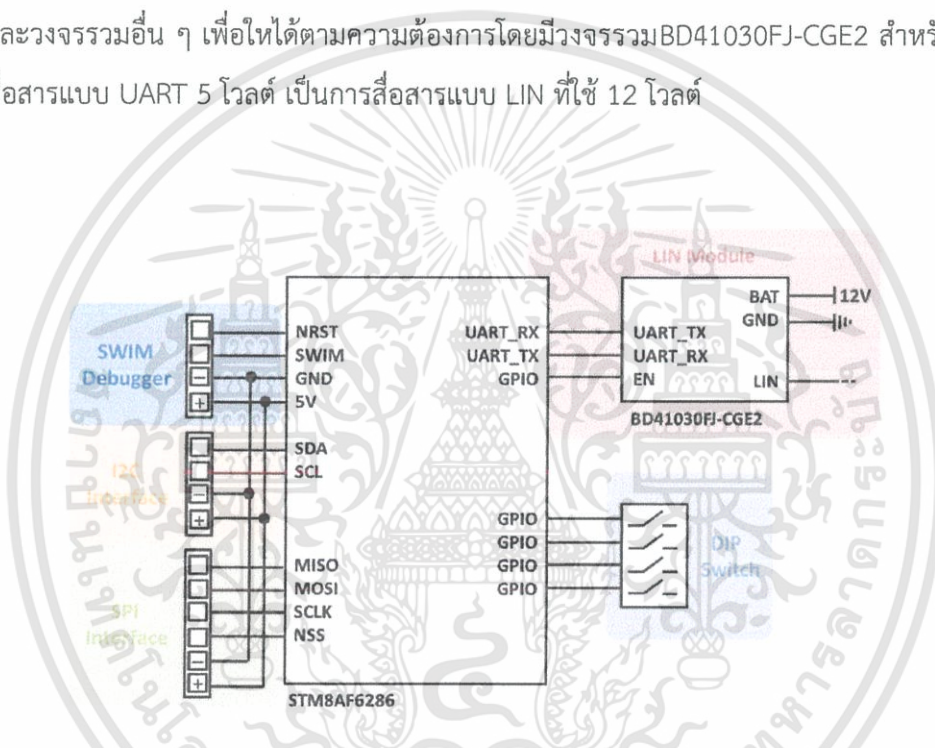
ภาพที่ 3.5 อธิบายส่วนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แบ่งออกเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ 3 แบบคือ

3.2.1 ส่วน Sensor Node

เป็นแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์รับรู้หลาย ๆ ประเภทและเป็นอุปกรณ์ที่เป็นบ่าวในการสื่อสาร LIN ที่ข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ไปยังอุปกรณ์ที่นายโดยใช้ชื่อว่า Sensor Node ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 Sensor Node ในระบบ Sensor Node ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM8A6286 ซึ่งเป็นรองรับ LIN 2.1 มี Flash Memory ขนาด 64 KB และ RAM Memory ขนาด 6 KB และวงจรรวมอื่น ๆ เพื่อให้ได้ตามความต้องการโดยมีวงจรรวม BD41030FJ-CGE2 สำหรับแปลงการสื่อสารแบบ UART 5 โวลต์ เป็นการสื่อสารแบบ LIN ที่ใช้ 12 โวลต์



ภาพที่ 3.6 วงจรโดยสังเขปของ Sensor Node

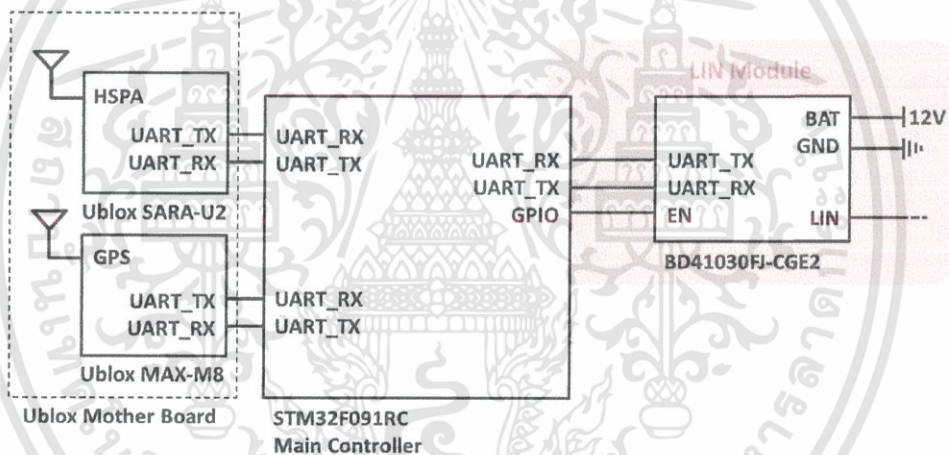
3.2.2 ส่วน Main Controller Board

เป็นแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่เป็นนายในการสื่อสาร LIN โดยรับข้อมูลมาจากอุปกรณ์ที่เป็นบ่าว รวมถึงนำข้อมูล GPS และส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายผ่านมาตรฐานเครือข่าย HSPA โดยใช้ชื่อว่า Main Controller โดยมี 1 Main Controller ในระบบ

ในส่วน Main Controller Board ได้ทำการแยกการออกแบบเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ 2 ชั้น คือส่วนควบคุมหลักที่เป็น Main Controller หลักสำหรับประมวลผลและ Ublox Mother Board ซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยโมดูล GPS และ HSPA ที่ต้องมีเสาอากาศสำหรับติดต่อสื่อสารไร้สาย

Main Controller Board ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F091RC ที่ใช้หน่วยประมวลผล ARM Cortex-M0 มี Flash ขนาด 256 กิโลไบต์ และ SRAM ขนาด 32 กิโลไบต์ ทำงานที่ความเร็ว 48 เมกะเฮิร์ต โดยรองรับการเชื่อมต่อ Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter (USART) ที่ปรับเปลี่ยนรูปแบบเพิ่มเติมได้หลากหลายเช่น การควบคุมโมเด็ม , การสื่อสารแบบ LIN, Infrared Data Association (IrDA) หรือ Smart Card โดยมีถึง 8 พอร์ต ซึ่งครอบคลุมการใช้โมดูล High Speed Packet Access (HSPA) ที่ส่ง AT-Command ผ่านพอร์ต UART โมดูล Global Positioning System (GPS) รวมถึงการรับข้อมูลจาก Sensor Node ผ่าน LIN

Ublox Mother Board เป็นบอร์ดส่วนขยายที่ต่อมาจาก Main Controller ซึ่งประกอบด้วยโมดูล SARA-U2 เป็นโมดูล (Module) 3.75G UMTS/HSPA พร้อม GSM/(E)GPRS และ Ublox MAX-M8 ซึ่งเป็นโมดูล GNSS โดยเชื่อมต่อบอร์ด Main Controller ผ่านพอร์ต USART



ภาพที่ 3.7 วงจรโดยสังเขปของ Main Controller และ Ublox Mother Board

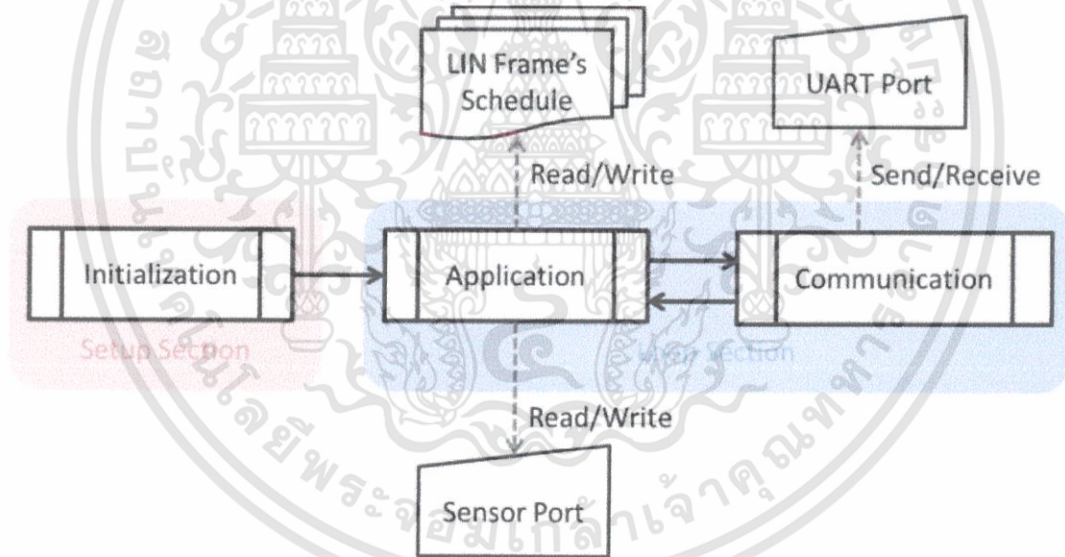
3.3 การออกแบบเฟิร์มแวร์และเว็บแอปพลิเคชัน

3.3.1 ส่วน Sensor Node

ส่วน Sensor Node จะมีหน้าที่หลัก ๆ 2 อย่างคือการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ และการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ไปที่อุปกรณ์ที่เป็นนายด้วยการสื่อสาร LIN

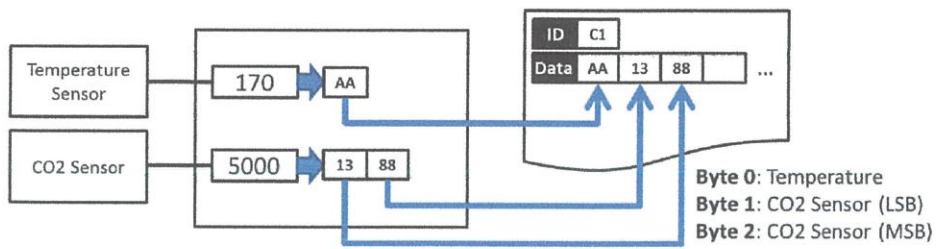
สำหรับการสื่อสาร LIN ใน Sensor Node ที่เป็นอุปกรณ์ที่เป็นปาว และใน Main Controller ที่เป็นอุปกรณ์ที่เป็นนายจะมีลำดับการทำงานที่เหมือนกันแต่แตกต่างกันเฉพาะรายละเอียดในส่วนของการสื่อสารข้อมูล (Communication) ดังนี้

- 1) การตั้งค่าเริ่มต้น (Initialization) เป็นการตั้งค่าพอร์ท (Port) ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้งานทั้งพอร์ทที่ใช้ในการอ่านและเขียนค่าจากอุปกรณ์รับรู้ (Sensor) อุปกรณ์แสดงผล (Display) และพอร์ทสำหรับการสื่อสาร
- 2) แอปพลิเคชัน (Application) เป็นส่วนในการเขียนและอ่านข้อมูลลงไปในบัฟเฟอร์ (Buffer) สำหรับเก็บตารางเวลาและข้อมูลของกรอบข้อมูล รวมถึงการเขียนข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ลงไปบัฟเฟอร์ และการแสดงผลจากข้อมูลในบัฟเฟอร์
- 3) การสื่อสารข้อมูล (Communication) เป็นส่วนในการนำข้อมูลจากบัฟเฟอร์ส่งหรือรับผ่านพอร์ทการสื่อสารอนุกรมแบบ LIN



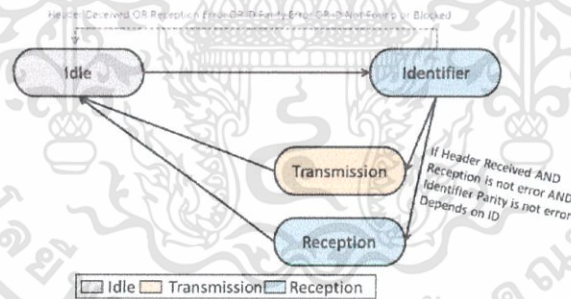
ภาพที่ 3.8 อธิบายการทำงานของโปรแกรมใน Sensor Node

Sensor Node ในส่วนแอปพลิเคชันจะเป็นการนำค่าจากอุปกรณ์รับรู้ที่ได้นำมาใส่ไว้ในบัฟเฟอร์ โดยมีข้อมูลระบุยืนยันตัวตนเป็นค่าคงที่ที่แสดงตัวตนของ Sensor Node นั้น และส่วนของข้อมูลที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 1 ถึง 8 ไบต์ โดยตำแหน่งของแต่ละไบต์มีความหมายที่ผู้ใช้ตั้งขึ้นและตำแหน่งจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงระหว่างการส่งข้อมูล



ภาพที่ 3.9 การบันทึกข้อมูลจากอุปกรณ์รับรู้ในส่วนแอปพลิเคชัน

Sensor Node ในส่วนการสื่อสารข้อมูลซึ่งเป็นอุปกรณ์ของบ่าวจะมีเฉพาะภาระงาน บ่าวเท่านั้นโดยจะเริ่มที่สถานะ Idle ก่อน จากนั้นจะเข้าสู่สถานะ Identifier ซึ่งเป็นสถานะในการรับ ข้อมูลส่วนระบุตัวตนโดยถ้าหากไม่ได้รับ หรือ ข้อมูลระบุตัวตนผิดพลาดเช่นบิตดลยภาพ (Parity) ไม่ ตรงตามข้อมูลระบุตัวตนซึ่งตรวจสอบเมื่ออินเทอร์พรีตของ UART ทำงาน หรือข้อมูลระบุตัวตนไม่ถูก บันทึกไว้ในข้อมูลระบุตัวตนที่กีดกันไว้ จะทำให้เข้าสู่สถานะ Transmission คือการส่งข้อมูล หรือ Reception คือการรับข้อมูล ขึ้นอยู่กับข้อมูลระบุตัวตนซึ่งกำหนดทิศทางและขนาดในการส่งหรือรับ ตั้งแต่ 1 ถึง 8 บิตไว้ในตารางเวลาและข้อมูลของกรอบข้อมูล



ภาพที่ 3.10 สถานะของการสื่อสารแบบ LIN ของอุปกรณ์ที่เป็นบ่าว

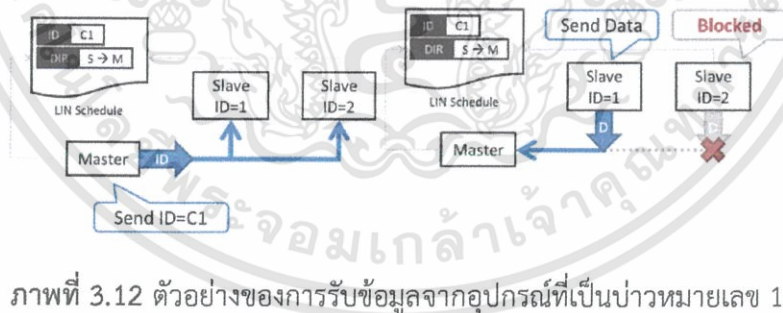
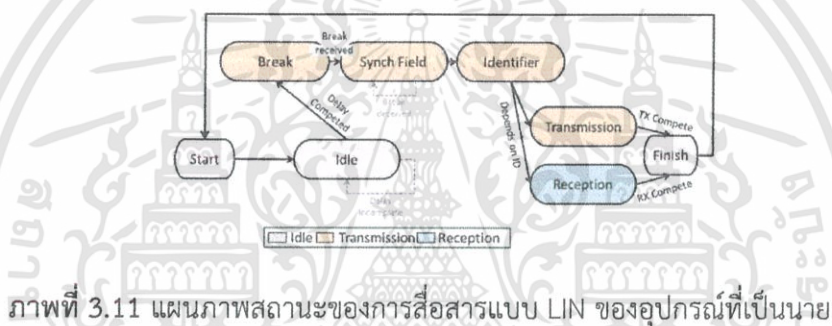
3.3.2 ส่วน Main Controller และ Mother Ublox

ในส่วนของ Main Controller ประกอบด้วย 3 ภาระงานได้แก่

1) ภาระงานส่วนนายของการสื่อสารแบบ LIN

สำหรับในส่วนของ Main Controller ซึ่งเป็นอุปกรณ์ของนายจะมีเฉพาะภาระ งานทั้งส่วนนายและบ่าว โดยจะเริ่มที่สถานะ Start ก่อนเพื่อเลือกกรอบข้อมูลที่ต้องการจะสื่อสาร

จากนั้นจะเข้าสู่สถานะ Idle ตามลำดับซึ่งมีหน้าที่พักการส่งจนกว่าจะครบกำหนด เมื่อครบกำหนดแล้ว จะเข้าสู่สถานะ Break โดยส่งส่วนข้อมูลคั่นกรอบข้อมูลไปยัง Sensor Node เมื่อ Sensor Node ได้รับและแจ้งกลับมาทาง Main Controller แล้ว Flag ของการรับ Break จะเป็น 1 ในอินเทอร์รัพต์ และทำให้โปรแกรมไปยังสถานะ Synch Field ที่ส่งข้อมูลส่วนรูปแบบสำหรับการประสานข้อมูล และ Identifier ที่ส่งข้อมูลระบุตัวตนไปยัง Sensor Node เป็นหลัก หลังจากนั้นจะทำให้เข้าสู่สถานะ Transmission คือการส่งข้อมูล หรือ Reception คือการรับข้อมูล ขึ้นอยู่กับข้อมูลระบุตัวตนซึ่ง กำหนดทิศทางและขนาดในการส่งหรือรับไว้ในตารางเวลาและข้อมูลของกรอบข้อมูล เมื่อการส่งข้อมูลหรือรับข้อมูลถูกต้องจากการตรวจสอบส่วนข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องแล้ว จึงกลับไป เริ่มต้นที่สถานะ Start ใหม่อีกครั้ง



2) ภาระงานส่วนการรับข้อมูลจาก GPS

เป็นกระบวนการนำข้อมูลที่ได้จากโมดูล Ublox MAX-M8 ซึ่งเป็นข้อมูล National Marine Electronics Association (NMEA) มาคัดสรรเฉพาะข้อมูลที่สนใจเท่านั้นคือข้อมูล Recommend minimum data for GPS (RMC) โดยจะได้รูปแบบของสายข้อความตามตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 ตารางความหมายของแต่ละข้อมูลใน GPS RMC

สัญลักษณ์	ความหมาย
\$GPRMC	ส่วนแสดง Recommend Minimum Sentence C
123519	12:35:19 UTC
A	A = Active (ถูกต้อง) V = Void (มีความผิดพลาด)
4807.038,N	ตำแหน่งละติจูดที่ 48 องศา 7.038 ลิปดาเหนือ
01131.000,E	ตำแหน่งลองจิจูดที่ 11 องศา 31.000 ลิปดาตะวันออก
022.4	ความเร็วภาคสนาม 22.4 knots
084.4	มุมที่ทำกับเส้นเมริเดียนเหนือ-ใต้ 84.4 องศา
230394	วันที่ 23 มีนาคม (3) ค.ศ. 1994
003.1,W	มุมในแนวระนาบในหน่วยองศา 3.1 องศาตะวันตก
*6A	ข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง (Checksum) ที่ได้มีค่า 0x6A

โดยสามารถนำค่าตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดมาแปลงเป็นองศาที่เป็นทศนิยมเพื่อการส่งข้อมูลเป็นค่า float โดย 1 องศาทำกับ 60 ลิปดาตามตัวอย่าง

$$La = 48 + (7.038 / 60) = 48 + 0.1173 = 48.1173 \quad (3.1)$$

$$Lo = 11 + (31 / 60) = 11 + 0.516 = 11.516 \quad (3.2)$$

ในการส่งข้อมูลวันที่และเวลาเพื่อความสะดวกจึงแปลงเป็นเวลาในรูปแบบของ UNIX ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเดียวโดยมีความหมายคือจำนวนวินาทีนับจากวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1970 เวลาเที่ยงคืน โดยตัวเลขดังกล่าวหากไม่เกินวันที่ 19 มกราคม ค.ศ. 2038 จะสามารถจัดเก็บได้ในตัวแปรแบบจำนวนเต็มคิดติดลบ (Signed Integer) ขนาด 32 บิต หรือ 4 ไบต์

3) ภาระงานส่วนการส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายผ่าน 3G

ในการควบคุมโมดูล 3G ผ่าน AT-Command มีขั้นตอนดังนี้

3.1) การยืนยันมาตรฐานและผู้ให้บริการเครือข่าย (Verify Operator) โดยใช้คำสั่ง AT+COPS เพื่อสอบถามผู้ให้บริการของเครือข่ายและใช้คำสั่ง AT+CREG ในการสอบถามสถานะการลงทะเบียนของซิมการ์ดและเทคโนโลยีที่ใช้

3.2) การเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet Connection) โดยใช้คำสั่ง AT+UPSDA ในการติดตั้งค่าค่าเกตเวย์ระหว่างเครือข่ายมือถือ (Access Point Name หรือ APN) และ AT+UPSDA=0,3 สำหรับการเปิดใช้การเชื่อมต่อ GPRS

3.3) การตั้งค่าเครื่องแม่ข่ายและผู้ให้บริการ (Server Configuration) โดยใช้คำสั่ง AT+UHTTP=0,1 ในการกำหนดโดเมนเนม (Domain name) ของเครื่องแม่ข่าย AT+UHTTP=0,5 ในการกำหนดพอร์ต (Port) ของเครื่องแม่ข่าย

3.4) การส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายแบบวิธีโพสต์ (POST) (Post to Server) ข้อความโดยใช้คำสั่ง AT+UHTTPC=0,4 ตามด้วยชื่อไฟล์ข้อมูลที่ได้บันทึกจาก Sensor Node และโมดูล GPS เพื่อส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่าย

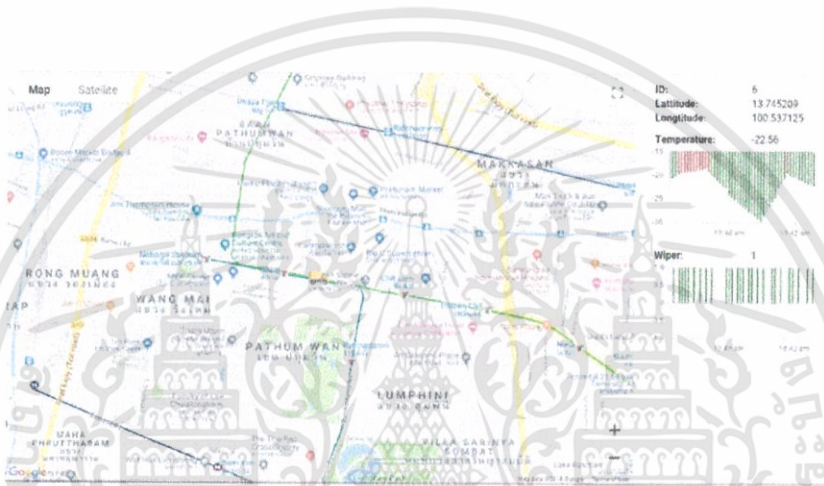
โดยในภาระงานส่วนนี้จะทำงานร่วมกับการรับค่าจาก GPS และการรับข้อมูลจาก Sensor Node ผ่านการสื่อสารแบบ LIN



ภาพที่ 3.13 การทำงานของการตั้งค่าและส่งข้อมูลของโมดูล 3G

3.3.3 ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน

ส่วนของเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ใช้ Node.js ในการสร้างแอปพลิเคชันฐานข้อมูล (Database Application) ขึ้นมาโดยในที่นี้ใช้ฐานข้อมูล MySQL สำหรับเก็บค่าเลขประจำตัวรถ ค่าตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด และค่าอื่น ๆ ที่ต้องการเช่นอุณหภูมิ ความชื้น หรือค่าจากสวิตช์ โดยค่าที่รวบรวมจาก Main Controller จะส่งผ่านโมดูล 3G จะถูกส่งไปยังเครื่องแม่ข่ายในรูปแบบของ JSON แล้วทำการเพิ่มเรคอร์ด (Record) ลงในตาราง (Table) โดยใช้ค่า Timestamp ที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขเดี่ยวแสดงผลแบบ UNIX



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างของหน้าต่างของเว็บแอปพลิเคชัน

บทที่ 4

การทดลองและทดสอบ

4.1 การทดลองอุปกรณ์รับรู้ (Sensor)

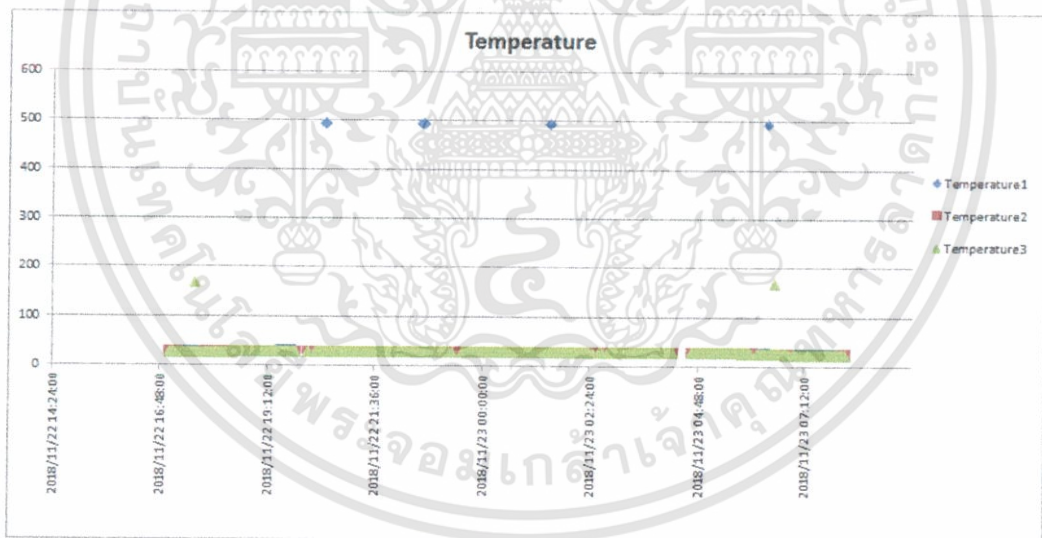
4.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบค่าที่ได้รับจากอุปกรณ์รับรู้ว่าสามารถรับค่าได้หรือไม่ และค่าที่ได้รับอยู่ในช่วงที่เหมาะสมหรือไม่

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทดสอบโดยการนำอุปกรณ์รับรู้ทั้งหมดทำงานในระยะเวลา 24 ชั่วโมงและนำข้อมูลมาแสดงผลแบบแผนภูมิเส้นเพื่อแยกค่าผิดปกติ (Outliners) และสรุปอัตราส่วนระหว่างจำนวนค่าผิดปกติและจำนวนข้อมูลทั้งหมด

4.1.3 ผลการทดลอง

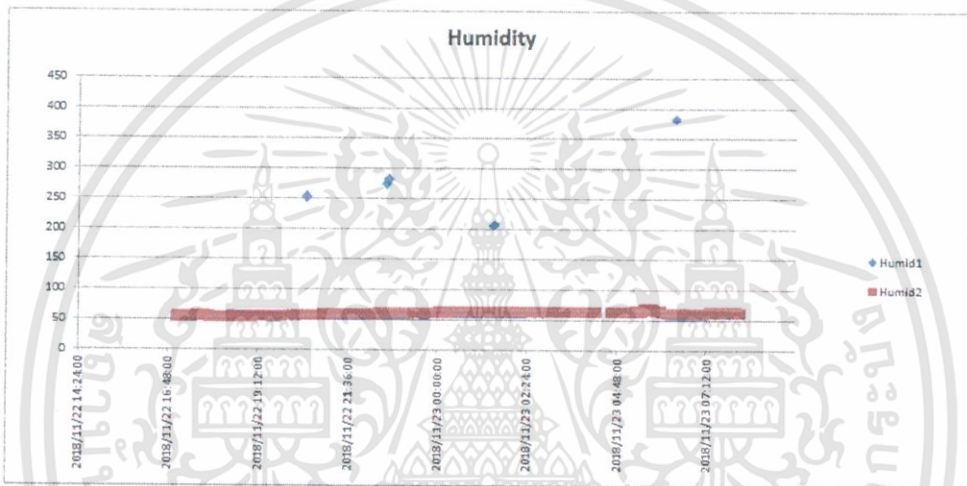


ภาพที่ 4.1 แผนภูมิเส้นของค่าอุณหภูมิที่ได้ใน 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าอุณหภูมิ

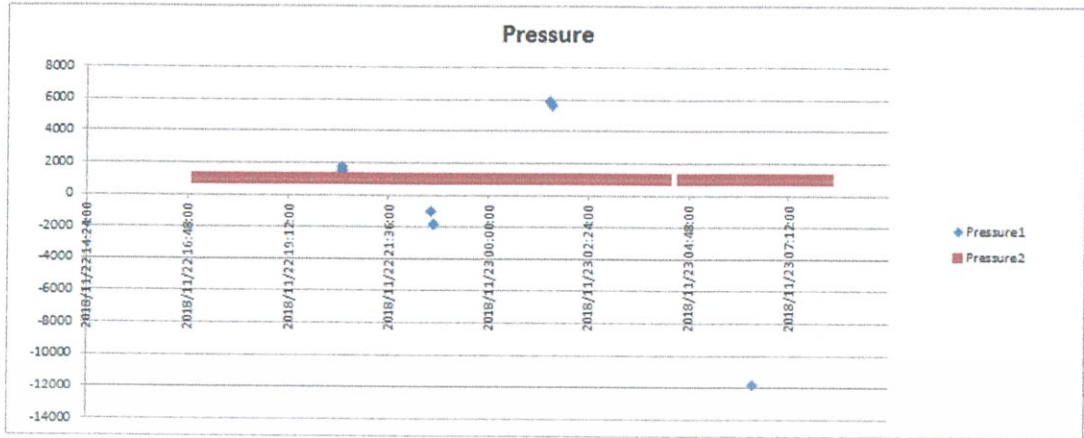
หมายเลข	จำนวนครั้งที่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่อ่านค่าถูกต้อง	จำนวนครั้งที่อ่านค่าผิดพลาด	คิดเป็นร้อยละความผิดพลาด (ตำแหน่งทศนิยม 4 หลัก)
1	4636	4625	9	0.1941
2	4636	4636	0	0.0000
3	4636	4634	2	0.0431



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิเส้นของค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ใน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าความชื้นสัมพัทธ์

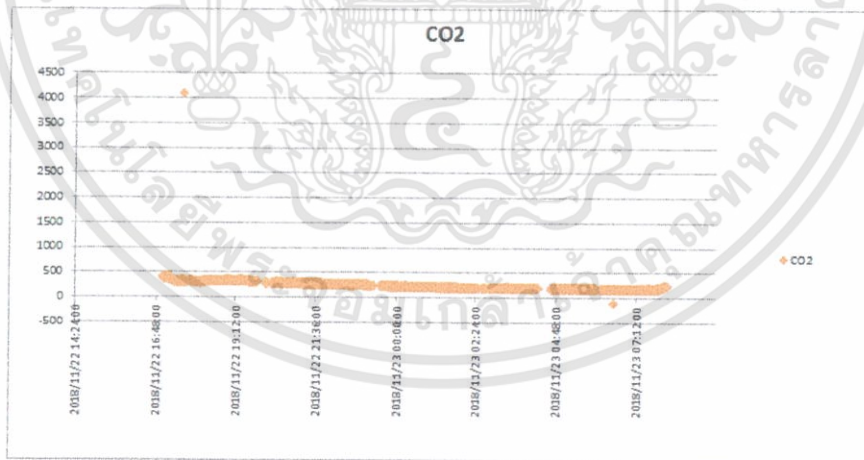
หมายเลข	จำนวนครั้งที่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่อ่านค่าถูกต้อง	จำนวนครั้งที่อ่านค่าผิดพลาด	คิดเป็นร้อยละความผิดพลาด (ตำแหน่งทศนิยม 4 หลัก)
1	4636	4625	9	0.1941
2	4636	4636	0	0.0000



ภาพที่ 4.3 แผนภูมิเส้นของค่าความดันที่ได้ใน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าความดัน

หมายเลข	จำนวนครั้งที่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่อ่านค่าถูกต้อง	จำนวนครั้งที่อ่านค่าผิดพลาด	คิดเป็นร้อยละความผิดพลาด (ตำแหน่งทศนิยม 4 หลัก)
1	4636	4625	9	0.1941
2	4636	4636	0	0.0000



ภาพที่ 4.4 แผนภูมิเส้นของค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ใน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปความผิดพลาดของเครื่องรับค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

หมายเลข	จำนวนครั้งที่อ่านค่า	จำนวนครั้งที่อ่านค่าถูกต้อง	จำนวนครั้งที่อ่านค่าผิดพลาด	คิดเป็นร้อยละความผิดพลาด (ตำแหน่งทศนิยม 4 หลัก)
1	4636	4634	2	0.0431

4.1.4 สรุปผลการทดลองและการแก้ปัญหา

ผลที่ได้ร้อยละ 99 ซึ่งเป็นไปตามความต้องการ ส่วนความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้นำไปปรับปรุงในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อป้องกันข้อมูลที่ผิดพลาดเข้าสู่เครื่องแม่ข่าย



บทที่ 5

การสรุปผลการดำเนินการ

5.1 ผลการดำเนินการ

- 1) ระบบสามารถติดตามและระบุตำแหน่งที่อยู่ของรถขนส่งสินค้าและแสดงผลออกมาทางเว็บแอปพลิเคชันได้
- 2) ระบบสามารถรับข้อมูลเพิ่มเติมที่ลูกค้าต้องการในแต่ละรถขนส่งสินค้าเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้นและแสดงผลออกมาทางเว็บแอปพลิเคชันได้
- 3) ระบบสามารถแสดงค่าได้ตามเวลาจริง โดยปรับช่วงเวลาในการปรับปรุงข้อมูลได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น

- 1) ผู้พัฒนายังขาดประสบการณ์และความรู้ทำให้การทำงานล่าช้าในบางส่วน
- 2) ขาดความเชี่ยวชาญในส่วนอื่น ๆ นอกจากการโปรแกรมเช่นปัญหาทางไฟฟ้าหรือทางอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เสียเวลาในการแก้ไขปัญหา
- 3) มีความต้องการของลูกค้าเพิ่มเติมตลอดเวลา ต้องใช้เวลาในเวลาในการปรับแก้ระบบ

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำสหกิจ

- 1) การพัฒนาทักษะความรู้ในด้านระบบสมองกลฝังตัวและซอฟต์แวร์สมองกลฝังตัว
- 2) การพัฒนาทักษะอารมณ์ในด้านภาษาอังกฤษและญี่ปุ่นรวมถึงทักษะการสื่อสารและนำเสนอ
- 3) การทำงานร่วมกับสายวิชาชีพอื่นเช่น วิศวกรไฟฟ้าหรือวิศวกรอิเล็กทรอนิกส์
- 4) การค้นพบและแลกเปลี่ยนวิธีการแก้ปัญหาของระบบในมุมมองของสายอาชีพต่าง ๆ
- 5) มีความรับผิดชอบต่อนหน้าที่ที่ได้รับและต้องทำให้เสร็จทันเป้าหมายที่กำหนด
- 6) การใช้ชีวิตในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง วิธีการวางตัวและการปรับตัวเข้ากับผู้อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] LIN Consortium, "LIN Specification Package 2.1," 31 ธันวาคม 2010. [ออนไลน์]. Available: https://www.cs-group.de/wp-content/uploads/2016/11/LIN_Specification_Package_2.2A.pdf.
- [2] u-blox AG, "AT Commands Examples: Examples for u-blox cellular modules," 31 กรกฎาคม 2018. [ออนไลน์]. Available: https://www.u-blox.com/sites/default/files/AT-CommandsExamples_AppNote_%28UBX-13001820%29.pdf.
- [3] BOSCH Sensortec, "BME680 Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor," กรกฎาคม 2017. [ออนไลน์]. Available: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME680-DS001-00.pdf.
- [4] MAXIM Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer," กันยายน 2018. [ออนไลน์]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [5] STMicroelectronics, "Getting started with STM8AF LIN package," ธันวาคม 2012. [ออนไลน์]. Available: https://www.st.com/resource/en/application_note/dm00066703.pdf.
- [6] u-blox AG, "MAX-M8: u-blox M8 concurrent GNSS modules," 15 สิงหาคม 2016. [ออนไลน์]. Available: https://www.u-blox.com/sites/default/files/MAX-M8-FW3_DataSheet_%28UBX-15031506%29.pdf.
- [7] WINSEN, "MH-Z14A Intelligent Infrared Carbon Dioxide Module," กันยายน 2015. [ออนไลน์]. Available: https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z14a_co2-manual-v1_01.pdf.

- [8] u-blox AG, “SARA-U2 series: HSPA modules with 2G fallback,” 26 กุมภาพันธ์ 2018. [ออนไลน์]. Available: https://www.u-blox.com/sites/default/files/SARA-U2_DataSheet_%28UBX-13005287%29.pdf.
- [9] STMicroelectronics, “STM8S Series and STM8AF Series 8-bit microcontrollers,” ตุลาคม 2017. [ออนไลน์]. Available: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00190271.pdf.
- [10] S. K. SANDEEP R. GADEKAR, “LIN PROTOCOL - EMERGING TREND IN AUTOMOTIVE,” ใน *IRAJ International Conference*, Pune, 2013.

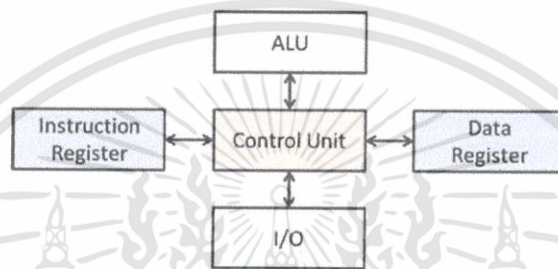


ภาคผนวก ก.

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ

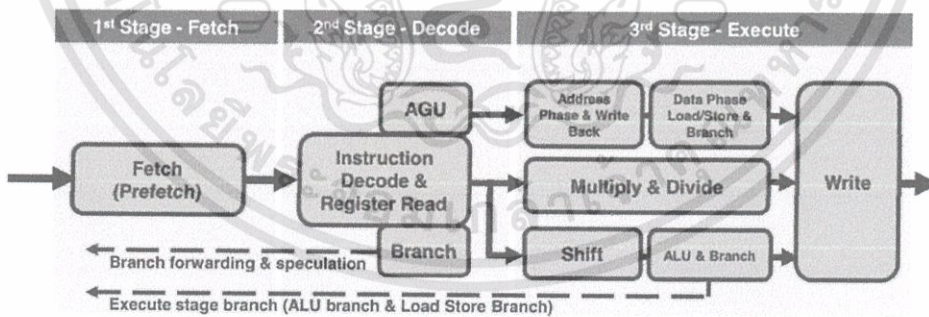
ก.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM8A

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ST มีสถาปัตยกรรมที่มีทางเดินข้อมูล (Datapath) ขนาด 8 บิตแบบ Harvard ที่แยกส่วนของการเก็บข้อมูลและเส้นทางของสัญญาณคำสั่งจากกายภาพ



ภาพที่ ก.1 สถาปัตยกรรมแบบ Harvard

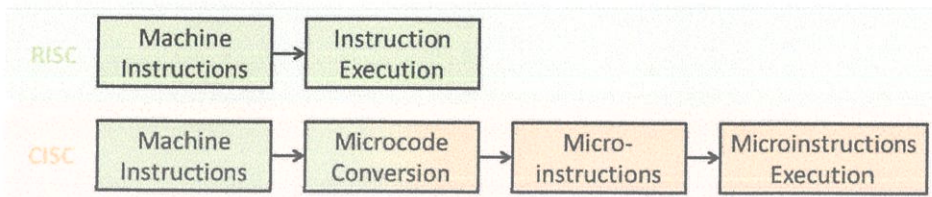
มีการทำงานแบบสายท่อ 3 ด้าน (3 Stage Pipeline) คือการดึงคำสั่งจากหน่วยความจำ (Fetch), การถอดรหัสคำสั่ง (Decode) และการดำเนินการตามคำสั่ง (Execute) ซึ่งเป็นการทำงานคล้ายกับหน่วยประมวลผลกลาง Cortex-M3 เพื่อลดการสื่อสารในแต่ละด้านลง



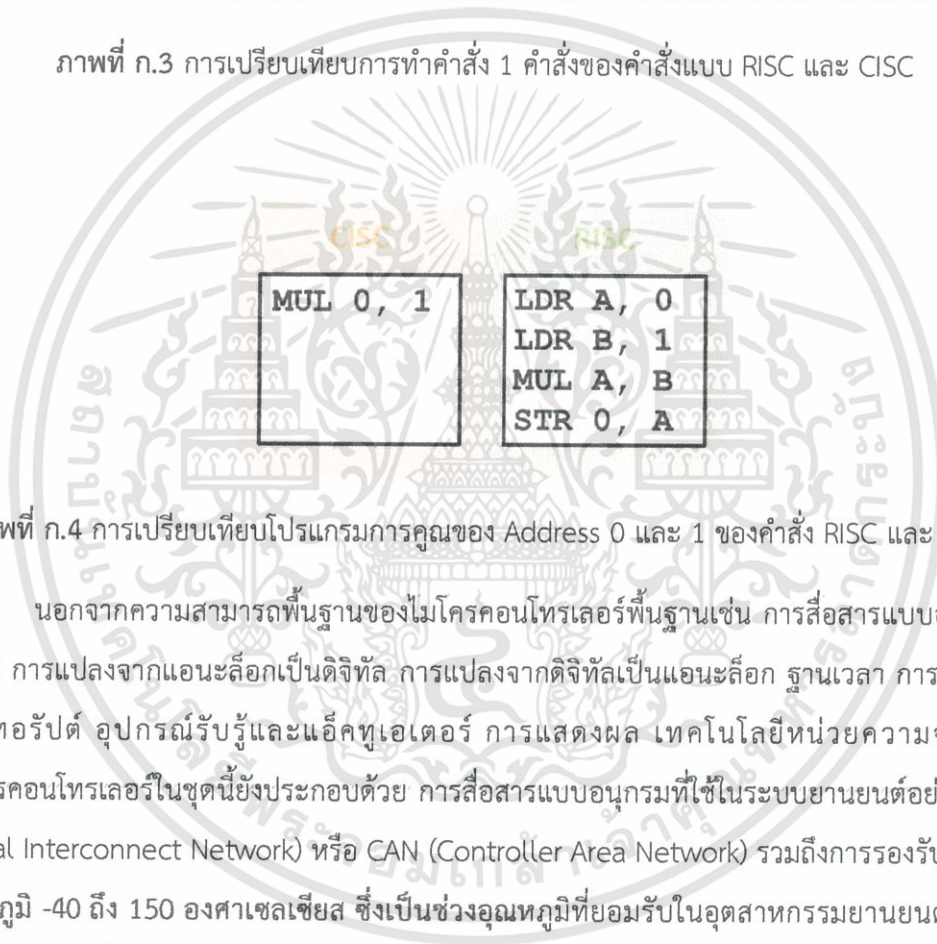
ภาพที่ ก.2 การทำงานแบบสายท่อ 3 ด้าน (3 Stage Pipeline)

ชุดคำสั่งเป็นชุดคำสั่งแบบ CISC (Complex Instruction Set Computer) โดยคำสั่งหนึ่งคำสั่งสามารถทำได้มากกว่า 1 อย่างเพื่อลดจำนวนบรรทัดของโปรแกรมแอสเซมบลีลง ทำให้ภาวะ

ของซอฟต์แวร์และคอมพิวเตอร์ลดลง ซึ่งต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32 ที่ใช้ชุดคำสั่งแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer)




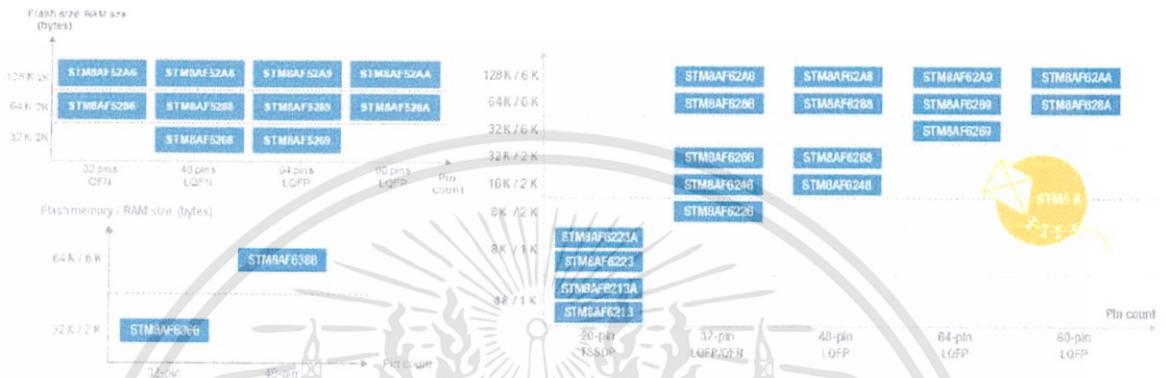
ภาพที่ ก.3 การเปรียบเทียบการทำคำสั่ง 1 คำสั่งของคำสั่งแบบ RISC และ CISC



ภาพที่ ก.4 การเปรียบเทียบโปรแกรมการคูณของ Address 0 และ 1 ของคำสั่ง RISC และ CISC

นอกจากความสามารถพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐานเช่น การสื่อสารแบบอนุกรมทั่วไป การแปลงจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล การแปลงจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ฐานเวลา การจัดการอินเทอร์พรีต อุปกรณ์รับรู้และแอ็คทูเอเตอร์ การแสดงผล เทคโนโลยีหน่วยความจำแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ในชุดนี้ยังประกอบด้วย การสื่อสารแบบอนุกรมที่ใช้ในระบบยานยนต์อย่าง LIN (Local Interconnect Network) หรือ CAN (Controller Area Network) รวมถึงการรองรับในช่วงอุณหภูมิ -40 ถึง 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ยอมรับในอุตสาหกรรมยานยนต์ AEC-Q100 เกรด 0 ซึ่งเป็นเกรดสูงสุด

STM8 core - 24 MHz	<ul style="list-style-type: none"> 10-bit ADC USART, SPI, I²C 8- and 16-bit timers 16 MHz crystal oscillators and 128 kHz internal RC oscillators SWIM debug module 	 Product lines	Flash memory (Kbytes)	RAM (Kbytes)	Data EEPROM (bytes)	CAN 2.0B	LIN 2.1	Additional analog channels	Automotive Grade 0 (150 °C)
		STM8AF52	32 to 128	6	1024 to 2048	•	•		•
STM8AF62	4 to 128	1 to 6	640 to 2048		•	•	•		
STM8AF63	4 to 128	1 to 6	640 to 2048		•	•	•		

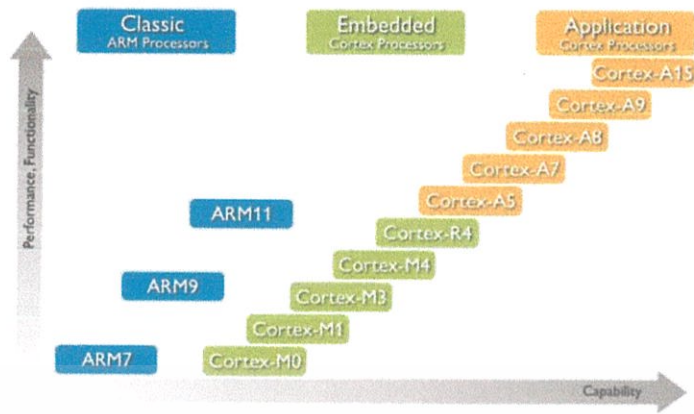


ภาพที่ ก.5 รุ่นและความสามารถของแต่ละรุ่นของ STM8A [2]

ก.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32

เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท ST โดยใช้หน่วยประมวลผลของ ARM Cortex-M ที่ออกแบบสำหรับระบบสมองกลฝังตัวโดยเฉพาะซึ่งเป็นหนึ่งในหน่วยประมวลผลตระกูล ARM

มีสถาปัตยกรรมที่มีทางเดินข้อมูล (Datapath) ขนาด 32 บิตแบบ Harvard ที่แยกส่วนของการเก็บข้อมูลและเส้นทางของสัญญาณคำสั่งจากกายภาพ มีการทำงานแบบสายท่อ 3 ด้าน (3 Stage Pipeline) คือการดึงคำสั่งจากหน่วยความจำ (Fetch), การถอดรหัสคำสั่ง (Decode) และการดำเนินการตามคำสั่ง (Execute) เช่นเดียวกับ STM8



ภาพที่ ก.6 แผนภาพแสดงรุ่นและสมรรถนะและความจุของหน่วยความจำของ ARM

ชุดคำสั่งเป็นชุดคำสั่งแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ที่ลดความซับซ้อนในแต่ละคำสั่งโดยคำสั่งหนึ่งคำสั่งสามารถทำได้ 1 อย่างเท่านั้น และเฉพาะคำสั่ง Load และ Store ที่สามารถใช้ดึงและเก็บข้อมูลกับหน่วยความจำภายนอกหน่วยประมวลผลได้ ทำให้ภาระของฮาร์ดแวร์ลดลง และทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นซึ่งต่างจาก STM8 ที่ใช้ CISC

มีความสามารถพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐานเช่น การสื่อสารแบบอนุกรมทั่วไป การแปลงจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล การแปลงจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ฐานเวลา การจัดการอินเทอร์รัปต์ อุปกรณ์รับรู้และแอ็คทูเอเตอร์ การแสดงผล เทคโนโลยีหน่วยความจำและมีความสามารถอื่นเพิ่มเติมตามรุ่นของ STM32

โดย STM32 ได้แบ่งออกเป็น 3 รุ่นหลัก ๆ คือรุ่นสมรรถนะสูง, รุ่นปกติ และรุ่นประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ยังมีรุ่นที่เน้นเฉพาะการสื่อสารไร้สาย



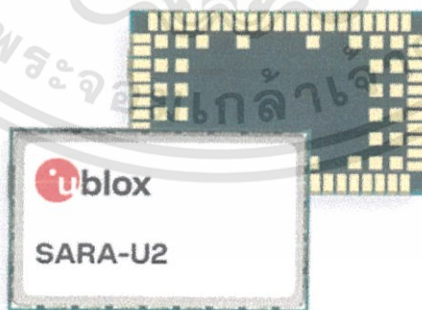
ภาพที่ ก.7 รุ่นและความสามารถของแต่ละรุ่นของ STM32

System	48 MHz ARM Cortex-M0 CPU	256-Kbyte Flash memory	Analog
Power supply 1.8 V internal regulator POR/PDR/PVD		32-Kbyte SRAM HW parity checking	1x 12-bit DAC 2-channel
Xtal oscillators 32 kHz + 4–32 MHz		20-byte backup data	1x 12-bit ADC 16 channels / 1 MSPS
Internal RC oscillators 40 kHz + 8 MHz		Connectivity	2x analog compar- ators
Internal RC oscillator 48 MHz (auto trimming on ext. synchro)	HDMI CEC		Control
PLL	2x SPI (with PS mode)		
Clock control	Nested Vector Interrupt Controller (NVIC)	2x I ² C with Fast-mode Plus	1x 32-bit timers
Calendar RTC	SW debug	1x CAN	5x 16-bit PWM timers
SysTick timer	AHB-Lite bus matrix	8x USART (4x with modem control, 3x with LIN, smartcard, IrDA)	2x 16-bit basic timers
2x watchdogs (independent and window)	APB bus	Touch-sensing Up to 24 keys	
38/52/88 I/Os	12-channel DMA		
Cyclic Redundancy Check (CRC)			

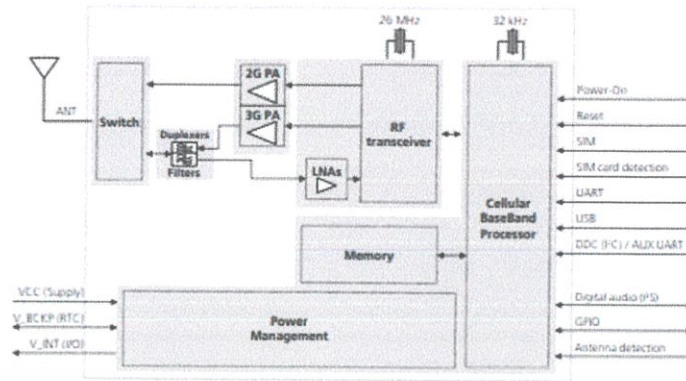
ภาพที่ ก.8 ความสามารถของ STM32F091RC ที่ใช้ในโครงการ

ก.3 Ublox SARA-U2

SARA-U2 เป็นโมดูล (Module) 3.75G UMTS/HSPA พร้อม GSM(E)GPRS ในการสื่อสาร ในบริเวณที่ไม่รองรับ 3G มีขนาดเล็กสามารถสื่อสารด้วยมาตรฐาน HSPA ในความเร็ว 7.2 เมกะบิต ต่อวินาที (HSDPA) 5.76 เมกะบิตต่อวินาที (HSUPA) สามารถสื่อสารได้ทั้งข้อมูลและเสียงภายใต้ อุณหภูมิ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ใช้พลังงาน และสามารถใช้ Dual Stack IPv4/IPv6 ที่สามารถใช้ เลขที่อยู่ไอพีแบบ IPv4 และ IPv6 ด้วยกันได้ พร้อมทั้งรองรับคลื่นความถี่ที่ 800, 850, 900, 1800 และ 2100 เมกะเฮิรตซ์ สามารถควบคุมด้วยการใช้คำสั่ง AT-Command ผ่าน UART, USB 2.0, I2C และ GPIO



ภาพที่ ก.9 อุปกรณ์รับรู้ SARA-U201



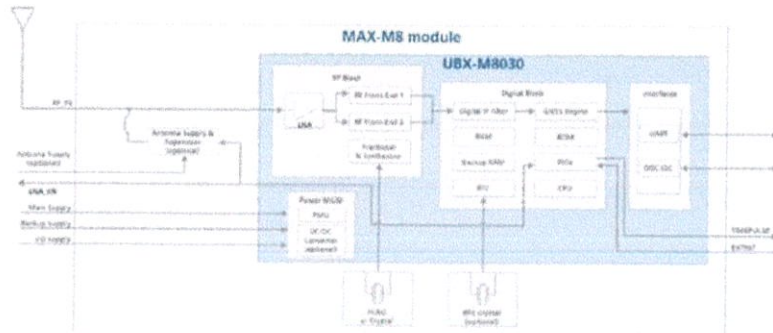
ภาพที่ ก.10 วงจร SARA-U201 ที่ใช้ในโครงการ

ก.4 Ublox MAX-M8

เป็นโมดูลสำหรับรับสัญญาณ GNSS ที่มีความแม่นยำมาตรฐานได้ทั้งระบบ GPS, GLONASS, Galileo หรือ BeiDou พร้อมทั้งรับสัญญาณ GNSS ต่างระบบพร้อมกันได้สูงสุดถึง 3 ระบบและสามารถรับข้อมูลผ่าน UART หรือ I2C ได้ นอกจากนี้คุณลักษณะพื้นฐานข้างต้น ยังมีคุณลักษณะเพิ่มเติมเช่นระบบสัญญาณนาฬิกาคริสตัลและเครื่องก่อกกระแสไฟฟ้าสลับ (Oscillator) ภายในโมดูล สำหรับระบบ GPS นั้นถูกออกแบบให้รับและติดตามสัญญาณ L1C/A หมายถึงความถี่ระดับ L1 ที่รองรับความถี่ 1575.42 เมกะเฮิรซ์และ C/A คือช่วงรหัสแบบ Coarse/Acquisition



ภาพที่ ก.11 อุปกรณ์รับรู้ MAX-M8

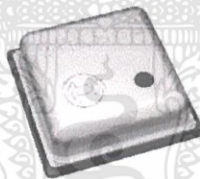


ภาพที่ ก.12 วงจรภายในอุปกรณ์รับรู้ MAX-M8 ที่ใช้ในโครงการ

ก.5 BME680

BME680 เป็นอุปกรณ์รับรู้สำหรับเก็บค่าสถานะทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้พลังงานต่ำ สามารถเก็บค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดัน และค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยนำค่าที่ได้สื่อสารไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ I2C (Inter-Integrated Circuits) หรือ SPI (Serial Peripheral Interface)

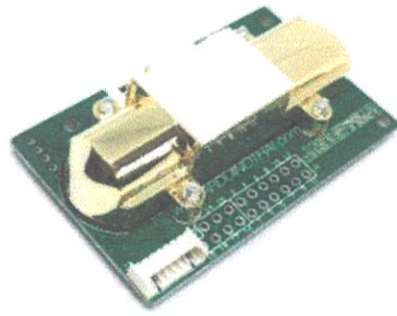
สำหรับโครงการนี้ใช้ข้อมูลจาก BME680 เฉพาะอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดัน เท่านั้น โดยใช้กระแส 3.6 ไมโครแอมป์ และเลือกใช้การสื่อสารแบบ I2C



ภาพที่ ก.13 อุปกรณ์รับรู้ BME680

ก.6 MH-Z14A

MH-Z14A เป็นอุปกรณ์รับรู้สำหรับเก็บค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในอากาศ โดยสามารถส่งค่าเป็นหน่วย ppm ได้หลายทางทั้งการส่งค่าออกเป็นข้อมูลแอนะล็อก ข้อมูลคลื่นสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) หรือการส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)



ภาพที่ ก.14 อุปกรณ์รับรู้ BME680

ก.7 DS18B20

MH-Z14A เป็นอุปกรณ์รับรู้สำหรับเก็บค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในอากาศ โดยสามารถส่งค่าเป็นหน่วย ppm ได้หลายทางทั้งการส่งค่าออกเป็นข้อมูลแอนะล็อก ข้อมูลคลื่นสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) หรือการส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)



ภาพที่ ก.15 อุปกรณ์รับรู้ DS18B20

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของวงจรและอุปกรณ์รับรู้

ข.1 คุณสมบัติของวงจรรวม Main Controller

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของวงจรรวม Main Controller

หัวข้อ	รายละเอียด
การปฏิบัติงาน	ความดันที่สามารถปฏิบัติงานได้ : 12V DC
	การใช้พลังงานที่ระดับปกติ : 150mA @12V
	การใช้พลังงานที่ระดับสูงสุด : 600mA @12V
	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน : -40 ถึง +85 °C
อุปกรณ์ขั้วรีเลย์และพอร์ต 12V	อุปกรณ์ขั้วรีเลย์ขนาด 4 ช่อง ไฟฟ้าขาออกระดับ 12V/2.5A, ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าได้
	พอร์ตรับข้อมูลขาเข้าดิจิทัล 12V DC
บัสการสื่อสารแบบ LIN	บัสการสื่อสารแบบ LIN ระหว่าง Main Controller และ Sensor Nodes
	การเชื่อมต่อสูงสุด 15 Slave Nodes (Daisy Chain)
	ความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุด 20 กิโลบิตต่อวินาที
	ความยาวในการส่งสูงสุดในการส่ง 40 เมตร
พอร์ต RS232	พอร์ตการสื่อสาร RS232 สำหรับการอัปเดตเฟิร์มแวร์ และตั้งค่าอุปกรณ์
การรองรับซิมการ์ด	ซิมการ์ด 2 ช่องสำหรับการเปลี่ยนผู้ให้บริการ
พอร์ตสำหรับอุปกรณ์รับรู้	I2C 1 ช่อง, SPI 1 ช่อง, 1-wire, พอร์ตดิจิทัลสำหรับข้อมูลเข้า-ออก 4 ช่อง รองรับแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์
การรองรับเทคโนโลยี 3G	UMTS ในย่านความถี่ 800,850,900,1900,2100 เมกะเฮิร์ต
การรองรับเทคโนโลยี 2G	GSM ในย่านความถี่ 800,900,1800,1900 เมกะเฮิร์ต
การรองรับ GNSS	Beidu, Galileo, GLONASS, QZSS, GPS

ข.2 คุณสมบัติของวงจรรวม Sensor Node

ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติของวงจรรวม Sensor Node

หัวข้อ	รายละเอียด
การปฏิบัติงาน	ความดันที่สามารถปฏิบัติงานได้ : 12V DC
	การใช้พลังงานที่ระดับปกติ : 29mA @12V
	อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน : -40 ถึง +85 °C
บัสการสื่อสารแบบ LIN	รองรับการสื่อสารแบบ LIN (ต่อแบบ Daisy-Chain)
พอร์ตสำหรับอุปกรณ์รับรู้	พอร์ตรับข้อมูลขาเข้าแบบแอนะล็อก 2 ช่องระดับแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 5 โวลต์
	I2C 1 ช่อง
	SPI 1 ช่อง / 1-Wire / พอร์ตรับข้อมูลขาเข้าแบบดิจิทัล 4 ช่องที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
อุปกรณ์ขั้วรีเลย์และพอร์ตข้อมูล 12V	อุปกรณ์ขั้วรีเลย์ขนาด 4 ช่อง ไฟฟ้าขาออกระดับ 12V/2.5A, ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าได้
	พอร์ตรับข้อมูลขาเข้าดิจิทัล 12V DC

ข.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ BME680

ตารางที่ ข.3 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ BME680 [2]

หัวข้อ	รายละเอียด
ขนาดบรรจุภัณฑ์	8-Pin LGA ขนาด 3.0 x 3.0 x 0.93 ลูกบาศก์มิลลิเมตร
ช่วงดำเนินการ	ความดัน 300 ถึง 1100 เฮกโตปาสกาล ความชื้นสัมพัทธ์ 0 ถึง 100% อุณหภูมิ -40 ถึง 85°C
แรงดันไฟฟ้าขับเคลื่อน	V _{DDIO} ตั้งแต่ 1.2 ถึง 3.6 โวลต์ V _{DD} ตั้งแต่ 1.71 ถึง 3.6 โวลต์
การเชื่อมต่อ	I ² C and SPI

หัวข้อ	รายละเอียด
การใช้กระแสไฟ	2.1 ไมโครแอมแปร์ต่อวินาทีสำหรับ ความขึ้นและอุณหภูมิ 3.1 ไมโครแอมแปร์ต่อวินาทีสำหรับ ความดันและอุณหภูมิ 3.1 ไมโครแอมแปร์ต่อวินาทีสำหรับ ความดัน ความขึ้นและอุณหภูมิ 0.09 ถึง 12 มิลลิแอมแปร์ สำหรับการทำงานทั้งหมด
การใช้กระแสไฟฟ้าขณะ ช่วง Sleep Mode	0.15 ไมโครแอมแปร์
อุปกรณ์รับรู้ก๊าซ ระยะเวลาตอบสนอง ค่าผิดพลาด การใช้พลังงาน ข้อมูลขาออก	0.75 วินาที (จาก 0 ถึง 33%) สำหรับอุปกรณ์รับรู้ใหม่ในโหมด Continuous +/- 15% +/- 15 < 0.1 มิลลิแอมแปร์ในโหมด Ultra Low-Power ค่าโดยตรงของ IAQ (Index for Air Quality)
อุปกรณ์รับรู้ความขึ้น ระยะเวลาตอบสนอง ความแม่นยำ ฮิสเทรีซิส	8 วินาที (จาก 0 ถึง 63%) ± 3 % ของความขึ้นสัมพัทธ์ ± 1.5 % ของความขึ้นสัมพัทธ์
อุปกรณ์รับรู้ความดัน ค่าผิดพลาดเฉลี่ย RMS ค่าผิดพลาดของการรับรู้ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ	0.12 ปาสคาล (ประมาณ 1.7 เซนติเมตร) ± 0.25 % (ประมาณ 1 ถึง 400 เมตร) ± 1.3 ปาสคาลต่อเคลวิน (ประมาณ ± 10.9 เซนติเมตรต่อการ เปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส)

ข.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ MH-Z14A

ตารางที่ ข.4 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ MH-Z14A [3]

หัวข้อ	รายละเอียด
แรงดันไฟฟ้าขับเคลื่อน	V_{DD} ตั้งแต่ 4.5 ถึง 5.5 โวลต์ V_{DDIO} ตั้งแต่ 3 ถึง 5.5 โวลต์
การใช้กระแสไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 60 มิลลิแอมป์ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์

หัวข้อ	รายละเอียด
การใช้กระแสไฟฟ้า	ค่าสูงสุด 150 มิลลิแอมป์ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
ช่วงดำเนินการ	0 ถึง 10000 ppm
การเชื่อมต่อ	UART (ระดับไฟฟ้า TTL), PWM หรือแอนะล็อกขนาด 0.4 ถึง 2 โวลต์
ระยะเวลาตอบสนอง	น้อยกว่า 1.2 วินาที (จาก 0 ถึง 90%)
สภาวะที่ทำงานได้	อุณหภูมิตั้งแต่ 0 ถึง 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 0 ถึง 90%
น้ำหนัก	15 กรัม
อายุของอุปกรณ์	มากกว่า 5 ปี

ข.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับรู้ DS18B20

ตารางที่ ข.5 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์รับรู้ DS18B20 [4]

หัวข้อ	รายละเอียด
แรงดันไฟฟ้าขับเคลื่อน	V _{DD} ตั้งแต่ 3 ถึง 5.5 โวลต์
การใช้กระแสไฟฟ้า	ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิแอมป์ ค่าสูงสุด 1.5 มิลลิแอมป์
ช่วงดำเนินการ	อุณหภูมิตั้งแต่ -55 ถึง 125 องศาเซลเซียส
การเชื่อมต่อ	1-Wire

ข.6 คุณสมบัติของโมดูล SARA U-201

ตารางที่ ข.6 รายละเอียดความสามารถการใช้งานเครือข่ายมาตรฐาน 3G [5]

หัวข้อ	รายละเอียด
Class	Class A User Equipment
เทคโนโลยีที่ใช้	3GPP Release 7 High Speed Packet Access (HSPA) UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) Frequency Division Duplex (FDD)
คลื่นความถี่ที่รองรับ	Band 19 (800 เมกะเฮิร์ตซ์) Band 5 (850 เมกะเฮิร์ตซ์)

หัวข้อ	รายละเอียด
คลื่นความถี่ที่รองรับ	Band 8 (900 เมกะเฮิร์ตซ์) Band 2 (1900 เมกะเฮิร์ตซ์) Band 1 (2100 เมกะเฮิร์ตซ์)
WCDMA/HSDPA/HSUPA Power Class	Power Class 3 (24 เดซิเบล-มิลลิวัตต์) สำหรับโหมด WCDMA/HSDPA/HSUPA
ความเร็วในการส่งด้วยการสลับกลุ่มข้อมูล (Packet Switched, PS)	HSUPA category 6 อพลิงก์สูงสุด 5.76 เมกะบิตต่อวินาที HSDPA category 8 ดาวน์ลิงก์สูงสุด 7.2 เมกะบิตต่อวินาที WCDMA PS ดาวน์ลิงก์และอัพลิงก์สูงสุด 384 กิโลบิตต่อวินาที
ความเร็วในการส่งด้วยการสลับวงจร (Circuit Switched, CS)	WCDMA CS ดาวน์ลิงก์และอัพลิงก์สูงสุด 64 กิโลบิตต่อวินาที

ตารางที่ ข.7 รายละเอียดความสามารถการใช้งานเครือข่ายมาตรฐาน 2G [5]

หัวข้อ	รายละเอียด
Class	Class B Mobile Station
เทคโนโลยีที่ใช้	3GPP Release 7 Enhanced Data rate GSM Evolution (EDGE) GSM EGPRS Radio Access (GERA) Time Division Multiple Access (TDMA)
คลื่นความถี่ที่รองรับ	GSM 850 เมกะเฮิร์ตซ์ E-GSM 900 เมกะเฮิร์ตซ์ DCS 1800 เมกะเฮิร์ตซ์ PCS 1900 เมกะเฮิร์ตซ์
GSM/GPRS Power Class	Power Class 4 (33 เดซิเบล-มิลลิวัตต์) สำหรับคลื่นความถี่ GSM/E-GSM Power Class 1 (30 เดซิเบล-มิลลิวัตต์) สำหรับคลื่นความถี่ DCS/PCS
EDGE Power Class	Power Class E2 (27 เดซิเบล-มิลลิวัตต์) สำหรับคลื่นความถี่ GSM/E-GSM

หัวข้อ	รายละเอียด
EDGE Power Class	Power Class E2 (26 เดซิเบล-มิลลิวัตต์) สำหรับคลื่นความถี่ DCS/PCS
ความเร็วในการส่งด้วย การสลับกลุ่มข้อมูล (Packet Switched, PS)	GPRS multi-slot class 129, CS1-CS4 ดาวนลิงก์และอัปลิงก์สูงสุด 85.6 กิโลบิตต่อวินาที EDGE multi-slot class 1210, MCS1-MCS911 ดาวนลิงก์และอัปลิงก์สูงสุด 236.8 กิโลบิตต่อวินาที
ความเร็วในการส่งด้วย การสลับวงจร (Circuit Switched, CS)	WCDMA CS data, ดาวนลิงก์และอัปลิงก์สูงสุด 64 กิโลบิตต่อวินาที

ข.7 คุณสมบัติของโมดูล MAX-M8

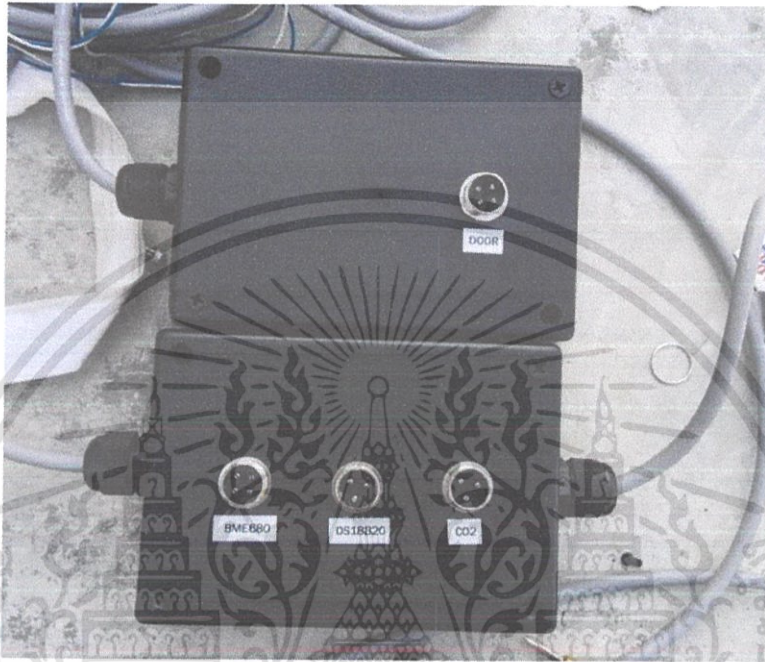
ตารางที่ ข.8 ลักษณะทางกายภาพของโมดูล MAX-M8 และความสามารถในการใช้งาน GPS [6]

หัวข้อ	รายละเอียด
ชนิดของตัวรับสัญญาณ	ตัวขับเคลื่อน u-blox M8 จำนวน 72 ช่อง GPS L1C/A, SBAS L1C/A, QZSS L1C/A, QZSS L1 SAIF, GLONASS L1OF, BeiDou B1I, Galileo E1B/C
ความแม่นยำในการวัด ความเร็ว	± 0.05 เมตรต่อวินาที
ความแม่นยำในการวัด มุม	± 0.3 องศา
ความแม่นยำของการรับ คลื่นสัญญาณ	± 30 นาโนวินาที
ความถี่ของการรับ คลื่นสัญญาณ	ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0.25 เฮิรตซ์ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์
เงื่อนไขการทำงานของ อุปกรณ์	ความสูงไม่เกิน 50000 เมตรและความเร็วไม่เกิน 500 เมตรต่อวินาที
ความแม่นยำของ ตำแหน่ง	± 2.5 เมตร

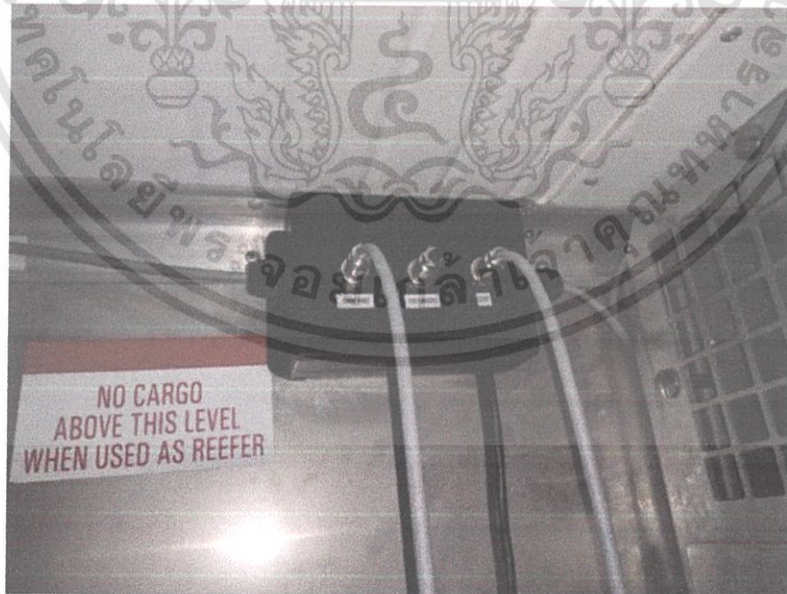
หัวข้อ	รายละเอียด
ความถี่สูงสุดในการรับ ข้อมูล	18 เฮิร์ตซ์



ภาคผนวก ค.
ภาพการติดตั้งอุปกรณ์



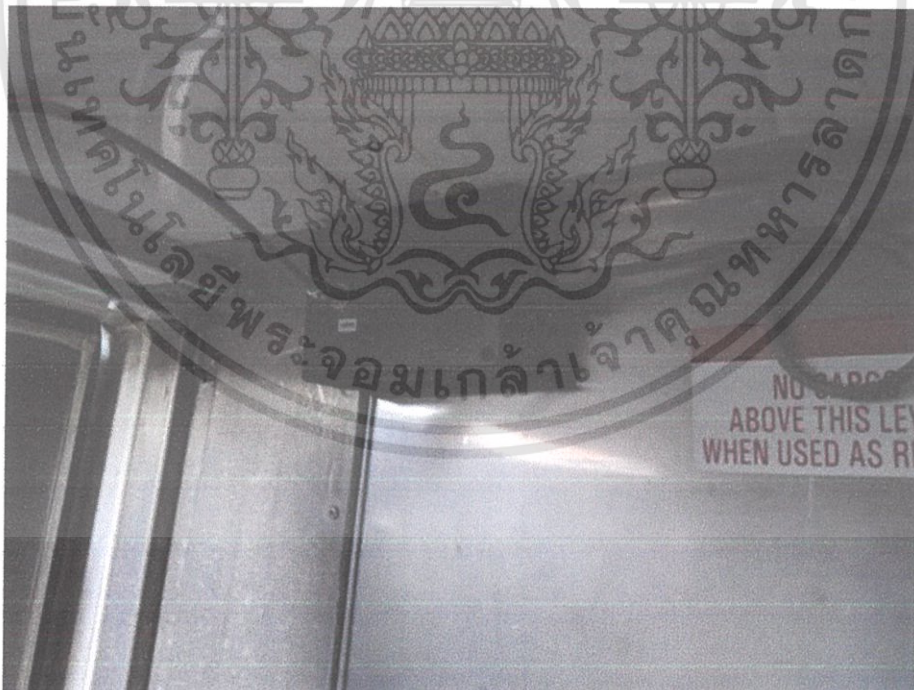
ภาพที่ ค.1 กล่องบรรจุภัณฑ์สำหรับ Sensor Node



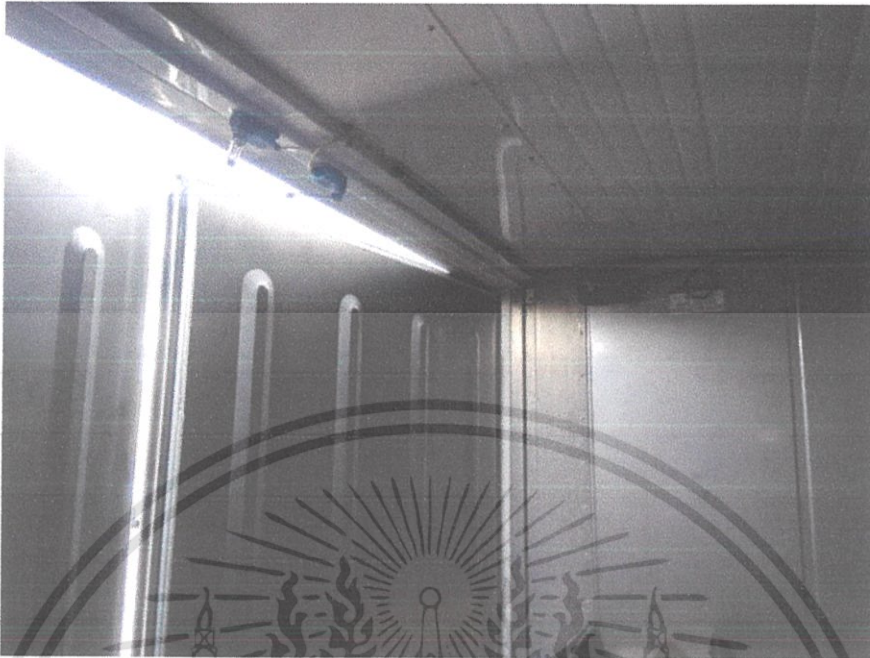
ภาพที่ ค.2 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 1 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง



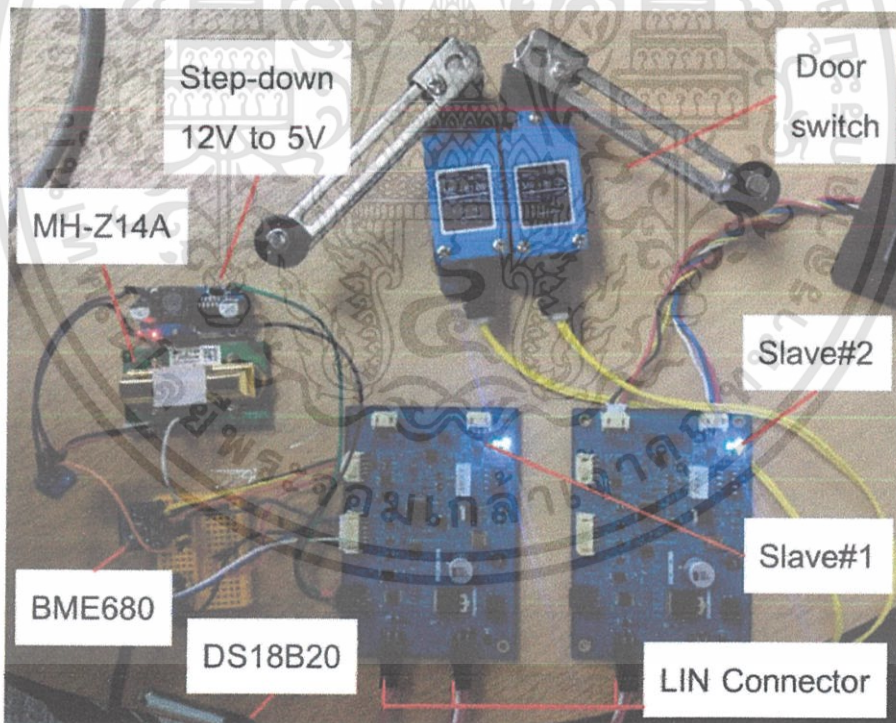
ภาพที่ ค.3 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 1 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่งพร้อมอุปกรณ์รับรู้



ภาพที่ ค.4 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 2 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง



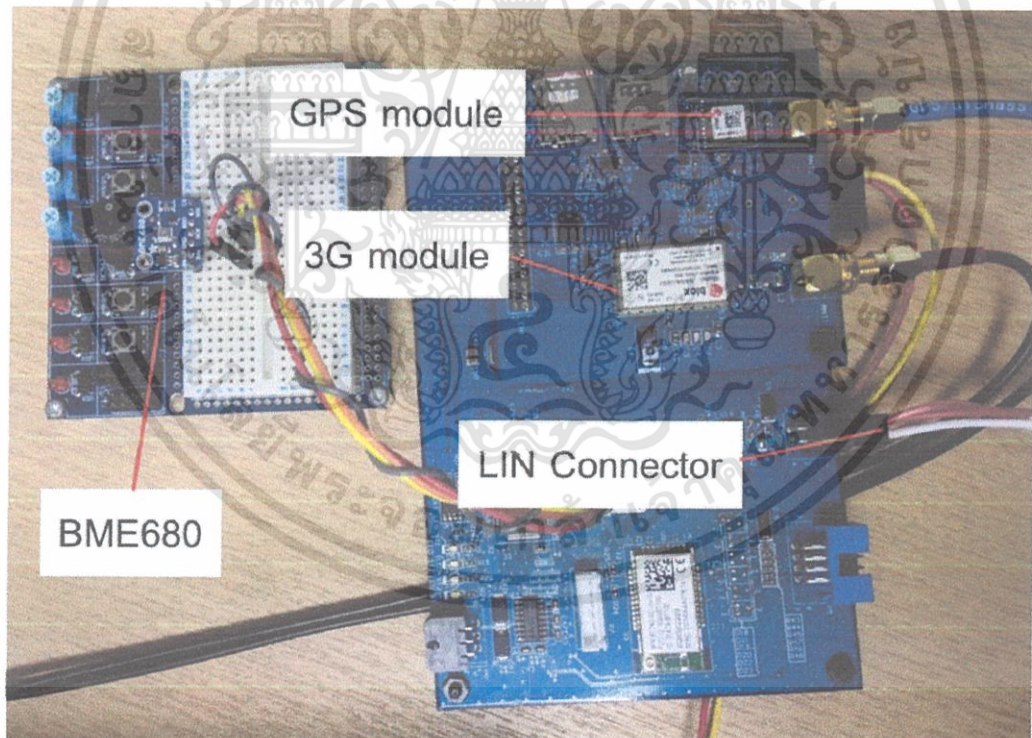
ภาพที่ ค.5 กล่อง Sensor Node กล่องที่ 2 ที่ติดตั้งภายในรถขนส่งพร้อมอุปกรณ์รับรู้



ภาพที่ ค.6 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับรู้และไมโครคอนโทรลเลอร์ Slave Node



ภาพที่ ค.7 กล่อง Master Node ที่ติดตั้งภายในรถขนส่ง



ภาพที่ ค.8 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับรู้และไมโครคอนโทรเลอร์ Master Node