

การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบ
ควบคุมขบวนรถकारแบบทำงานอิสระ
A STUDY ON AUTONOMOUS ROBOT-CAR PLATOONS SYSTEM

โดย

ธนกฤต ปิ่นทะนา
THANAKRIT PINTANA
อิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ
ITTIPAT CHIMHIRUN

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบ
ควบคุมขบวนรถอัตโนมัติแบบทำงานอิสระ
A STUDY ON AUTONOMOUS ROBOT-CAR PLATOONS SYSTEM

โดย

ธนกฤต ปิ่นทะนา
อิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

A STUDY ON AUTONOMOUS ROBOT-CAR PLATOONS SYSTEM

THANAKRIT PINTANA

ITTIPAT CHIMHIRUN

**A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2/2017

COPYRIGHT 2018

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ใบรับรองปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2560

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติ
อิสระ

A STUDY ON AUTONOMOUS ROBOT-CAR PLATOONS
SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายธนกฤต ปิ่นทะนา รหัสนักศึกษา 57070045
2. นายอิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ รหัสนักศึกษา 57070148

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต)

ใบรับรองโครงการ (PROJECT)

เรื่อง

การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติแบบทำงานอิสระ

A STUDY ON AUTONOMOUS ROBOT-CAR PLATOONS SYSTEM

นายชนกฤต ปิ่นทะนา รหัสประจำตัว 57070045

นายอิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ รหัสประจำตัว 57070148

ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้คัดลอกมาจากที่ใด
รายงานฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาวิชาโครงการ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ)
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

.....
(ชนกฤต ปิ่นทะนา)

.....
(อิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบควบคุมขบวนรถบอทดาร์แบบทำงานอิสระ		
นักศึกษา	นายธนกฤต ปิ่นทะนา	รหัสนักศึกษา	57070045
	นายอิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ	รหัสนักศึกษา	57070148
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต		

บทคัดย่อ

ระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะเป็นแนวคิดที่เกิดขึ้นเพื่อพัฒนาระบบคมนาคมและการขนส่งให้สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โครงการนี้เป็นการนำแนวคิดของระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะมาพัฒนาระบบควบคุมขบวนพาหนะให้เคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวน โดยคิดค้นวิธีที่สามารถทำให้ขบวนพาหนะที่มีเจกันแบบสุ่มสามารถสร้างกลุ่มการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันให้เกิดการเคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวนได้

ในโครงการนี้ได้คิดค้นแนวคิดการสร้างการสื่อสารระหว่างรถ, การกำหนดเส้นทาง, การรักษาขบวน เพื่อสร้างระบบควบคุมขบวนพาหนะแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ โดยจำลองขบวนพาหนะโดยใช้รถบอทดาร์ที่พัฒนามาจากการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ ให้ทำงานร่วมกัน และใช้ช่องทางการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วย IoT เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบควบคุมขบวนรถบอทดาร์แบบทำงานอิสระที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้งานในระดับอุตสาหกรรมหรือระบบขนส่งและการจราจรได้ในอนาคต

Project Title	A Study on Autonomous Robot-Car Platoons System	
Student	Mr. Thanakrit Pintana	Student ID 57070045
	Mr. Ittipat Chimhirun	Student ID 57070148
Degree	Bachelor of Science	
Program	Information Technology	
Academic Year	2017	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Sumet Prabhawat	

ABSTRACT

Intelligent Transport System (ITS) is an upcoming technology, which is designed for enhancing the performance of transportation system. This project proposes the Autonomous Car Platoons System based on ITS and Internet of Things concept. Robot-Cars are used to substitute the real vehicle in this conceptual work. As a result, a robot-cars can automatically move and follow the other robot-car in front of it. This project has a potential to develop into an unmanned transportation system in the next future.

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์ แนวคิดและคำแนะนำต่าง ๆ นั้นล้วนเป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบเป็นอย่างยิ่งด้วยความช่วยเหลือเหล่านี้ จึงทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพี่อ้นพี่เนียร์แห่งห้องแลป 534 สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ ในการเขียนเปเปอร์ให้มีความสวยงามและมีเนื้อหาที่น่าสนใจเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้ความรู้และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ซึ่งแนวคิดและความรู้ต่าง ๆ ได้ถูกใช้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย เพื่อใช้ในการศึกษาและ ทำการวิจัยในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการทำโครงการอยู่เสมอ

ขอขอบคุณชาวแลป 534 ที่อยู่ด้วยกันมาโดยตลอดจนจบโครงการผ่านร้อนผ่านหนาวด้วยกันทุกคืนจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา คุณตาและคุณยายที่ได้ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนมาโดยตลอด

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้หากมีประโยชน์ต่อผู้นำไปศึกษาต่อผู้จัดทำขอขอบความดีนั้นให้กับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ หากมีความบกพร่องประการใดเกิดขึ้นในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ โอกาสนี้

ธนกฤต ปิ่นทะนา

อิทธิพัทธ์ ฉิมหิรัญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ระบบการขนส่ง	3
2.2 ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System).....	3
2.3 ส่วนควบคุมการขับเคลื่อนของยานพาหนะ	6
2.4 ส่วนการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ	9
2.5 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์	15
3. การวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบ	20
3.1 แนวคิดในการพัฒนาระบบ	20
3.2 การวิเคราะห์ระบบ.....	21
3.3 อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ.....	28
3.4 การพัฒนาระบบขับเคลื่อนเป็นขบวน	34
3.5 การนำระบบไปใช้งาน	42
4. การทดสอบการพัฒนาระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระด้วยวิธีการใช้ IoT	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1 การทำงานของระบบควบคุมขบวนรถโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระด้วย วิธีการใช้ IoT	44
4.2 การทดสอบระบบควบคุมขบวนรถโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ	46
5. สรุปผลการพัฒนา.....	51
บรรณานุกรม.....	52
ประวัติผู้เขียน	54

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	มาตรฐานของ WiFi และประสิทธิภาพ	10
2.2	ความแตกต่างของ Bluetooth คลาสต่างๆ.....	12
2.3	อัตราเร็วการส่งสัญญาณของ Bluetooth แต่ละเวอร์ชัน	12
3.1	คำอธิบายยูสเคสกำหนดเส้นทางหรือเป้าหมาย (Set Route / Destination)	23
3.2	คำอธิบายยูสเคสรับและส่งข้อมูล (Send / Receive Data).....	24
3.3	คำอธิบายยูสเคสอ่านค่าจากเซนเซอร์ (Read Sensor Values)	25
3.4	คำอธิบายยูสเคสสร้างแผนการเดินทาง (Create Driving Map)	26
3.5	คำอธิบายยูสเคสควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)	27
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการหมุนของมอเตอร์และสัญญาณ PWM	30

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 แผนภาพระบบควบคุมแบบเปิด.....	8
2.2 แผนภาพระบบควบคุมแบบปิด.....	9
2.3 P2P Group	13
2.4 องค์ประกอบของ Internet of Things	15
2.5 องค์ประกอบของ MQTT Protocol	16
2.6 การเชื่อมต่อที่พึ่งพาโครงข่ายระบบ	17
2.7 การเชื่อมต่อที่ไม่พึ่งพาโครงสร้างระบบ (Ad-Hoc).....	17
2.8 หลักการทำงานของ GPS	18
2.9 การใช้งาน Beacon.....	19
3.1 ภาพจำลองระบบควบคุมขบวนหุ่นยนต์แบบทำงานอิสระ	20
3.2 แผนภาพแสดงภาพรวมของระบบควบคุมขบวนหุ่นยนต์แบบทำงานอิสระ.....	21
3.3 แผนภาพยูสเคสของระบบควบคุมขบวนหุ่นยนต์แบบทำงานอิสระ	22
3.4 แผนภาพกิจกรรมของการทำงานทั้งระบบ.....	28
3.5 บอร์ด Raspberry Pi 3.....	29
3.6 ส่วนประกอบของโมดูล L298NH-Bridge Dual Motor Controller	29
3.7 DC มอเตอร์ และ ล้อรถหุ่นยนต์	30
3.8 ชุดอุปกรณ์โมดูลวัดความเร็ว HC-020K	31
3.9 โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04.....	32
3.10 โมดูล Gyroscope/Accelerometer GY-521	32
3.11 หลักการและบทบาทในเครือข่าย IoT	33
3.12 แต่ละด้านของหุ่นยนต์	34
3.13 บทบาทภายในขบวนรถ	34
3.14 ขั้นตอนการสร้างขบวนรถ (1)	35
3.15 ขั้นตอนการสร้างขบวนรถ (2)	36
3.16 ข้อมูลการขับเคลื่อนที่ถูกเก็บบันทึก.....	37
3.17 แผนภาพระบบควบคุมแบบปิด.....	39
3.18 ระบบควบคุมป้อนกลับที่นำมาใช้กับอุปกรณ์ในระบบ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.19 ระบบควบคุมป้อนกลับ 2 วงรอบที่นำมาใช้กับอุปกรณ์ในระบบ	40
3.20 การทำงานร่วมกันของการระบุตำแหน่งและการควบคุมการขับเคลื่อนในรูปขบวน	41
3.21 ขั้นตอนการออกจากขบวน	42
3.22 ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ	42
4.1 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระด้วยวิธีการ ใช้ IoT	44
4.2 แผนภาพลำดับการทำงานของระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระด้วย วิธีการใช้ IoT	45
4.3 หน้าเว็บ Freeboard.....	46
4.4 หน้าเว็บ Map GUI	47
4.5 การขับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (1).....	48
4.6 การขับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (2).....	49
4.7 การขับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (3).....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมกลศาสตร์และระบบควบคุม ทำให้การเกิดงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) สำหรับการคมนาคมขนส่งยุคใหม่ สามารถควบคุมยานพาหนะอัตโนมัติ ให้มีการเคลื่อนที่เป็นขบวนคล้ายการคมนาคมขนส่งในระบบราง ซึ่งเป็นระบบขนส่งที่ทราบกันว่ามีประสิทธิภาพสูงมากรูปแบบหนึ่ง โดยไม่ต้องวางรางเป็นโครงสร้างพื้นฐาน แต่ยานพาหนะแต่ละคันซึ่งมาเจอกันแบบสุ่ม (ไม่ได้นัดหมายล่วงหน้า) จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลการเคลื่อนที่ เพื่อให้สามารถตัดสินใจและควบคุมการเคลื่อนที่ได้เหมาะสม เทคโนโลยีสื่อสารที่จะนำมาใช้ จำเป็นต้องสร้างช่องทางการสื่อสารเฉพาะกลุ่ม สำหรับยานพาหนะกลุ่มเดียวกันที่จะเคลื่อนที่ตามรูปแบบ หรือเงื่อนไขเดียวกัน

ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาและหาแนวทางการสร้างกลุ่มการสื่อสารของยานพาหนะที่มาเจอกันแบบสุ่ม และสร้างแนวทางการทำให้ยานพาหนะสามารถจับเคลื่อนตามกันเป็นขบวนแบบอัตโนมัติเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมยานพาหนะให้เคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวนเพื่อทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางต่อยอดเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือการคมนาคมและขนส่งได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาระบบควบคุมรถเป็นขบวนบนเส้นทางเดียวกัน โดยไม่อาศัยการควบคุมจากศูนย์กลาง
2. เพื่อพัฒนาต้นแบบโรบอทการ์ ที่สามารถเคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

พัฒนาต้นแบบของระบบขับเคลื่อนรถแบบอัตโนมัติ โดยทำการจำลองรถด้วยโรบอทการ์ ซึ่งโรบอทการ์แต่ละคันจะตรวจจับการเคลื่อนที่จากเซนเซอร์ที่ติดกับตัวรถ และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโรบอทการ์คันอื่น ๆ ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบไร้สายแล้วนำไปประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ วัตถุประสงค์จากการทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ให้สามารถจับเคลื่อนตามกันในรูปแบบขบวนรถได้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาเทคโนโลยีและกลไกในระบบควบคุมขบวนรถ เช่น Car Platoon System, Road Train System ฯลฯ
2. ศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างรถกับรถ และระหว่างรถกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาเทคนิคและกลไกการตรวจจับลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ
4. ศึกษาเทคนิคและกลไกสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ
5. ดำเนินการพัฒนาต้นแบบโรบอทคาร์ ที่สามารถเคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวน
6. ทำการทดสอบและประเมินผล
7. วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ต้นแบบของระบบควบคุมรถให้เคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวนได้ โดยไม่อาศัยคนขับ ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้ในระบบคมนาคมขนส่ง Transportation หรือ Logistic ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการขนส่ง

ระบบการขนส่ง [1] คือ การเคลื่อนย้ายคนหรือสิ่งของจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งซึ่งการขนส่งที่จะกล่าวถึงนั้นจะกล่าวถึงการขนส่งทางบกที่มีการใช้งานเป็นประจำในปัจจุบันได้แก่ระบบขนส่งแบบรางและระบบขนส่งทางรถยนต์

2.1.1 ระบบขนส่งแบบราง

การขนส่งแบบรางหรือการขนส่งทางรถไฟ [2] คือ การขนส่งที่ใช้รางเป็นโครงสร้างในการสร้างเส้นทางการขนส่ง เป็นการขนส่งที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นระบบขนส่งที่สามารถขนส่งสินค้าได้จำนวนมาก จึงทำให้การขนส่งด้วยระบบรางนั้นมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการขนส่งรูปแบบอื่นสินค้าที่นิยมขนส่งในระบบราง ได้แก่ สินค้าที่มีมูลค่าต่ำแต่น้ำหนักมาก อย่างไรก็ตามถึงการขนส่งในระบบรางจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ารูปแบบอื่นแต่การขนส่งในระบบรางด้วยรถไฟนั้นใช้เวลาาน และสินค้าที่ขนส่งนั้นต้องทนต่อแรงกระแทกสูงได้

2.1.2 ระบบขนส่งทางรถยนต์

การขนส่งทางรถยนต์ [1] นั้นเป็นการขนส่งที่มีความรวดเร็วและสามารถขนส่งสินค้าไปถึงมือผู้ใช้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการขนถ่าย การขนส่งทางรถยนต์นั้นถึงจะรวดเร็วก็จริงแต่แลกกับปริมาณการขนส่งที่จำกัดและมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่สูงกว่าระบบราง

จากการขนส่งทางบกที่กล่าวถึงในข้างต้นในปัจจุบันได้มีการคิดค้นระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งลดข้อบกพร่องในการขนส่งแบบต่างๆทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นซึ่งต่อไปจะกล่าวถึงระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะ

2.2 ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System)

ระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะ [3] คือ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและเทคโนโลยีการสื่อสาร มาช่วยบริหารจัดการในระบบคมนาคม การขนส่ง และการจราจร เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจราจรบนท้องถนน, ระบบขนส่งมวลชน, ความปลอดภัย และช่วยลดการติดขัดของการจราจร ซึ่งระบบจะใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และ ระบบควบคุมที่ทันสมัย รับส่งข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทางข้อมูลสภาพถนนและข้อมูลเกี่ยวกับยานยนต์ แล้วนำข้อมูลมาใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

ต่อไปเราจะกล่าวถึงโครงการที่เกี่ยวกับระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะซึ่งนำมาแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจราจร เพื่อให้เข้าใจในระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะได้มากขึ้น

2.2.1 SARTRE

SARTRE [4] หรือ Safe Road Trains for the Environment เป็นโครงการที่ได้รับทุนการพัฒนาจากคณะกรรมการยุโรป ซึ่งเป็นการร่วมมือกันพัฒนาจาก 7 บริษัท นำโดย Ricardo UK Ltd จากประเทศอังกฤษ Idiada และ Tecnalia Research & Innovation จากประเทศสเปน, Institut für Kraftfahrzeuge Aachen (IKA) จากประเทศเยอรมนี, SP Technical Research Institute, Volvo Car Corporation และ Volvo Technology จากประเทศสวีเดน

SARTRE ได้ริเริ่มขึ้นเพื่อศึกษากลยุทธ์และดำเนินการทดลองใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดการกับขบวนยานพาหนะที่จราจรบนทางหลวงสาธารณะ ขบวนยานพาหนะจะทำการปรับสภาพการเคลื่อนที่ตามโครงสร้างของถนน และจะมีปฏิสัมพันธ์กับยานพาหนะอื่นๆ ที่ไม่ได้รวมขบวน

การทดสอบตัวต้นแบบครั้งแรกของการขับเคลื่อนถนนแบบอัตโนมัติ ได้ดำเนินการที่บริเวณพื้นที่ทดสอบของบริษัทวอลโว่ ใกล้เมืองโกเธนเบิร์ก ประเทศสวีเดนในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2011

ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2012 โครงการ SARTRE ได้เข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายด้วยการทดสอบให้รถยนต์จำนวนสามคันวิ่งแบบอัตโนมัติตามรถบรรทุกที่ทำหน้าที่นำขบวน โดยมีความเร็วประมาณ 90 กม. / ชม. และช่องว่างระหว่างรถแต่ละคันประมาณ 6 เมตร

เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในโครงการ SARTRE คือ เรดาร์, กล้อง, เลเซอร์ เซนเซอร์ และ ระบบการสื่อสารสำหรับการควบคุมขบวนรถ รถที่ทำหน้าที่นำขบวนจะควบคุมรถที่อยู่ภายในขบวนทั้งหมด และทำให้รถแต่ละคันมีความเร็วคงที่และมีระยะห่างกันอย่างเหมาะสมมากที่สุด (ประมาณ 5 – 6 เมตร)

รถหัวขบวนจะถูกขับโดยผู้ขับที่มีความเป็นมืออาชีพ สามารถควบคุมการทำงานต่าง ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ รถที่ใช้นำขบวนอาจเป็นรถแท็กซี่, รถบรรทุก หรือรถโดยสารประจำทางก็ได้ ในส่วนของรถที่อยู่ในขบวนจะถูกติดตั้งด้วยระบบ Collision Mitigation, Adaptive Cruise Control, Lane Departure Warning and Brake Control Systems. เพื่อให้สามารถขับเคลื่อนได้อย่างอัตโนมัติ อีกทั้งติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณและระบบนำทางเพื่อใช้ในการสื่อสาร สามารถรองรับจำนวนรถได้ 6 – 8 คัน ซึ่งรองรับการควบคุมทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบขับด้วยตนเอง โดยสามารถออก

จากขบวนได้ตามต้องการเมื่อถึงจุดหมาย ส่วนรถคันอื่น ๆ ในขบวนจะขับตามกันต่อไปจนถึงจุดสิ้นสุดของระยะทาง

2.2.2 Hyundai “The Empty Car Convoy”

บริษัท Hyundai Motor Company’s มีความพยายามที่จะถ่ายทอดคุณสมบัติของรถยนต์ที่มีการนำเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้โดยทำการบอกเล่าผ่านวิดีโอโดยการนำตัวรถที่ถูกพัฒนาขึ้นจริงมาใช้ในการแสดงเพื่อให้เห็นประสิทธิภาพจริง ๆ ของสินค้าและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้น

ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวได้แก่ ASCC (Advance Smart Cruise Control) ซึ่งเป็นระบบควบคุมรถตามความเร็วที่กำหนดและจะปรับเปลี่ยนความเร็วให้เหมาะสมตามระยะห่างจากสภาพแวดล้อมการจราจรข้างหน้า

ต่อไปเป็นเทคโนโลยี AEB (Advance Emergency Braking) เป็นระบบที่จะเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่โดยระบบจะทำการตรวจจบริยะห่างจากวัตถุด้านหน้า หากอยู่ในระยะที่ไม่ปลอดภัยระบบจะทำการหยุดรถให้อย่างอัตโนมัติเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุรถชนได้

ต่อไปเป็นเทคโนโลยี LKAS (Lane Keep Assist System) เป็นระบบที่ทำการควบคุมรถให้ครองเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบจะทำการตรวจจับเส้นหารถเคลื่อนที่ออกจากเส้น ระบบจะทำการควบคุมพวงมาลัยให้รถกลับมาอยู่กลางเลนเหมือนเดิม

Hyundai ได้นำเทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้นประกอบรวมกันและแสดงออกมาในรูปแบบของขบวนรถขับเคลื่อนอัตโนมัติแบบไร้คนขับในโปรเจกต์ชื่อว่า “The Empty Car Convoy” โดยโปรเจกต์ดังกล่าวนำรถที่มีเทคโนโลยี ASCC, AEB, LKAS มาใช้ขับเคลื่อนตามกันเป็นขบวนโดยไม่มีคนขับทำให้เห็นได้ว่าเทคโนโลยีรถยนต์ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพและสามารถสร้างขบวนรถไร้คนขับได้ [5]

2.2.3 วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก เรื่อง Platooning of IVC-enabled autonomous

vehicles: Information and positioning management algorithms, for high traffic capacity and urban mobility improvement โดย Pedro Fernandes

เป็นวิทยานิพนธ์ [6] ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยแก้ปัญหาการจราจรในระดับท้องถิ่น ด้วยการคิดค้นอัลกอริทึมใหม่ ในการใช้ควบคุมขบวนรถอัตโนมัติ ซึ่งมีทั้งการจัดการเรื่องการระบุตำแหน่งทั้งในและนอกขบวนรถ และวิธีการแก้ปัญหาความล่าช้าในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างรถผ่านเทคโนโลยี DSRC ทำการทดสอบผลการทดลองโดยการจำลองด้วยการใช้ Matlab/Simulink และ SUMO วัดผลจากรายงานที่แสดงออกมาเป็นกราฟ

จากการศึกษาระบบขนส่งและจราจรอัจฉริยะและโครงการที่เกี่ยวข้องข้างต้น ผู้พัฒนาได้วิเคราะห์และแบ่งองค์ประกอบของระบบเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการขับเคลื่อนของยานพาหนะ และส่วนที่ทำหน้าที่สื่อสารระหว่างยานพาหนะ

2.3 ส่วนควบคุมการขับเคลื่อนของยานพาหนะ

ทำหน้าที่ควบคุมการขับเคลื่อนของยานพาหนะโดยอาศัยการประมวลผลจากสถานะแวดล้อมที่ตรวจจับได้จากเซนเซอร์ที่ติดกับยานพาหนะ เมื่อประมวลผลแล้วจึงส่งคำสั่งไปยังหน่วยควบคุมเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนอย่างเหมาะสม โดยสามารถแยกองค์ประกอบของการทำงานได้ดังนี้

2.3.1 หน่วยประมวลผลกลาง

ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เมื่อได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมจึงปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ตามผลลัพธ์ที่ได้ หน่วยประมวลผลกลางสามารถแบ่งประเภทโดยหลักๆ ได้ดังนี้

ไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor)

คือ อุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นชิปหรือ ไอซี (Integrated Circuit) ซึ่งมีหน้าที่หลัก คือ ประมวลผลชุดคำสั่งที่มีการป้อนเข้าสู่อุปกรณ์ สามารถแบ่งประเภทของไมโครโพรเซสเซอร์ออกเป็น 2 ประเภท คือ RISC (Reduced Instruction Set Computer) โดยจะมีจำนวนชุดคำสั่งน้อย แต่สามารถทำงานแต่ละชุดคำสั่งได้เร็ว อีกประเภทคือ CISC [6] (Complex Instruction Set Computer) จะมีจำนวนชุดคำสั่งที่มากกว่าและซับซ้อนกว่า ทำให้การทำงานช้าลงเพื่อแลกกับการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก เกิดขึ้นจากนำเอาไมโครโพรเซสเซอร์มารวมเข้ากับอุปกรณ์อื่น ๆ อาทิ หน่วยความจำ (Memory), พอร์ตขาเข้า / ขาออก (I/O Port) เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเหมาะกับการใช้งานในด้านการควบคุมอุปกรณ์ เช่น ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ, เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ และระบบฝังตัว (Embedded system) เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์มีอยู่หลากหลายประเภทให้เลือกใช้งาน โดยจะแตกต่างกันตามสถาปัตยกรรม (การผลิตและกระบวนการทำงานหรือประมวลผล) ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน อาทิเช่น ตระกูล PIC, ตระกูล ARM และบอร์ดตระกูล Arduino เป็นต้น

➤ อาดูโน้ (Arduino)

คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR ที่มีการผลิตและพัฒนาขึ้นมาแบบโอเพ่นซอร์ส (Open source) กล่าวคือ มีการเปิดเผยข้อมูลของตัวผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านฮาร์ดแวร์ และด้านซอฟต์แวร์ โดยมีจุดเด่นที่การออกแบบให้ใช้งานง่าย มีราคาไม่แพง และด้วยความที่เป็นโอเพ่นซอร์สทำให้ผู้ใช้สามารถนำไปดัดแปลงหรือพัฒนาต่อยอดการใช้งานได้ในหลายๆด้าน ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมบนอาดูโน้ จะอ้างอิงโครงสร้างจากภาษา C/C++

Single-board Computer

คือ คอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างให้อยู่ภายในแผงวงจรแผงเดียว ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายๆอย่าง เช่น ไมโครโปรเซสเซอร์, หน่วยความจำ, พอร์ต I/O เป็นต้น เพื่อให้มีฟังก์ชันการทำงานได้เหมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง [6] Single-board Computer เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นตัวต้นแบบของสิ่งประดิษฐ์หรือการเรียนรู้สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา โดยรุ่นที่นิยมและเป็นที่รู้จักกันมากที่สุด คือ Raspberry Pi ที่มีระบบปฏิบัติการเป็น Linux OS และมีราคาไม่แพงมาก

➤ ราสเบอร์รี่ พาย (Raspberry Pi)

คือชุดของบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่รวมพอร์ตสำหรับใช้งานเอาไว้ในบอร์ดๆเดียว ไม่ว่าจะเป็น พอร์ต HDMI ,USB ,LAN และ GPIO บอร์ด Raspberry Pi ถูกสร้างมาเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้และศึกษาในพื้นฐานของศาสตร์คอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้งานได้เหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นงานเอกสาร หรือเขียนโปรแกรมใช้งานหรือควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ได้

2.3.2 หน่วยควบคุม

ทำหน้าที่รับคำสั่งที่ถูกประมวลผลจากหน่วยประมวลผลกลาง นำมาใช้ควบคุมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนของยานพาหนะ อาทิเช่น ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ (Motor Driver) เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามคำสั่งที่ได้รับ

2.3.3 หน่วยตรวจจับสถานะแวดล้อม

หรือที่เรียกว่า เซนเซอร์ ทำหน้าที่ตรวจจับปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และนำมาใช้เป็นข้อมูลที่นำไปเป็นส่วนหนึ่งของการประมวลผล เพื่อ

ปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของยานพาหนะให้เหมาะสมที่สุด ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการทำ
ให้รถยนต์สามารถขับเคลื่อนได้แบบอัตโนมัติ เช่น เซอร์ที่พบว่ามีการติดตั้งในรถยนต์
อาทิเช่น

- เซนเซอร์ตรวจจับความเร็วรถยนต์
- เซนเซอร์แจ้งเตือนเมื่อมีวัตถุเข้าใกล้ตัวรถ
- เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในรถ หรือวัดอุณหภูมิเครื่องยนต์
- เซนเซอร์ตรวจจับความเร่งและการหมุนในแนวแกน
- กล้องหน้ารถหรือหลังรถที่จะเก็บภาพเพื่อประมวลผลระยะห่างระหว่าง
รถกับวัตถุ
- และเซนเซอร์อื่น ๆ ที่ผู้ผลิตรถยนต์ติดตั้งให้กับตัวรถเพื่อเพิ่ม
ประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ

2.3.4 แนวคิดและวิธีการควบคุมการขับเคลื่อน

การควบคุม หมายถึงการจัดการให้ระบบมีการตอบสนองหรือได้ผลลัพธ์เป็นไป
ตามที่ต้องการ [7] การควบคุมมีองค์ประกอบโดยพื้นฐาน คือ

1. วัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย (Input)
2. กระบวนการหรือขั้นตอน (Process)
3. การตอบสนองหรือผลลัพธ์ (Output)

โดยสามารถแบ่งประเภทของการควบคุมออกเป็น 2 ประเภท คือ

ระบบควบคุมแบบเปิด (Open-Loop Control System)

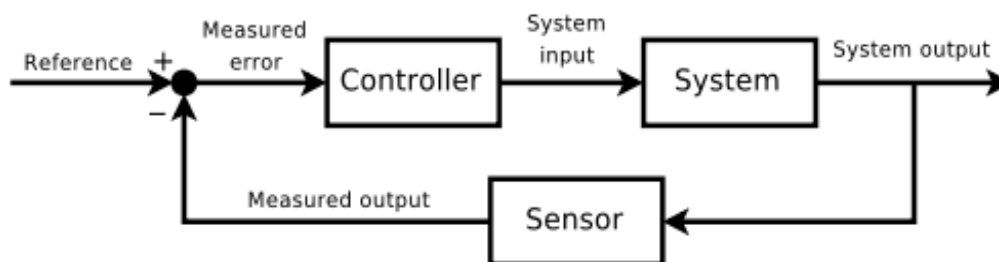


รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบควบคุมแบบเปิด

(<http://www.truelookpanya.com/learning/detail/30953-043500>)

ลักษณะการทำงานของระบบควบคุมแบบเปิดนั้น ตัวควบคุม(Controller) จะรับ
คำสั่งที่ป้อนเข้ามาหรือค่าอินพุต แล้วนำไปประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือค่าเอาต์พุต
โดยที่ไม่มีการตรวจสอบหรือเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ดังนั้น
ค่าเอาต์พุตจึงไม่มีผลต่อกระบวนการทำงานภายในระบบ ทำให้ระบบไม่ซับซ้อน เหมาะ
กับการควบคุมที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก

ระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control System)



รูปที่ 2.2 แผนภาพระบบควบคุมแบบปิด

(https://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory)

หรือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ลักษณะการทำงานจะแตกต่างจากระบบการควบคุมแบบเปิดตรงที่มีการนำเอาค่าเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต โดยผลต่างที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่านั้นถือว่าเป็นค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบในหนึ่งรอบการทำงานนั้น ๆ เมื่อยังมีความผิดพลาดอยู่ ตัวควบคุมจะทำการส่งคำสั่งให้ประมวลผลโดยลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดจนไม่มีความผิดพลาดเลย ทำให้ได้ค่าเอาต์พุตเป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น ระบบควบคุมแบบปิดจึงมีความซับซ้อนกว่ามาก แต่ก็ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและตรงตามความต้องการมากที่สุด จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติ เพราะต้องอาศัยปัจจัยแวดล้อมในขณะที่ขับเคลื่อนมาร่วมประมวลผลด้วย ซึ่งต้องมีความละเอียดอย่างมากในการควบคุม

2.4 ส่วนการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ทำหน้าที่ในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารเพื่อกระจายข้อมูลการขับเคลื่อนของตัวเองให้รถคันที่ตามมา หรือทำการรับข้อมูลการขับเคลื่อนจากรถคันอื่นเพื่อนำมาปรับปรุงการขับเคลื่อนของตัวเองเพื่อให้ได้รูปแบบการขับเคลื่อนที่เหมาะสม ณ ขณะนั้น โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารนั้นจะเป็นเทคโนโลยีในเครือข่ายแบบไร้สาย [8]ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกและเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นอย่างมาก

2.4.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย (Wireless)

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายคือเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถสื่อสารกันโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ไม่ใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่ออีกต่อไปเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายมีอิทธิพลต่อโลกในปัจจุบันมาก เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ มากมาย

ปัจจุบันเทคโนโลยีไร้สายถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างหลากหลายเพื่อรองรับการใช้งานจากอุปกรณ์หลากหลายประเภท ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ความเร็ว ความปลอดภัย และ ราคานั้นก็ต่างกันไปตามความเหมาะสม เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันมีอยู่มากมายดังนี้

เทคโนโลยี Wi-Fi

Wi-Fi (Wireless Fidelity) คือเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย ที่ช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกันแบบไร้สายได้โดยใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางในการสื่อสาร บนมาตรฐานของ IEEE [9] ซึ่งมาตรฐานของ IEEE นั้นก็ยังมีอีกหลายประเภทซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพและการใช้งานดังนี้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของ WiFi และประสิทธิภาพ

มาตรฐาน	คลื่นความถี่	ความเร็ว	ระยะในอาคาร	ระยะในที่โล่ง
IEEE 802.11a	5 Ghz	54 Mbps	35 เมตร	120 เมตร
IEEE 802.11b	2.4 Ghz	11 Mbps	35 เมตร	140 เมตร
IEEE 802.11g	2.4 Ghz	36-54 Mbps	38 เมตร	140 เมตร
IEEE 802.11n	2.4 & 5 Ghz	300 Mbps	70 เมตร	250 เมตร

เทคโนโลยี Bluetooth

Bluetooth [10] คือ เทคโนโลยีการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำ โดยอาศัยการใช้คลื่นวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz ในการส่งข้อมูลระยะสั้น เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูล หรือ บรอดแคสต์ข้อมูลออกไป ระหว่างอุปกรณ์ โดยในปัจจุบันมีการแยกเทคโนโลยี Bluetooth ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR) และ Low Energy (LE)

Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR)

เป็นประเภทที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point (P2P) หรือสร้างการเชื่อมต่อแบบ 1 ต่อ 1 ระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งประเภทนี้นั้นจะเหมาะกับการสตรีมมิ่งสื่อเสียง มักนิยมเอาไปใช้ในหูฟังไร้สาย ไมโครโฟนไร้สาย หรือ ระบบในรถยนต์ เป็นส่วนมาก

Bluetooth Low Energy

เป็นประเภทของบลูทูธที่กินพลังงานน้อยที่รองรับการเชื่อมต่อหลากหลายรูปแบบ และหลากหลายอุปกรณ์โดยทำการกระจายสัญญาณเพื่อการบรอดแคสต์ข้อมูลออกมาในระยะสั้น ซึ่ง Bluetooth Low Energy ยังแบ่ง การใช้งานออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ P2P, Broadcast และ Mesh

Bluetooth Low Energy : Point to Point

Bluetooth Low Energy แบบ P2P ทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลนั้นกินพลังงานน้อยลง และยังทำให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้หลากหลายประเภทมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การ Tracking อุปกรณ์กีฬาในฟิตเนสนั้น สามารถรองรับการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ทุกประเภทที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบลูทูธได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Bluetooth Low Energy : Broadcast

Bluetooth Low Energy รองรับการเชื่อมต่อแบบ 1 to many (1: m) ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ โดยรองรับการแชร์ข้อมูลเฉพาะพื้นที่โดยทำการกระจายข้อมูลออกไปเฉพาะจุดนั้น ๆ ที่สัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์นั้น ๆ จะกระจายถึง ยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี iBeacon หรือ Eddystone ที่ทำการกระจายสัญญาณบลูทูธออกมาเพื่อเรียกข้อมูลสารสนเทศที่ต้องการให้ปรากฏกับผู้ใช้งานจำนวนมากที่อยู่ในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อการโปรโมทสินค้า หรือการแจ้งเตือนต่าง ๆ เป็นต้น

Bluetooth Low Energy : Mesh

Bluetooth Low Energy รองรับการทำงานแบบหลากหลายอุปกรณ์โดยปัจจุบันบลูทูธสามารถทำการเชื่อมต่อแบบ M:M ได้ โดยรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมาก ทำให้สามารถทำการเชื่อมต่อกันเป็นรูปแบบของ Mesh Network ได้

ความแตกต่างตาม Class ของ Bluetooth

เทคโนโลยีบลูทูธยังมีการจำแนก class ที่แตกต่างกันตามประสิทธิภาพในการใช้งานซึ่งจะแบ่งไปถึงระยะและกำลังส่งสัญญาณที่แตกต่างกันไปตามคลาสต่าง ๆ

[11]ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของ Bluetooth คลาสต่างๆ

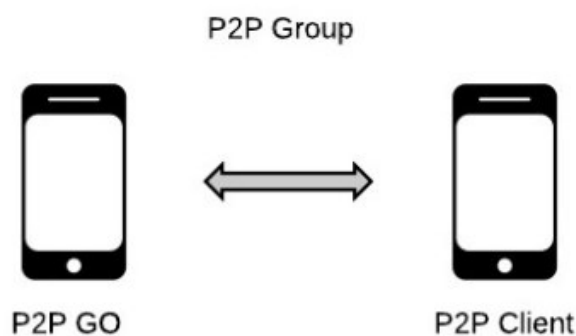
Bluetooth Class 1	รองรับการเชื่อมต่อได้ไกลประมาณ 100 เมตร มีกำลังส่งสัญญาณ 100 มิลลิวัตต์ โดยประมาณ
Bluetooth Class 2	รองรับการเชื่อมต่อได้ไกลประมาณ 10 เมตร มีกำลังส่งสัญญาณ 2.5 มิลลิวัตต์ โดยประมาณ
Bluetooth Class 3	รองรับการเชื่อมต่อได้ไกลประมาณ 1 เมตร มีกำลังส่งสัญญาณ 1 มิลลิวัตต์ โดยประมาณ
Bluetooth Class 4	รองรับการเชื่อมต่อได้ไกลประมาณ 0.5 เมตร มีกำลังส่งสัญญาณ 0.5 มิลลิวัตต์ โดยประมาณ

ตารางที่ 2.3 อัตราเร็วการส่งสัญญาณของ Bluetooth แต่ละเวอร์ชัน

Version	Speed
Bluetooth 2.0	1 Mbps
Bluetooth 2.0 + EDR	3 Mbps
Bluetooth 2.1 + EDR	3 Mbps
Bluetooth 3.0 + HS	24 Mbps
Bluetooth 4.0	24 Mbps
Bluetooth 4.1	24 Mbps

เทคโนโลยี Wi-Fi Direct

Wi-Fi Direct [12] หรือ Wi-Fi Peer to Peer ใช้มาตรฐาน 802.11 ทำงานในรัศมีไม่เกิน 250 เมตรมีความเร็วการส่งข้อมูลที่ 250MB/s รองรับการเชื่อมต่อเพียง 1 hop เท่านั้น



รูปที่ 2.3 P2P Group

Wi-Fi Direct เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ Access Point แต่จะทำการสร้างกลุ่มการเชื่อมต่อแบบ Peer to Peer ขึ้นมาเรียกว่า P2P Group โดยจะมีการกำหนดบทบาทของอุปกรณ์ ในการสื่อสารโดยจะประกอบไปด้วย P2P Group Owner (P2P GO) เปรียบเหมือนอุปกรณ์ที่เป็น Access Point และ P2P Client ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย

กระบวนการสร้างการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ของ Wi-Fi Direct ประกอบด้วยสองช่วงได้แก่

1. Device Discovery เป็นช่วงที่จะทำค้นหาอุปกรณ์โดยจะมีการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอน

Scan Phase ทำการแสกนทุกช่องสัญญาณเพื่อนค้นหาอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่โดยรอบ

Find Phase ทำการทำให้อุปกรณ์อยู่ในช่องสัญญาณเดียวกันเพื่อทำการตัดสินใจว่าจะเชื่อมต่อกันหรือไม่

2. Group Formation หรือส่วนของการสร้าง P2P แบ่งเป็น 2 ช่วงได้แก่

Group Owner Negotiation อุปกรณ์จะทำการกำหนด Group Owner โดยทำการส่งเฟรม 3 เฟรม ได้แก่ GO Negotiation, GO Response, GO Confirmation โดยตกลงว่าใครจะเป็น Group Owner โดยดูจาก GO Intent value เครื่องไหนมากกว่าจะเป็น Group Owner

WPS Provisioning เป็นช่วงที่ทำการยืนยันตัวตนของอุปกรณ์

เทคโนโลยี Zigbee

Zigbee เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่ 2.4 Ghz ทำงานอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับ Wireless sensor network จุดเด่นของ Zigbee คือประหยัดพลังงาน แต่มีการส่งข้อมูลที่ไม่ไกลมาก ประมาณ 10 - 100 เมตร

Zigbee เหมาะกับงานเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่เน้นประหยัดพลังงาน [13]

เทคโนโลยี NFC

NFC (Near Field Communication) เทคโนโลยีที่ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ด้วยการรับคำสั่งผ่านตัวนำไฟฟ้าผ่านอากาศด้วยคลื่นวิทยุ หรือที่เรียก RFID (Radio frequency Identification) โดยจะทำงานต่อเมื่อนำอุปกรณ์เข้ามาอยู่ใกล้ๆกัน NFC เป็นการส่งข้อมูลไร้สายที่ระยะใกล้มาก ๆ แต่ขั้นตอนไม่ซับซ้อน [13]

เทคโนโลยี Cellular

เทคโนโลยีสื่อสารระยะไกลที่มีประสิทธิภาพส่วนมากใช้งานในระบบมือถือ มีความเร็วการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ โดยมีมาตรฐาน GSM/GPRS/EDGE/3G/4G โดยใช้คลื่นความถี่ 900/1800/1900/2100 MHz

ข้อดีของการใช้ Cellular คือระยะการสื่อสารที่ไกล และความเร็วส่งข้อมูลที่สูงแต่ก็แลกมาด้วยความต้องการพลังงานที่สูงมากเช่นกัน [13]

เทคโนโลยี Lora Wan

เทคโนโลยีสื่อสารระยะไกลด้วยคลื่นความถี่ต่ำ ใช้ในการสื่อสารระหว่าง Node ที่มีระยะไกลตั้งแต่ 2 - 15 กิโลเมตร ใช้คลื่นความถี่ย่าน ISM band ประหยัดพลังงาน และการใช้ความถี่ต่ำส่งผลให้ทนต่อสัญญาณรบกวน อีกด้วย Lora wan เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมารองรับการใช้งานสำหรับ IoT เป็นอย่างมากเนื่องจากมีระยะการส่งข้อมูลที่ไกล และยังใช้พลังงานน้อย แต่ด้วยความที่มีระยะการสื่อสารที่ไกลและพลังงานต่ำกำลังส่งข้อมูลจึงต่ำเช่นกัน [13]

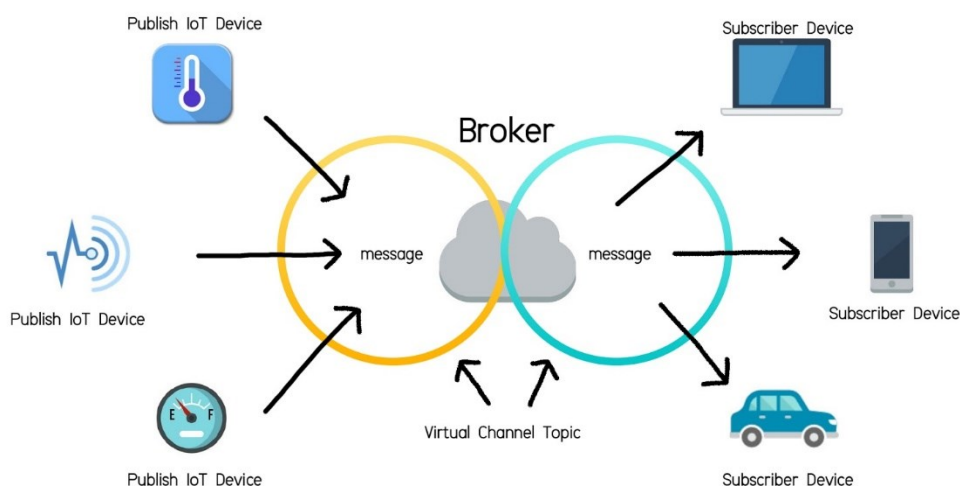
เทคโนโลยี NB-IoT

NB-IoT หรือ Narrow Band IoT เป็นเทคโนโลยีที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับการใช้งานของ IoT เนื่องจากอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานน้อยแต่ต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายเดียวกับเซลล์ลาร์จึงทำให้เกิดเทคโนโลยีนี้ขึ้นมา โดยมีจุดเด่นเช่นเดียวกับ Lora wan คือมีระยะการส่งข้อมูลที่ไกล กินพลังงานน้อย แต่แลกกับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำ แต่ความแตกต่างอยู่ที่คลื่นความถี่ที่ใช้ [13]

2.5 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)

Internet of Things [14] หรือ อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่งกล่าวคืออุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและกันได้โดยมีมนุษย์เป็นคนควบคุม



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบของ Internet of Things

องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของ Internet of Things

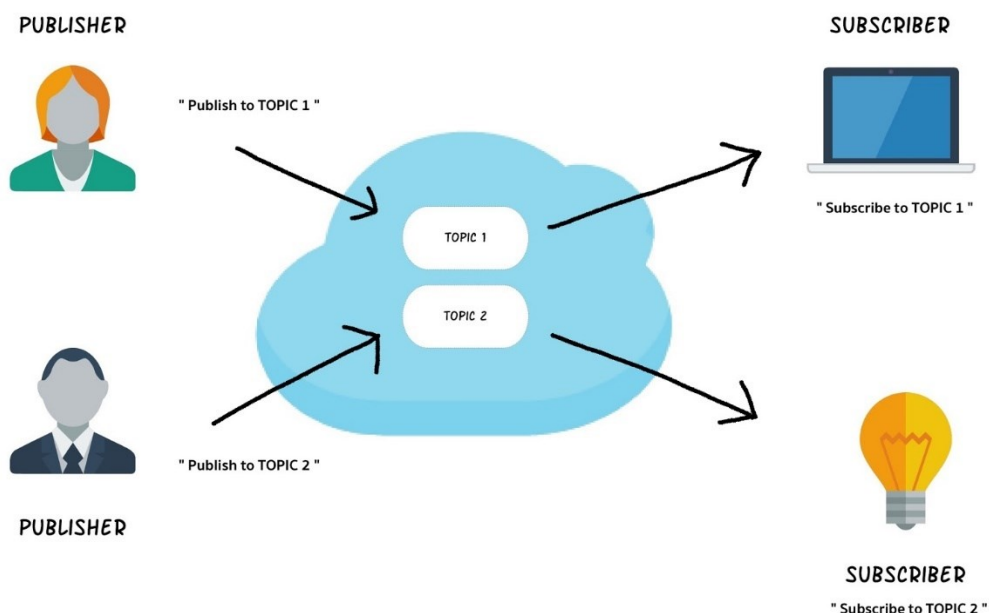
องค์ประกอบสำคัญที่มีในระบบ IoT จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. **Things** หรืออุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายทั้งแบบใช้สายและไร้สาย
2. **Network** ส่วนที่ใช้ในการสร้างการเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งจะประกอบไปด้วยหลากหลายเทคโนโลยีเช่น cellular network, Wi-Fi, Bluetooth, NFC, Zigbee เป็นต้น
3. **Cloud** เซิร์ฟเวอร์ระยะไกลที่ทำหน้าประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลทำให้ข้อมูลจากอุปกรณ์อาจจะนำมาเก็บและประมวลผลใน Cloud อีกทั้งระบบ Cloud ยังมีการรักษาความปลอดภัยที่ดีกว่าการใช้เครือข่ายส่วนตัว ในปัจจุบัน Cloud มีผู้ให้บริการหลายเจ้า อาทิเช่น Amazon AWS, NETPIE, Cisco Spark

Protocol สำหรับสื่อสารใน Internet of Things

โปรโตคอลที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในระบบ Internet of Things คือ MQTT Protocol

MQTT Protocol คืออะไร



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของ MQTT Protocol

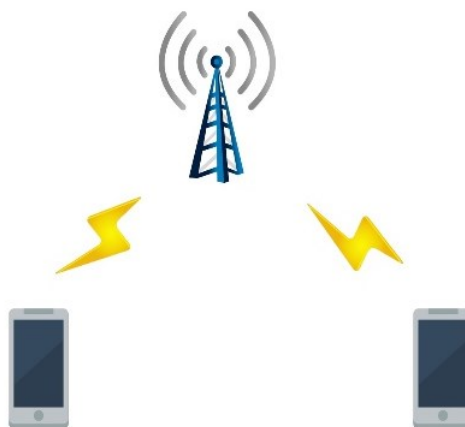
MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [14] โพรโทคอลขนาดเล็กสำหรับการสื่อสารแบบ M2M (Machine to Machine) โดยทำการกระจายข้อมูลแบบ Many to Many โดยจะมีองค์ประกอบดังนี้

1. **Client** คือ ลูกข่ายที่ทำหน้าที่ทั้ง Publisher และ Subscriber โดย
 - Publisher คือ บทบาทที่ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งข้อมูลไปยัง Topic ที่กำหนดไว้
 - Subscriber คือ บทบาทที่ทำหน้าที่เป็นผู้รับข้อมูลจาก Topic ที่ติดตามไว้
2. **Topic** คือ เป็นชื่อเรียก Address การสื่อสารนั้น ๆ ที่อยู่บน Broker โดยอุปกรณ์จะอิง Topic ที่ใช้ชื่อที่ตรงกัน ถึงจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้
3. **Broker** ซอฟต์แวร์ตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนท่อสื่อสาร โดยจะนำข้อมูลที่รับจาก Publisher ส่งไปที่ Subscriber ตาม Topic ที่ถูก Client กำหนดไว้

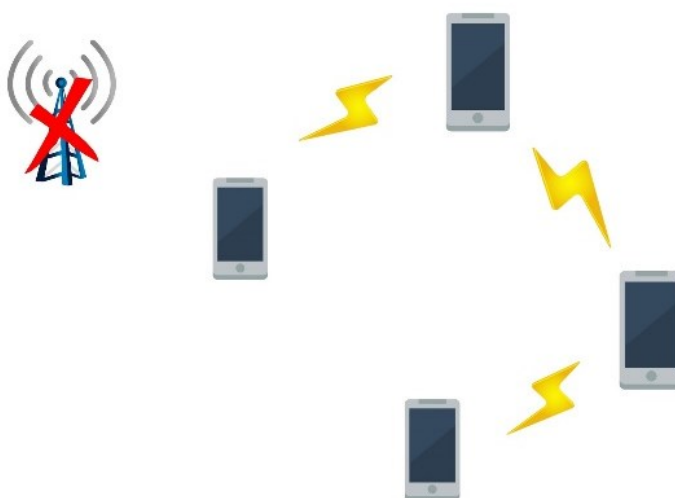
กล่าวคือ ในการส่งข้อมูลหากันนั้นจะทำงานโดย Publisher จะส่งข้อมูลไปที่ Broker โดยกำหนด Address เป็น Topic นั้น ๆ ที่ต้องการส่งไป และ Subscriber จะทำการรับข้อมูลจาก Topic ที่ Subscribe เอาไว้ และนำข้อมูลที่รับไปใช้ต่อไป

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad-Hoc Network)

ในปัจจุบันนั้นการสื่อสารมีอิทธิพลอย่างมากการเชื่อมต่อส่วนใหญ่นั้นเป็นแบบมีโครงข่ายระบบ ซึ่งถ้าหากระบบล่มจะทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังพัฒนาเพื่อเป็นช่องทางสื่อสารเฉพาะกิจที่สามารถใช้ได้ทุกที่ทุกเวลาและไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างระบบ [15]



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อที่พึ่งพาโครงข่ายระบบ



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อที่ไม่พึ่งพาโครงสร้างระบบ (Ad-Hoc)

การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc นั้นไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างระบบ อาศัยการใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายในการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน ซึ่งเทคโนโลยีที่รองรับในปัจจุบันมีรองรับแล้ว อาทิเช่น Wi-Fi Direct, Bluetooth เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อแบบ Ad-Hoc ระหว่างอุปกรณ์นั้นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือพลังงานที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อนั้นไม่ควรกินพลังงานสูงเพื่อให้สามารถใช้งานในสภาวะฉุกเฉินได้เป็นระยะเวลานานมากยิ่งขึ้น

เทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง

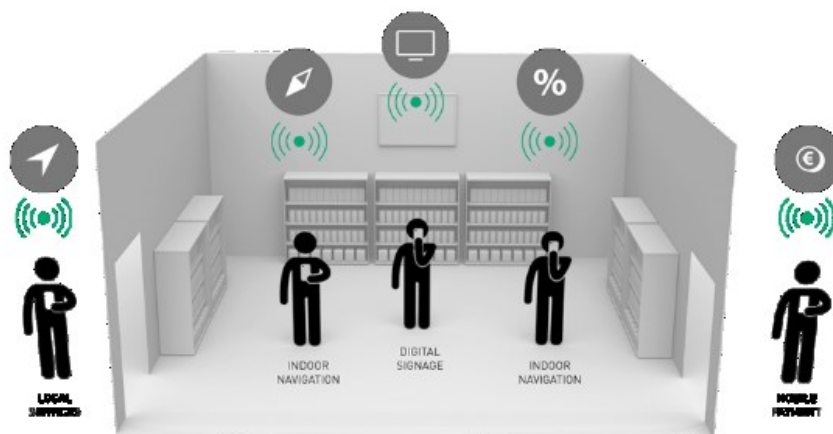
GPS เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งผ่านดาวเทียม กล่าวคือ การนำดาวเทียมมาใช้ในการระบุตำแหน่ง ซึ่งการระบุตำแหน่งด้วย GPS นั้นจำเป็นต้องใช้ดาวเทียมถึง 3 ดวงเป็นอย่างต่ำ ซึ่งอุปกรณ์ GPS จะทำการคำนวณระยะห่างโดยการคำนวณเวลาที่ใช้ในการรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุจากดาวเทียม และความเร็วในการส่งของคลื่นดาวเทียม มาทำการคำนวณเพื่อระบุตำแหน่งที่ห่างจากดาวเทียมตัวนั้น ๆ [16]



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของ GPS

(http://fb1-cw.lnwfile.com/_/cw/_raw/s6/ud/0i.jpg)

Beacon เป็นเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วย Bluetooth โดยทำการนำ Bluetooth Low Energy ที่ใช้พลังงานต่ำมาประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณออกมา และใช้อุปกรณ์ที่มีโมดูล Bluetooth รับสัญญาณโดยทำการคำนวณระยะห่างจากการรับส่งคลื่นสัญญาณ หลักการคล้ายๆกับ GPS แต่ตัวสัญญาณนั้นเป็นคลื่นวิทยุ Beacon นิยมนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งแบบ indoor ซึ่งนอกจากระบุตำแหน่งแล้ว Beacon ยังทำการกระจายสัญญาณที่ประกอบไปด้วย Unique id ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่นการนำทางเพื่อซื้อสินค้าภายในห้าง ซึ่งโปรแกรมที่ติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ จะทำงานอัตโนมัติ เมื่อลูกค้าที่มีโปรแกรมนั้น ๆ ติดตั้งไว้เดินเข้าไปในพื้นที่ที่มีการประกาศ Unique ID นั้น ๆ เอาไว้ เป็นต้น [17]



รูปที่ 2.9 การใช้งาน Beacon

(<https://www.2basetechnologies.com/services/iBeacon>)

บทที่ 3

การวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบ

3.1 แนวคิดในการพัฒนาระบบ

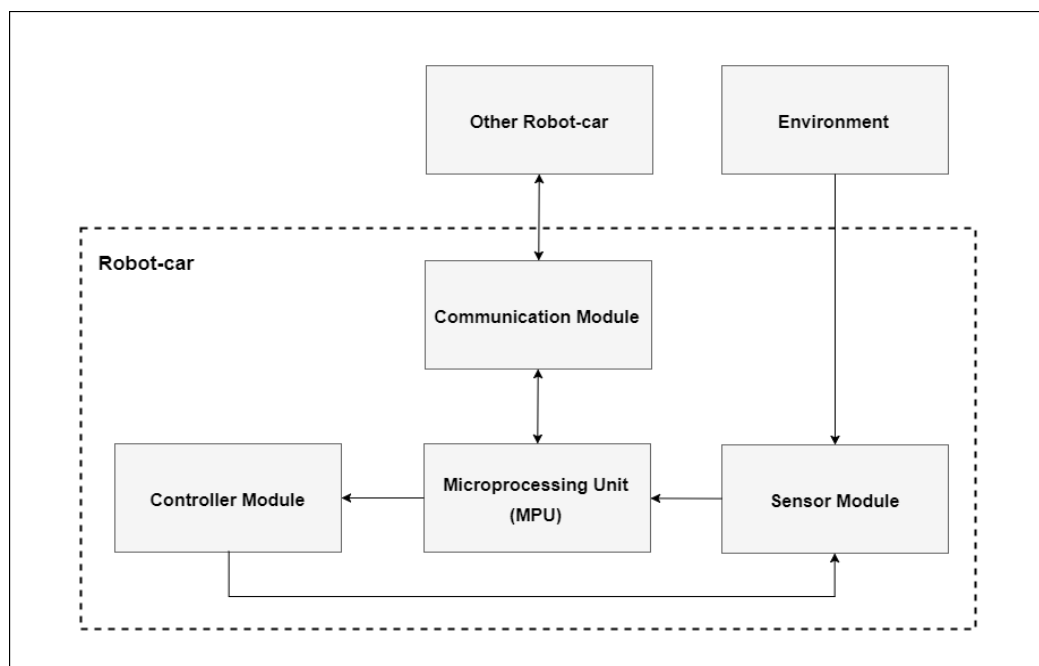
จากการศึกษาเกี่ยวกับระบบขนส่งและการจราจร ทางผู้พัฒนาพบว่าระบบขนส่งรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง คือ การขนส่งระบบราง ซึ่งสามารถขนส่งได้ในปริมาณมากในคราวเดียว แต่ต้องอาศัยการวางรางเป็นโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก อีกทั้งการต่อเติมรางต้องมีการใช้ขุดและการจ้างแรงงาน ทางผู้พัฒนาจึงมีความคิดว่า ถ้าหากสามารถพัฒนาระบบการขนส่งและการจราจรที่มีความใกล้เคียงกับระบบการขนส่งแบบราง แต่ไม่จำเป็นต้องวางราง อาจช่วยแก้ปัญหาเรื่องทรัพยากรที่ต้องใช้ได้ จึงนำแนวคิดของระบบขนส่งและการจราจรอัจฉริยะที่ทำการศึกษาในบทที่ 2 โดยทำการพัฒนาระบบควบคุมขบวนรถแบบอัตโนมัติ เพื่อให้รถขับเคลื่อนตามกันไปตามเส้นทางได้แบบอัตโนมัติโดยไม่ต้องพึ่งพาการวางรางหรือโครงสร้างทดสอบระบบโดยใช้โรบอทคาร์เป็นยานพาหนะเพื่อพิสูจน์แนวคิดและหลักการของระบบ ทำให้ได้มาซึ่ง ระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ



รูปที่ 3.1 ภาพจำลองระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ

3.2 การวิเคราะห์ระบบ

3.2.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงภาพรวมของระบบควบคุมขบวนโรบอตคาร์แบบทำงานอิสระ

ภาพรวมของการทำงานของระบบควบคุมขบวนโรบอตคาร์แบบทำงานอิสระนั้นจะประกอบไปด้วย 3 โมดูล และ 1 หน่วยประมวลผลที่เชื่อมโยงแต่ละ โมดูลเข้าด้วยกัน แต่ละ โมดูลมีหน้าที่ดังนี้

Sensor Module

ส่วนตรวจจับสถานะแวดล้อมภายนอกไม่ว่าจะเป็นระยะห่างระหว่างรถหรือทิศทาง การขับเคลื่อนของรถ และตรวจจับลักษณะการเคลื่อนที่ของตนเองจาก Controller Module จากนั้นจึงส่งค่าไปให้หน่วยประมวลผล (MPU) ทำการประมวลผลเพื่อปรับเปลี่ยนการขับเคลื่อนต่อไป

Microprocessing Unit (MPU)

หน่วยประมวลผลกลางที่จะทำการรับค่าสภาพแวดล้อมที่ส่งมาจากเซนเซอร์โมดูลเพื่อนำไปประมวลผลด้วยวิธีการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) และส่งคำสั่งไปยัง Controller Module เพื่อควบคุมให้โรบอตคาร์วิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

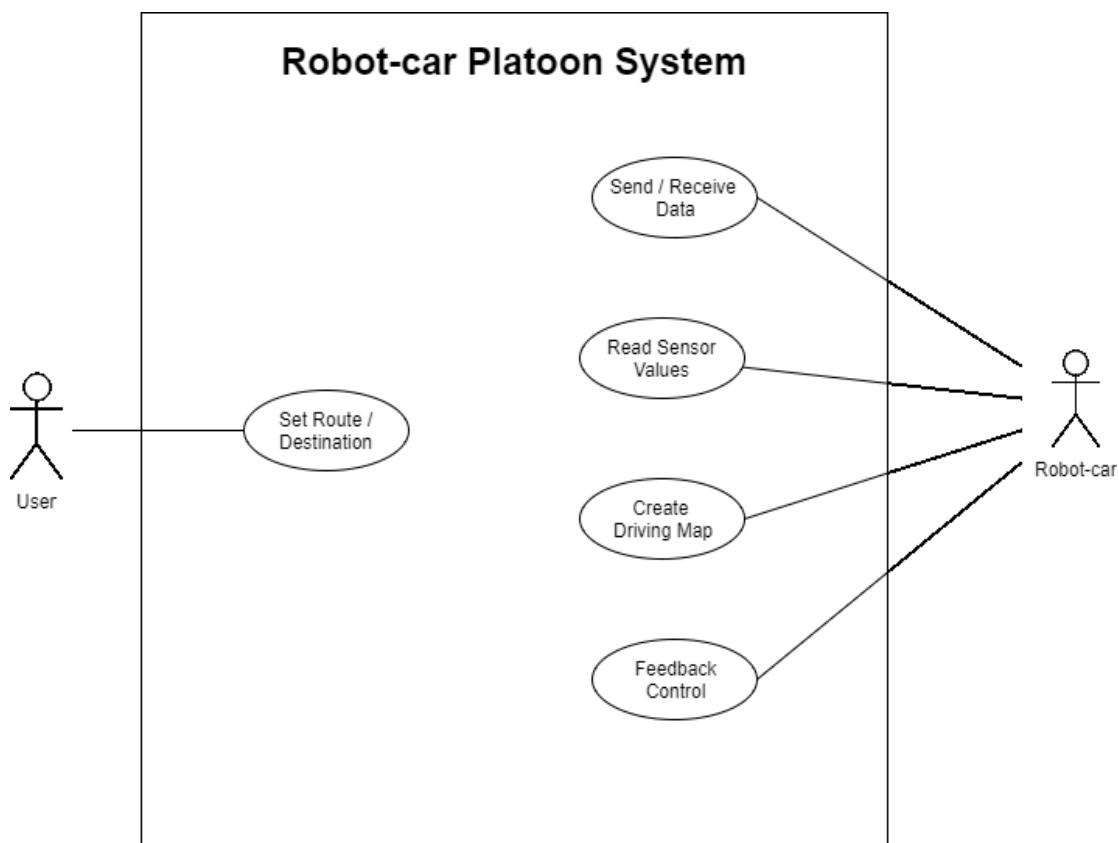
Controller Module

ควบคุมการเคลื่อนที่ของโรบอตคาร์โดยการรับคำสั่งที่ผ่านการประมวลผลจากหน่วยประมวลผล แล้วปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ตามข้อมูลดังกล่าว Controller Module ยังรวมไปถึงส่วนของมอเตอร์ที่หมุนล้อโรบอตคาร์

Communication Module

เป็นโมดูลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์โดยทำการส่งข้อมูลการขับเคลื่อนของโรบอทคาร์คันนั้นๆและรับข้อมูลการขับเคลื่อนจากโรบอทคาร์คันอื่นเพื่อนำมาส่งให้กับ Microprocessing Unit นำไปประมวลผลต่อไป

3.2.2 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram)



รูปที่ 3.3 แผนภาพยูสเคสของระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ

แอกเตอร์ (Actor) ในระบบประกอบด้วย

1. **User** คือ ผู้ใช้ที่สามารถป้อนคำสั่งเพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ให้กับโรบอทคาร์
2. **Robot-Car** คือ หุ่นยนต์จำลองที่สามารถรับคำสั่งจากผู้ใช้และสามารถสื่อสารกันเองระหว่างกันได้

3.2.3 คำอธิบายยูสเคส (Use Case Description)

ตารางที่ 3.1 คำอธิบายยูสเคสกำหนดเส้นทางหรือเป้าหมาย (Set Route / Destination)

Use Case Name:	Set Route / Destination	
Actor:	User	
Brief Description:	ผู้ใช้ทำการป้อนคำสั่งเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถนำขบวนผ่านทางหน้าเว็บ แล้วคำสั่งจะถูกส่งไปที่บอร์ด Raspberry pi เพื่อประมวลผลและนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	
Flow of Event:	Actor	System
	1. ผู้ใช้ป้อนระยะทางที่ต้องการให้หุ่นยนต์วิ่ง หน่วยเป็นเซนติเมตร 2. ผู้ใช้กดปุ่ม เพื่อยืนยันคำสั่ง	3.ระบบรับค่าที่ผู้ใช้ป้อนส่งไปหุ่นยนต์
Pre-Conditions:	1. สมาชิกสมาชิกและตั้งค่าการใช้งาน NETPIE 2. เปิดเว็บไซต์ www.netpie.io แล้วเข้าไปที่หน้าควบคุม Freeboard	
Post-Conditions:	ข้อมูลคำสั่งถูกส่งไปที่ Raspberry pi	

ตารางที่ 3.2 คำอธิบายยูสเคสรับและส่งข้อมูล (Send / Receive Data)

Use Case Name:	Send / Receive Data	
Actor:	Robot -car	
Brief Description:	<p>โรบอทคาร์ทำการ Publish เพื่อส่งข้อมูลการเคลื่อนที่ของตัวเองไปยัง Topic ที่กำหนดไว้ เมื่อมีการ Publish ค่าแล้ว โรบอทคาร์ฝั่งรับทำการ Subscribe Topic นั้นๆไว้ จะทำการรับข้อมูลไปใช้ต่อไป</p>	
Flow of Event:	Actor	System
	<p>1. โรบอทคาร์ส่งข้อมูล (Publish) การเคลื่อนที่ของตัวเองไปยัง Topic ที่กำหนดไว้</p> <p>3. รับข้อมูลจาก Topic ที่ทำการ Subscribe ไว้</p> <p>4. นำข้อมูลที่รับไปคำนวณรูปแบบการเคลื่อนที่</p>	<p>2. กระจายข้อมูลไปยังทุกๆ Device ที่ Subscribe Topic นั้นๆ ไว้</p>
Pre-Conditions:	<p>1. เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและเชื่อมต่อกับ Server ของ NETPIE</p> <p>2. โรบอทคาร์ Subscribe Topic ของโรบอทคาร์ที่ต้องการนำข้อมูลมาใช้</p>	
Post-Conditions:	ข้อมูลถูกนำไปใช้ในการสร้างแผนการเดินทางต่อไป	

ตารางที่ 3.3 คำอธิบายยูสเคสอ่านค่าจากเซนเซอร์ (Read Sensor Values)

Use Case Name:	Read Sensor Values	
Actor:	Robot-car	
Brief Description:	<p>โรบอทคาร์ทำการอ่านค่าสภาพแวดล้อมผ่านเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนตัวโรบอทคาร์โดยค่าที่อ่านประกอบไปด้วยความเร็วการเคลื่อนที่และระยะห่างวัตถุด้านหน้า</p>	
Flow of Event:	Actor	System
	<p>1. โรบอทคาร์อ่านค่าที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์</p>	<p>2. นำค่าที่ตรวจวัดได้ไปคำนวณรูปแบบการเคลื่อนที่</p>
Pre-Conditions:	เชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับโรบอทคาร์	
Post-Conditions:	-	

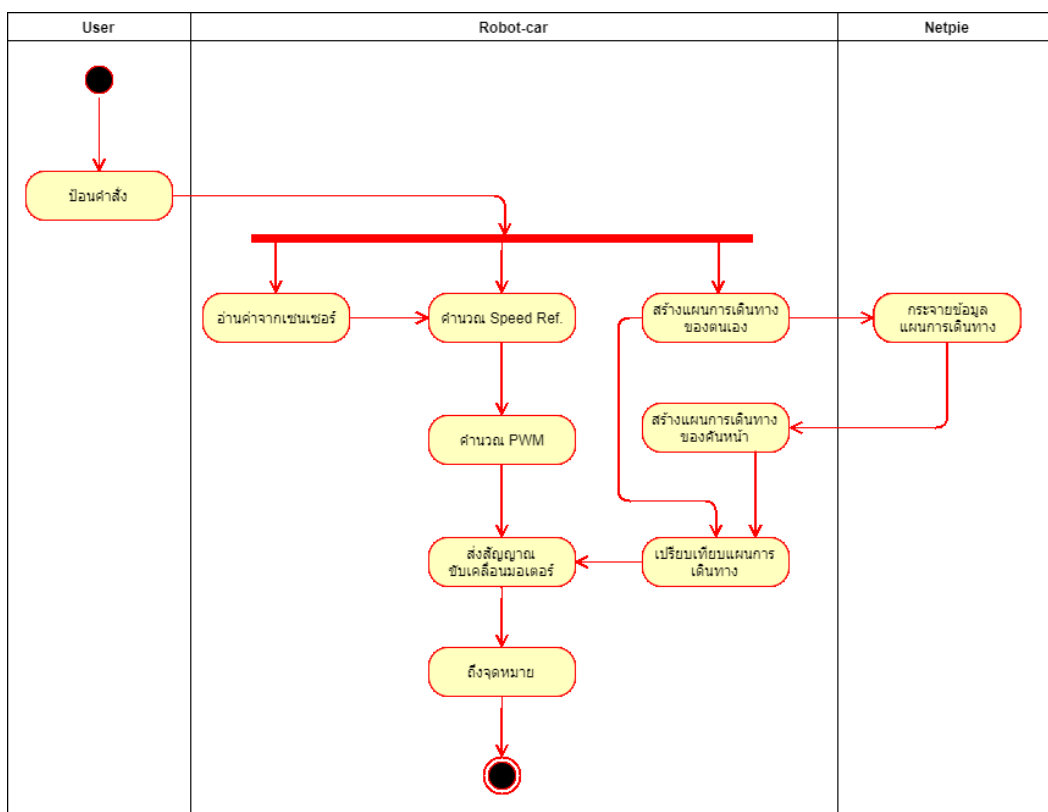
ตารางที่ 3.4 คำอธิบายยูสเคสสร้างแผนการเดินทาง (Create Driving Map)

Use Case Name:	Create Driving Map	
Actor:	Robot-Car	
Brief Description:	วิศวกรทำการอ่านค่าจาก Sensor เพื่อสร้างแผนการเดินทางของรถตัวเอง และทำการรับข้อมูลการเคลื่อนที่จากคันหน้าผ่าน NETPIE เพื่อทำการสร้าง แผนการเดินทางของคันหน้า เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนตามกันเป็นขบวน	
Flow of Event:	Actor	System
	1 วิศวกรอ่านค่าจากการเคลื่อนที่จาก เซนเซอร์ 2 วิศวกรรับข้อมูลแผนการเดินทางของวิศวกรคันหน้า	1.1 บันทึกข้อมูลการเคลื่อนที่เก็บเป็น ลิสต์ 2.1 บันทึกข้อมูลแผนการเดินทางของ วิศวกรคันหน้าเก็บเป็นลิสต์
Pre-Conditions:	รับค่าจาก Sensor, รับข้อมูลจาก NETPIE	
Post-Conditions:	นำแผนที่การเคลื่อนที่ของตัวเองและรถคันข้างหน้ามาใช้ประมวลผลเพื่อขับเคลื่อนตามกัน	

ตารางที่ 3.5 คำอธิบายยูสเคสควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

Use Case Name:	Feedback Control	
Actor:	Robot-Car	
Brief Description:	ทำการนำข้อมูลแผนที่การเคลื่อนที่ของตนเองและคันหน้ามาเปรียบเทียบกัน ประกอบกับข้อมูลที่อ่านค่าได้จากเซนเซอร์ นำมาประมวลผลร่วมกันเพื่อนำไปขับเคลื่อนโรบอทคาร์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามกันเป็นขบวน	
Flow of Event:	Actor	System
	3.ปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ให้ขับเคลื่อนตามกันเป็นขบวน	1.เปรียบเทียบแผนการเดินทางของตนเองกับคันหน้า 2.นำผลการเปรียบเทียบคำนวณประกอบกับค่าจากเซนเซอร์ 3.ปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ให้ขับเคลื่อนตามกันเป็นขบวน
Pre-Conditions:	ได้รับค่าจาก Sensor และ ข้อมูลจาก NETPIE	
Post-Conditions:	ขับเคลื่อนไปตามทิศทางที่ต้องการอย่างเป็นขบวน	

3.2.4 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram)



รูปที่ 3.4 แผนภาพกิจกรรมของการทำงานทั้งระบบ

3.3 อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ผู้พัฒนาจึงเลือกใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นตัวต้นแบบสำหรับการทดสอบระบบได้ โดยอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่เลือกใช้ มีดังนี้

3.3.1 Microprocessing Unit (MPU)

ในส่วนของหน่วยประมวลผลซึ่งเปรียบเสมือนศูนย์กลางของระบบ ได้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 3

เนื่องจากเป็นบอร์ดที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมเมื่อนำมาใช้งานที่มีการประมวลผลข้อมูลตลอดเวลาและมีข้อมูลจำนวนมาก อีกทั้งมี I/O พอร์ตซึ่งสามารถใช้เชื่อมต่อกับโมดูลอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ตามต้องการ



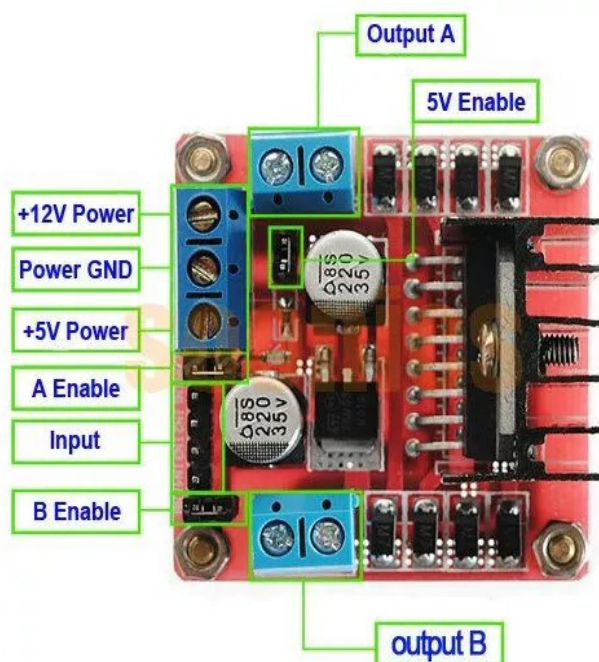
รูปที่ 3.5 บอร์ด Raspberry Pi 3

(http://media.rs-online.com/t_large/F8111284-01.jpg)

3.3.2 Controller Module

เป็นส่วนหลักในการบังคับการเคลื่อนที่ของโรบอตการ์โดยรับคำสั่งมาจากหน่วยประมวลผลกลาง อุปกรณ์ที่เลือกใช้มี ดังนี้

L298N H-Bridge Dual Motor Controller Module



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของโมดูล L298NH-Bridge Dual Motor Controller

(<https://create.arduino.cc/projecthub/now/l298n-motor-module-service-ba0f56>)

เป็นโมดูลที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ 2 ตัว แบบแยกอิสระ วิธีการควบคุมความเร็ว คือ วงจร H-Bridge จะถูกควบคุมโดยสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ส่งสัญญาณแบบดิจิทัลไปควบคุมอุปกรณ์ที่รับสัญญาณแบบอนาล็อกได้โดยการส่งสัญญาณดิจิทัลเปิดและปิดสลับกันไปเรื่อย ๆ ที่ความถี่สัญญาณคงที่ จะได้ค่าเฉลี่ยแรงดันของสัญญาณ หากเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของสัญญาณดิจิทัล จะได้ค่าเฉลี่ยแรงดันที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงส่งสัญญาณ PWM นี้ไปยังพอร์ต enable ของตัวโมดูล ทำให้สามารถกำหนดความเร็วของมอเตอร์ได้ ส่วนการควบคุมทิศทางของมอเตอร์ ทำได้โดยส่งสัญญาณแบบดิจิทัลไปยังพอร์ตขาเข้า ซึ่งทิศทางจะแตกต่างกันตามสัญญาณที่ส่งเข้า รายละเอียดแสดงดังตาราง

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการหมุนของมอเตอร์และสัญญาณ PWM

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์	สัญญาณที่พอร์ตขาเข้าที่1	สัญญาณที่พอร์ตขาเข้าที่2
หมุนตามปกติ	High	Low
หมุนย้อนกลับ	Low	High
หยุดหมุน	Low	Low

DC Motor



รูปที่ 3.7 DC มอเตอร์ และ ล้อรถโรบอทคาร์

(<https://i.pinimg.com/originals/2e/06/64/2e0664d9b89e0fcc9f716cb2f583459c.jpg>)

เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่ติดนำมาสวมเข้ากับล้อรถโรบอทคาร์ เมื่อมอเตอร์ได้รับกระแสไฟหรือสัญญาณที่ส่งมาจากตัว L298N Motor Driver จะทำให้มอเตอร์และล้อรถหมุนเป็นทิศทางตามสัญญาณที่ได้รับ จึงทำให้โรบอทคาร์สามารถเคลื่อนที่ได้

3.3.3 Sensor Module

เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจจับสถานะแวดล้อมและการเคลื่อนที่ของโรบอทคาร์เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบการประมวลผล การเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้เป็นเซนเซอร์จึงอ้างอิงกับเซนเซอร์ที่มีใช้อยู่ในรถยนต์จริง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประมวลผลให้มากที่สุด เซนเซอร์ที่เลือกใช้มีดังนี้

HC-020K Double Speed Measuring Module



รูปที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์โมดูลวัดความเร็ว HC-020K

(https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/61p8uKwL%2B JL._SY355_.jpg)

เป็นโมดูลที่ใช้เพื่อวัดความเร็วรอบการหมุนของล้อโรบอทคาร์ ด้วยวิธีการใช้อินฟราเรดตัดแสงบริเวณที่เป็นรูของวงล้อ ซึ่งวงล้อนี้นี้จะติดกับก้านล้อของโรบอทคาร์ เมื่อรูของวงล้อผ่านบริเวณที่ทำการตัดแสงก็จะเป็นการนับจำนวนเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จึงสามารถนำมาคำนวณเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของโรบอทคาร์ ณ ขณะนั้นได้

HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module



รูปที่ 3.9 โมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04

(http://img.dxcn.com/productimages/sku_416860_1.jpg)

เป็นโมดูลที่ใช้เพื่อวัดระยะห่างระหว่างวัตถุด้วยวิธีการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสะท้อนกลับจากวัตถุและคำนวณเป็นระยะทาง ซึ่งมีความแม่นยำในระยะประมาณ 2 - 400 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับการนำมาใช้กับโรบอทคาร์ที่เคลื่อนที่เป็นระยะไม่ไกลมาก ซึ่งระยะทางที่วัดได้นั้น สามารถนำไปคำนวณเพื่อใช้ในการเบรกของโรบอทคาร์เมื่อเข้าใกล้ระยะหรือเข้าใกล้วัตถุได้

GY-521 Gyroscope/Accelerometer Module

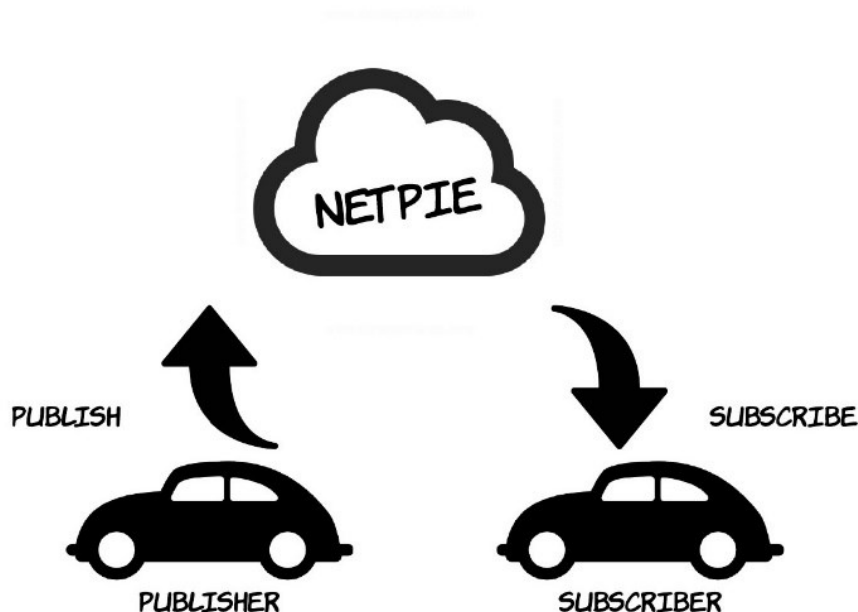


รูปที่ 3.10 โมดูล Gyroscope/Accelerometer GY-521

(https://j.lnwfile.com/_/j/_raw/3i/m0/gk.jpg)

เป็นโมดูลที่ใช้วัดได้ทั้งความเร็วเชิงมุมและความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z การวัดความเร็วเชิงมุมใช้เพื่อตรวจสอบการหมุนของตัวเซนเซอร์ สามารถนำไปใช้เพื่อตรวจจับการเลี้ยวของรถ ส่วนการวัดความเร่ง สามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการคำนวณในการควบคุมความเร็วของรถได้

3.3.4 Communication Module

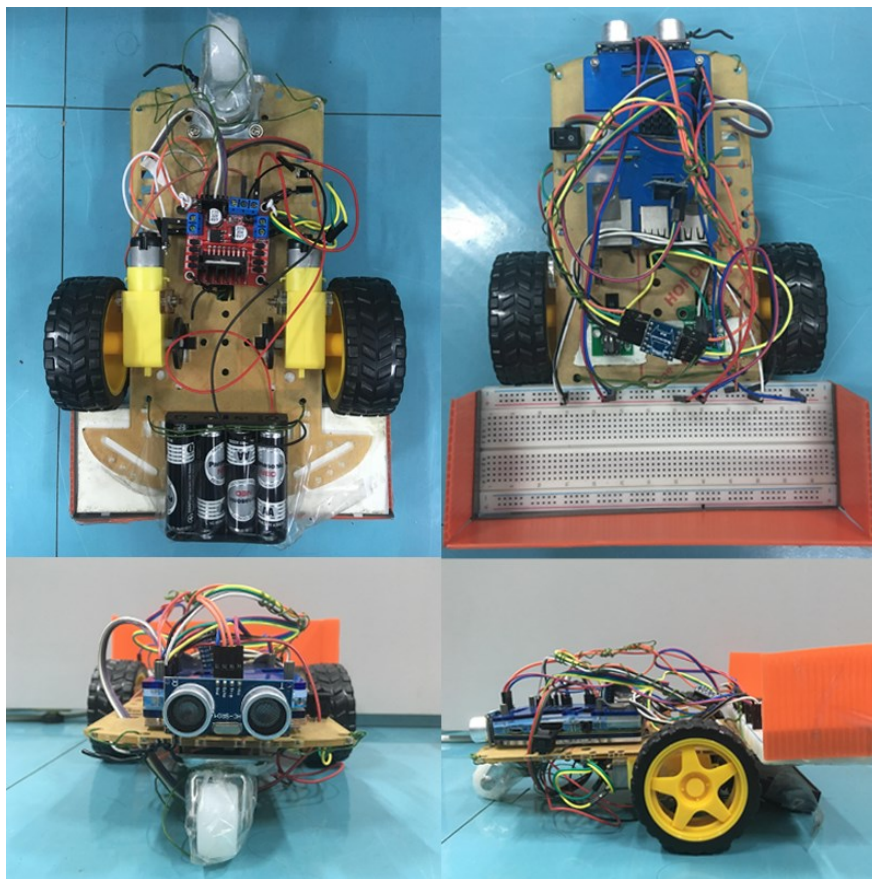


รูปที่ 3.11 หลักการและบทบาทในเครือข่าย IoT

ในการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโพรโทคอลนั้นได้ใช้แนวคิด IoT ในการสร้างระบบการสื่อสารระหว่างโพรโทคอลโดยเลือกใช้ NETPIE เป็น Broker ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโพรโทคอล โดยโพรโทคอลแต่ละคันจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่จำเป็นต่อการขับเคลื่อนตามกันเป็นขบวนซึ่งกันและกันตลอดเวลาผ่าน NETPIE

การใช้ IoT ในการสื่อสารนั้น จะให้โพรโทคอลที่ต้องทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลนั้นมีสองบทบาท คือ Publisher เมื่อโพรโทคอลต้องการส่งข้อมูล และ Subscriber เมื่อโพรโทคอลเป็นผู้รับข้อมูลโดยโพรโทคอลในระบบนั้นสามารถเป็นทั้ง Publisher และ Subscriber ในเวลาเดียวกันได้ตามแต่ลักษณะการทำงานในช่วงเวลานั้น ๆ

เมื่อนำอุปกรณ์ที่เลือกใช้ในแต่ละโมดูลมาประกอบเข้าด้วยกัน จึงทำให้ได้โพรโทคอลที่นำมาใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาระบบ ดังภาพด้านล่าง

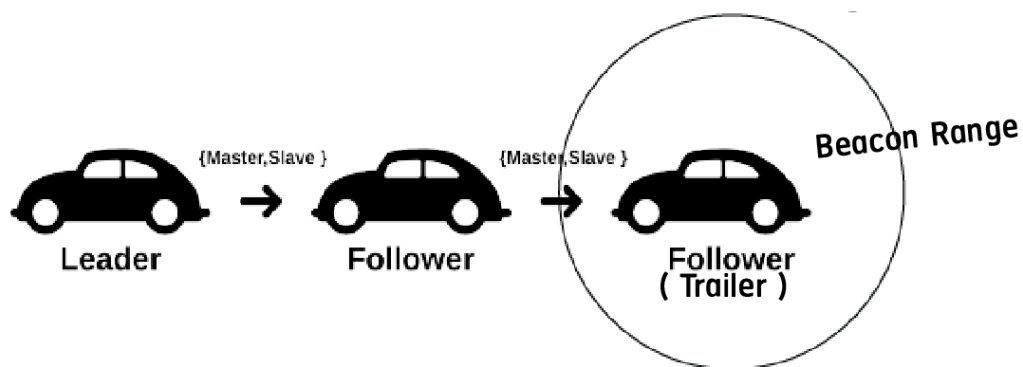


รูปที่ 3.12 แต่ละด้านของโรบอทคาร์

3.4 การพัฒนาระบบขับเคลื่อนเป็นขบวน

3.4.1 การจัดกลุ่มและบทบาทในขบวนรถ

การสร้างการสื่อสารเฉพาะกลุ่มนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในการสร้างขบวนรถ เนื่องจากรถที่มาเจอกันแบบสุ่มนั้นจำเป็นต้องสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันโดยภายในขบวนรถหนึ่งขบวนนั้น ผู้พัฒนาได้กำหนดบทบาทที่สามารถเป็นไปได้ของรถในขบวน โดยกำหนดไว้ดังนี้



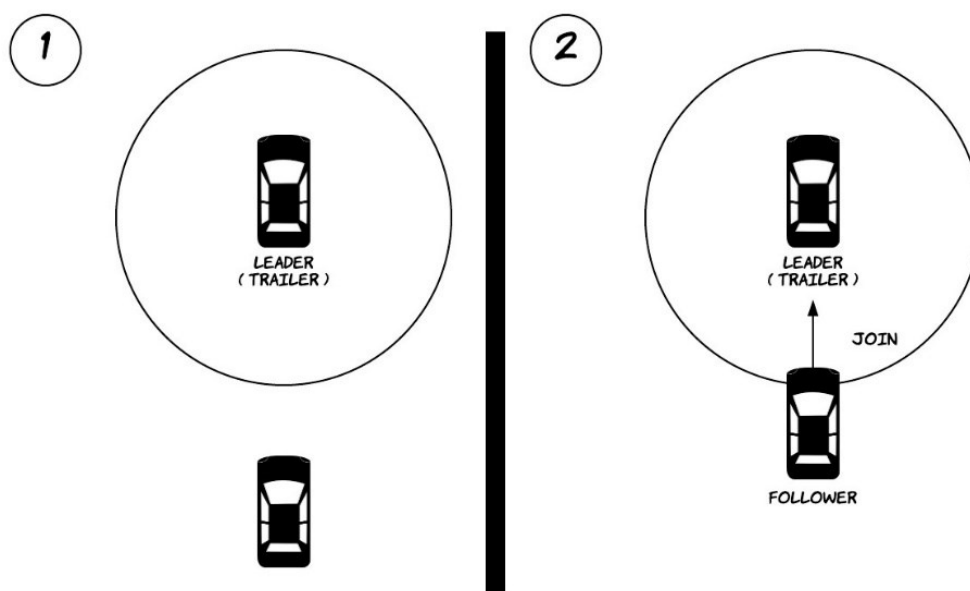
รูปที่ 3.13 บทบาทภายในขบวนรถ

ในมุมมองของขบวนรถทั้งขบวน จะมีรถหนึ่งคันที่มีบทบาทเป็น Leader คือรถคันแรกสุดของขบวน ซึ่งทำหน้าที่ขับนำขบวน ส่วนรถคันอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในขบวน จะมีบทบาทเป็น Follower โดยจำนวนของ Follower จะเพิ่มขึ้นได้เรื่อย ๆ ตามจำนวนของรถที่มาร่วมขบวน Follower จะเข้าร่วมขบวนผ่านทางรถที่เป็น Trailer ซึ่งทำหน้าที่กระจายสัญญาณ Beacon เพื่อป้องกันตัวเองคือท้ายขบวน เมื่อมีรถคันใด ๆ ต้องการต่อท้ายขบวนจะต้องทำการเชื่อมต่อกับรถคันที่เป็น Trailer เท่านั้น

ในมุมมองของการเชื่อมต่อกันระหว่างคันต่อกันแบบเป็นคู่ ๆ จะมีอีกบทบาทที่เรียกว่า Master และ Slave โดย Master หมายถึง วิทยุสื่อสารที่อยู่ข้างหน้าที่จะคอยส่งข้อมูลการขับเคลื่อนให้กับ Slave ซึ่งก็คือวิทยุสื่อสารที่กำลังขับเคลื่อนตามอยู่ และจะรับข้อมูลที่ส่งจาก Master นำไปประมวลผลต่อไป

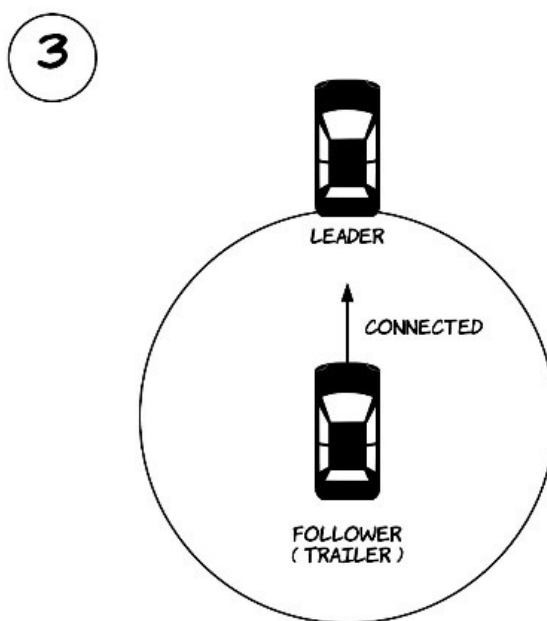
3.4.2 การสร้างขบวนรถ

ในการสร้างขบวนรถนั้น ได้มีการนำเทคโนโลยี Beacon มาประยุกต์ใช้ โดยขั้นตอนแรกเริ่มต้นจากการที่วิทยุสื่อสารที่ถูกกำหนดบทบาทให้เป็น Leader จะทำการกระจายสัญญาณ Beacon ออกมาตลอดเวลา เรียกวิทยุสื่อสารที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ Beacon นี้ว่า Trailer ซึ่งจะกระจายสัญญาณจนกว่าจะมีวิทยุสื่อสารเข้ามาในระยะสัญญาณ Beacon และทำการกำหนดบทบาทของตนเองเป็น Follower เปรียบเสมือนกับการแสดงความต้องการในการเข้าร่วมขบวน



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการสร้างขบวนรถ (1)

เมื่อโรบอทคาร์ที่เป็น Follower ค้นดังกล่าว ตรวจพบสัญญาณ Beacon ที่ Trailer กระจายออกมา จะทำให้ทราบถึง Topic ที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมต่อกับ Trailer เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน เพื่อทำการเชื่อมต่อกับ Topic ดังกล่าวแล้ว Trailer จะทำการยกเลิกการกระจายสัญญาณ Beacon เพื่อส่งต่อไปให้ Follower ที่เชื่อมต่อกับตนเองนั้นทำหน้าที่เป็น Trailer ต่อไป เพื่อรอให้โรบอทคาร์คันอื่น ๆ มาเข้าร่วมได้ต่อไป ซึ่งการทำงานจะวนลูปเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนเมื่อถึงเวลาหนึ่งที่ไม่มีโรบอทคาร์คันอื่นต้องการเข้าร่วมขบวน Trailer จะทำการยกเลิกการกระจายสัญญาณ จึงเป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการสร้างขบวนรถ



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการสร้างขบวนรถ (2)

3.4.3 การควบคุมเส้นทาง

โรบอทคาร์ทุกคันในขบวนจำเป็นต้องรับรู้เส้นทางที่ไปยังจุดหมายได้ตรงกัน จึงจะสามารถขับเคลื่อนไปยังจุดหมายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดเส้นทางให้กับโรบอทคาร์ซึ่งเรียกว่า Root Map เป็นเส้นทางที่โรบอทคาร์ทุกคันจะได้รับเพื่อไปให้ถึงจุดหมาย

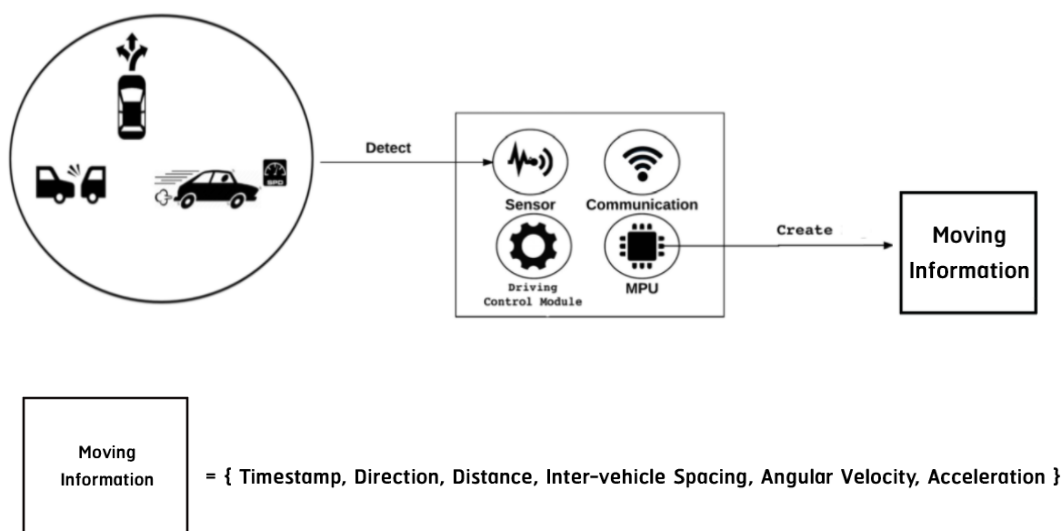
Root Map ถูกสร้างขึ้นจากการกำหนดเส้นทางโดยผู้ใช้ ซึ่งทำการกรอกข้อมูลผ่านทางหน้าเว็บที่เชื่อมต่อกับโรบอทคาร์ที่เป็น Leader จากนั้นเมื่อมีโรบอทคาร์ที่เป็น Follower มาเข้าร่วมขบวน Root Map จะถูกส่งต่อไปยัง Follower คันนั้น ๆ เพื่อให้รับรู้เส้นทางที่ต้องขับเคลื่อนไปเพื่อให้ถึงจุดหมาย เมื่อ Root Map ถูกส่งให้กับ Follower ทุกคันในขบวนแล้ว จะทำให้โรบอทคาร์ทุกคันรับรู้เส้นทางที่ตรงกันได้

3.4.4 การรักษารูปขบวน

ในขั้นตอนการรักษารูปขบวนนั้นกระทำขึ้นเพื่อให้รถภายในขบวนสามารถคงสถานะการขับเคลื่อนให้เป็นไปในลักษณะและทิศทางเดียวกันได้อย่างเหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยแนวคิด ดังนี้

3.4.4.1 การระบุตำแหน่ง

การรับรู้ตำแหน่งเป็นปัจจัยหลักสำหรับการสร้างการขับเคลื่อนให้มีลักษณะเดียวกัน โดยเกิดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรถอันประกอบไปด้วยข้อมูล ดังนี้



รูปที่ 3.16 ข้อมูลการขับเคลื่อนที่ถูกเก็บบันทึก

1. **Timestamp** คือ ช่วงเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลการขับเคลื่อนของรถคันหนึ่ง เพื่อใช้อ้างอิงรูปแบบการขับเคลื่อนในช่วงเวลานั้น ๆ
2. **Direction** คือ ลักษณะทิศทางการขับเคลื่อนของรถคันหนึ่ง โดยเก็บในรูปแบบเวกเตอร์ เช่น $(1,0)$ = เดินหน้า, $(-1,0)$ = ถอยหลัง, $(0,-1)$ = เลี้ยวซ้าย, $(0,1)$ = เลี้ยวขวา และ $(0,0)$ = หยุด
3. **Distance** คือ ระยะทางที่วิ่งได้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ช่วงเวลานั้น ๆ
4. **Inter-vehicle Spacing** คือ ระยะห่างที่เซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดได้ซึ่งบ่งบอกความห่างจากวัตถุข้างหน้า
5. **Angular Velocity** คือ ความเร็วเชิงมุมที่วัดได้จาก Gyroscope/Accelerometer Sensor จากทั้ง 3 แกน คือ X, Y และ Z
6. **Acceleration** คือ ความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z ซึ่งวัดได้จาก Gyroscope/Accelerometer Sensor เช่นกัน

เมื่อข้อมูลดังกล่าวถูกเก็บสะสมไว้เรื่อย ๆ จะสามารถนำมาสร้างเป็นแผนที่การเดินทางเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

Root Map

แผนที่การเดินทางของรถทั้งขบวน ซึ่งรถภายในขบวนจะใช้ Root Map ในการขับเคลื่อนไปยังจุดหมายด้วยเส้นทางเดียวกัน โดย Root Map จะเก็บข้อมูลเพียงแค่ Direction และ Distance

Actual Map

แผนที่การเดินทางของตัวรถซึ่งทำการบันทึกข้อมูลการขับเคลื่อนของตนเองเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับรถคันอื่นในขบวน

Plan Map

แผนที่การเดินทางของรถที่เป็น Master ซึ่งถูกใช้ในรถที่เป็น Follower โดยการนำ Actual Map ของ Master ที่ถูกส่งมาแปลงเป็น Plan Map ของตนเอง ใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบรูปแบบการขับเคลื่อนให้มีลักษณะและทิศทางเดียวกัน

ข้อมูลการขับเคลื่อนที่จำเป็นสำหรับการสร้างเป็นแผนการเดินทาง คือ Timestamp, Direction, Distance และ Inter-vehicle Spacing ส่วนข้อมูลที่เหลือ คือ Angular Velocity และ Acceleration มีการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการช่วยให้การควบคุมการขับเคลื่อนมีความแม่นยำมากขึ้น

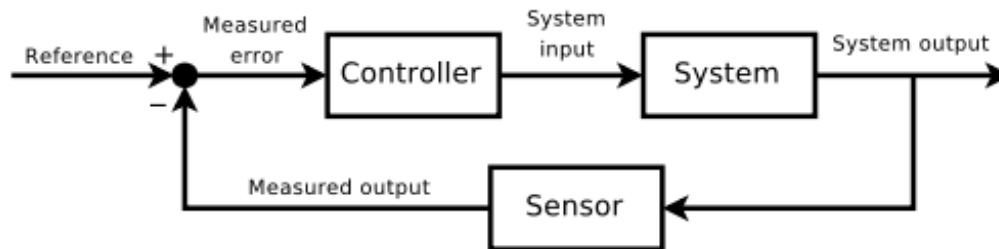
การระบุตำแหน่งโดยใช้ Map ทั้ง 3 ส่วน

Root Map จะเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการบ่งบอกเส้นทางและตำแหน่งที่เป็นจุดหมายของรถทั้งขบวน การนำ Root Map มาเปรียบเทียบกับ Actual Map ของตนเอง จะทำให้ทราบได้ว่าตนอยู่ตำแหน่งใดในเส้นทาง ส่วนการที่จะทราบตำแหน่งของรถคันที่เป็น Master จะทำได้โดยการนำ Root Map มาเปรียบเทียบกับ Plan Map ที่ตนสร้างขึ้นจาก Actual Map ที่ถูกส่งมาจากรถคันที่เป็น Master

3.4.4.2 การควบคุมการขับเคลื่อนให้อยู่ในรูปขบวน

อีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้สามารถรักษารูปขบวนได้ คือ การรักษาความเร็วของรถทุกคันในขบวนให้มีความเร็วใกล้เคียงกัน หรือการรักษาระยะห่างระหว่างรถแต่ละคันให้เท่า ๆ กัน ซึ่งการรักษาความเร็วหรือระยะห่างดังกล่าวจะต้องเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ผู้พัฒนาจึงพัฒนาระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของโรบอทคาร์ โดยใช้หลักการของเทคโนโลยีที่ทำการศึกษาในบทที่ 2 คือ ASCC (Advance Smart Cruise Control) และ AEB (Advance Emergency Braking) เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนความเร็ว และลักษณะการเคลื่อนที่ของ โรบอทคาร์ตามสถานการณ์ได้ จึงใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

มาพัฒนาโดยเริ่มจาก การทดสอบควบคุมความเร็วรอบการหมุนของล้อโรบอทคาร์ เพื่อทำให้สามารถปรับความเร็วในช่วงออกตัวหรือช่วงเบรกได้อย่างเหมาะสม วิธีการคือ จากแผนภาพระบบควบคุมป้อนกลับ



รูปที่ 3.17 แผนภาพระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

(https://en.wikipedia.org/wiki/Control_theory)

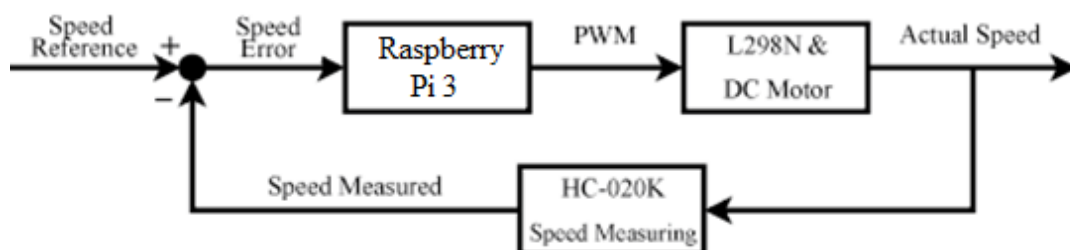
- Reference หรือค่าที่คาดหวัง ในที่นี้คือความเร็วรอบของล้อที่ตั้งเป้าไว้
- Controller คือส่วนที่คำนวณค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับค่าที่คาดหวังให้มีผลต่างน้อยที่สุด ในส่วนนี้เลือกใช้ Raspberry Pi มาเป็นหน่วยประมวลผล โดยสิ่งที่ต้องคำนวณออกมาคือค่าสัญญาณ PWM ที่ควรจ่ายออกไปว่าควรเป็นเท่าไรถึงจะได้ความเร็วที่ต้องการ จึงมีการคิดสมการอย่างง่ายเพื่อคำนวณค่า PWM คือ

$$PWM = PWM_{actual} + \left(\frac{Speed_{ref} - Speed_{actual}}{2} \right) * d \quad (3.1)$$

โดย ค่า d คือค่าคงที่ที่นำไปคูณเพื่อแปลงจากความเร็วให้เป็น PWM ซึ่งผ่านการทดสอบจนได้ค่าที่เหมาะสม ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 5

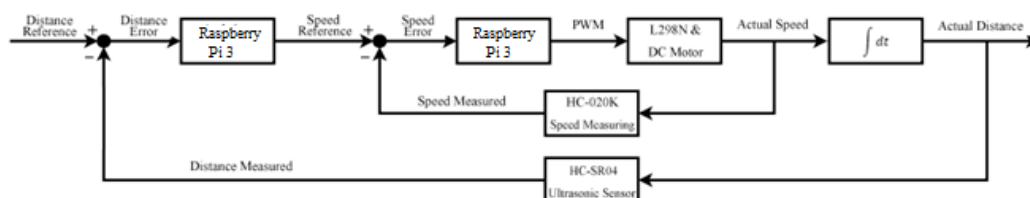
- System คือ ส่วนที่รับคำสั่งจาก Controller มาทำงานได้เป็นผลลัพธ์ หรือ ค่าเอาต์พุต ในที่นี้คือ L298N Motor Controller ที่ทำงานโดยรับสัญญาณ PWM ที่ผ่านการประมวลผลจาก Raspberry Pi แล้วจ่ายให้กับ DC motor เพื่อทำให้หมุนด้วยความเร็วตามสัญญาณ PWM นั้น
- Sensor คือ ส่วนที่ใช้ตรวจจับค่าเอาต์พุตแล้วนำกลับไปเปรียบเทียบกับค่า Reference เพื่อหาข้อผิดพลาด จากสมการด้านบนมีการใช้ความเร็วรอบปัจจุบันมาใช้ในการคำนวณด้วย จึงใช้โมดูล HC-020K Double Speed Measuring มาใช้เพื่อวัดความเร็วรอบของล้อ

โดยการทำงานจะเป็นแบบวนลูปไปเรื่อย ๆ ดังนั้น เมื่อลองแทนอุปกรณ์และค่าต่าง ๆ ลงในแผนภาพจะได้แผนภาพที่แสดงวิธีการที่ใช้พัฒนาดังนี้



รูปที่ 3.18 ระบบควบคุมป้อนกลับที่นำมาใช้กับอุปกรณ์ในระบบ

แต่เนื่องจากการตั้งความเร็วไว้ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ไม่สอดคล้องกับกรณีของการขับเคลื่อนของรถยนต์ที่เมื่อมีการเบรกหรือออกตัว ความเร็วที่ตั้งไว้จะต้องมีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าความเร็วที่ตั้งไว้ต้องสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาโดยขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงโดยเพิ่มในส่วนของเซนเซอร์วัดระยะทางวัตถุ เพื่อให้สามารถปรับความเร็วที่ตั้งไว้ได้ตามระยะห่างจากวัตถุ ซึ่งเปรียบเสมือนการจำลองระบบเร่งความเร็วหรือเบรกของรถยนต์ เช่น เมื่ออยู่ห่างจากวัตถุที่เป็นเป้าหมายมาก ก็จะทำกรเร่งความเร็วขึ้น แต่หากเข้าใกล้วัตถุก็จะทำการลดความเร็วลง อธิบายได้ดังแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.19 ระบบควบคุมป้อนกลับ 2 วงรอบที่นำมาใช้กับอุปกรณ์ในระบบ

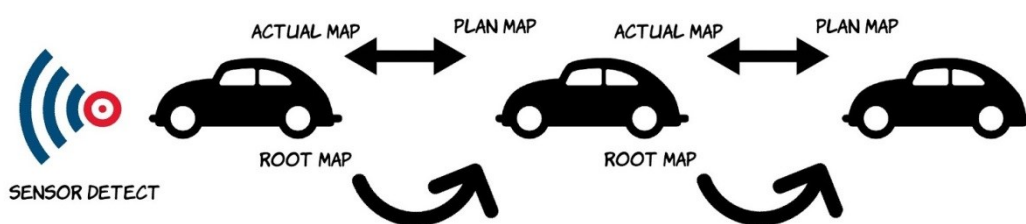
สิ่งที่เพิ่มเข้ามาคือการควบคุมแบบป้อนกลับอีกหนึ่งวงรอบ โดยทำการคำนวณจากระยะห่างวัตถุที่ตั้งเป้าไว้ หรือระยะทางเป้าหมาย (Distance Reference) จากนั้นทำการหาค่าความผิดพลาด (Distance Error) แล้วนำไปแก้สมการเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมกับระยะนั้น ๆ โดยสมการที่นำมาใช้ คือ

$$\text{Speed}_{\text{ref}} = \text{Speed}_{\text{ref}} + \left(\frac{\text{Distance}_{\text{ref}} - \text{Distance}_{\text{actual}}}{T} \right) \quad (3.2)$$

โดย ค่า T คือค่าคงที่ที่กำหนดแทนเวลามากที่สุดที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากระยะใกล้ที่สุดไปยังระยะเป้าหมาย มีหน่วยเป็นวินาที

จากการแทนค่าในสมการจะได้ความเร็วที่แปรผันตามระยะทาง ซึ่งนำไปคำนวณต่อตามแผนภาพก่อนหน้านี้ เมื่อได้ค่าความเร็ว ณ ขณะนั้น (Actual Speed) จึงนำไปอินทิเกรตเพื่อแปลงเป็นระยะทาง และมีการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดระยะห่าง เพื่อนำค่าเอาต์พุตกลับไปเปรียบเทียบหาค่าความผิดพลาด ซึ่งสามารถคำนวณได้ว่าจะต้องนำระยะทางเป้าหมาย หรือ ระยะห่างวัตถุมาเป็นค่าตั้งต้นในการคำนวณ จากนั้นจึงทำงานวนเป็นลูปเรื่อยไปตามหลักการของการควบคุมแบบป้อนกลับ จากเทคนิคการควบคุมดังกล่าว จะทำให้สามารถควบคุมได้ทั้งความเร็วและระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างรถแต่ละคันได้แบบอัตโนมัติ

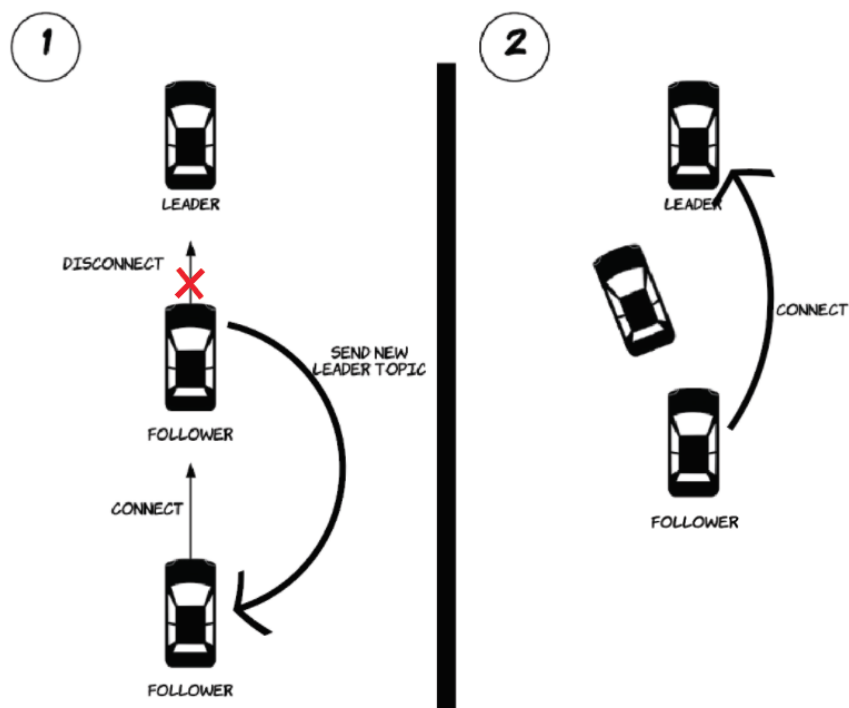
จากหลักการการรักษารูปขบวนข้างต้น เมื่อนำหลักการการระบุตำแหน่งและการควบคุมการขับเคลื่อนให้อยู่ในรูปขบวนมาประกอบกันแล้ว ทำให้สามารถควบคุมรถให้วิ่งตามกันในรูปแบบขบวนรถจนไปถึงจุดหมายได้ โดยการขับเคลื่อนไปให้ถึงจุดหมายจะเป็นหน้าที่ของการใช้ Map ทั้ง 3 ส่วนมาประกอบกัน ส่วนการรักษาระยะห่างระหว่างรถจะใช้เซนเซอร์เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วและระยะห่างให้เหมาะสม



รูปที่ 3.20 การทำงานร่วมกันของการระบุตำแหน่งและการควบคุมการขับเคลื่อนในรูปขบวน

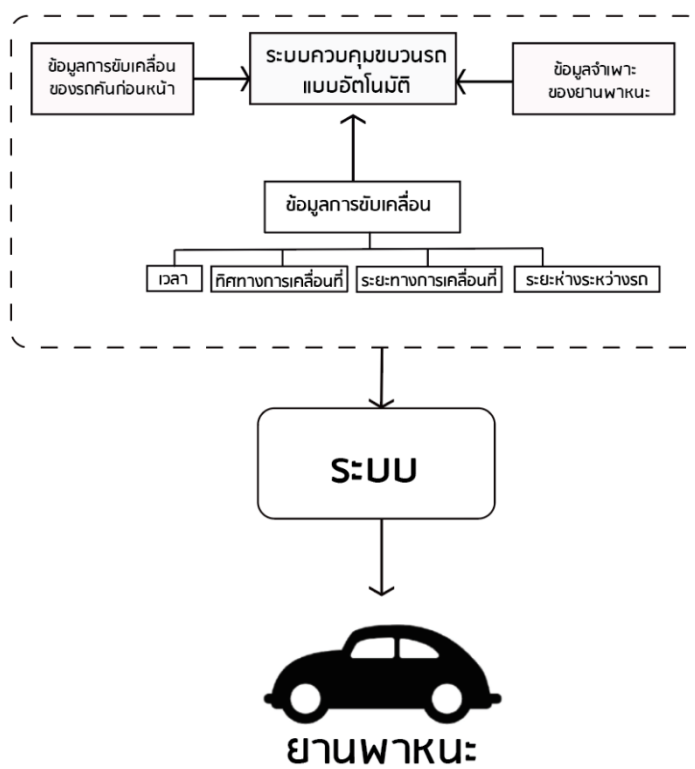
3.4.5 การออกจากขบวน

ในกรณีที่ภายในขบวนรถ มีรถที่ต้องการออกจากขบวนก่อนที่จะถึงจุดหมาย จึงต้องมีการพัฒนาเทคนิคที่รองรับการออกจากขบวน โดยที่ยังทำให้ขบวนรถสามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ หลักการของผู้พัฒนาคือ เมื่อมีรถที่ต้องการออกจากขบวน รถคันดังกล่าวจะต้องส่งข้อมูลของรถที่เป็น Master ของตนเอง ณ ขณะนั้น บอกไปยังรถที่เป็น Slave ของ ตนเอง เพื่อได้รับข้อมูลจาก Master แทนที่ตำแหน่งของตนเอง เมื่อ Master และ Slave ของตนเอง ทำการเชื่อมต่อกันเสร็จสิ้นแล้ว จึงทำการขับเคลื่อนตนเองออกจากขบวน ส่วนของขบวนรถก็ยังขับเคลื่อนจนถึงจุดหมายต่อไป



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการออกจากขบวน

3.5 การนำระบบไปใช้งาน



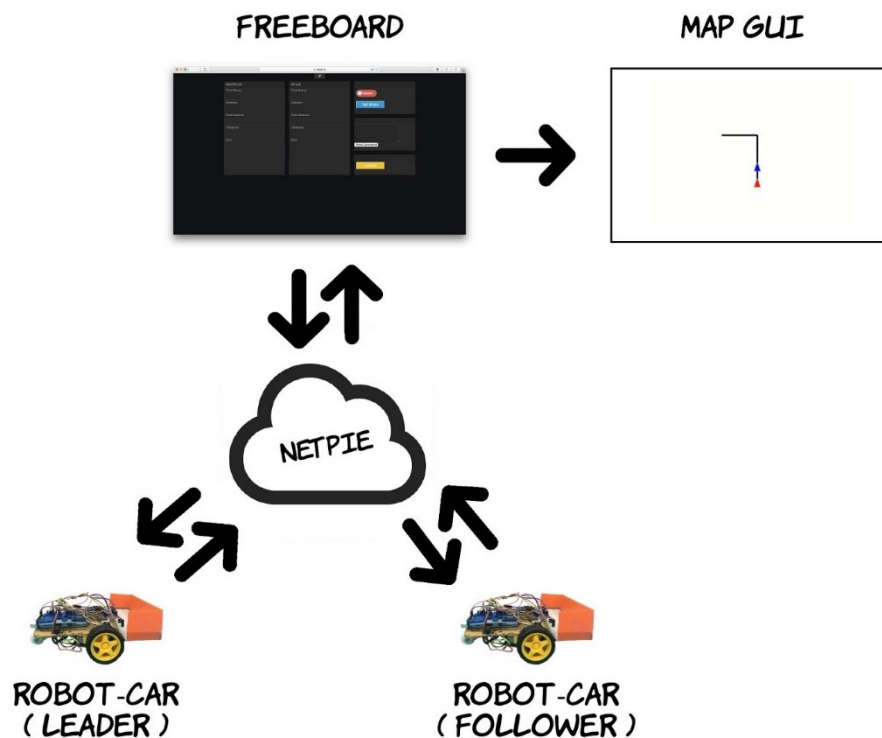
รูปที่ 3.22 ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ

ระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นมีเป้าหมายคือ เป็นระบบที่สามารถควบคุมยานพาหนะให้สามารถขับเคลื่อนตามกันในรูปแบบขบวนได้แบบอัตโนมัติ โดยไม่ได้ระบุว่าต้องเป็นยานพาหนะประเภทใด เพียงแต่ระบบจะสามารถทำงานได้กับยานพาหนะที่มีข้อมูลตามที่ระบบต้องการ คือ ยานพาหนะต้องมีข้อมูลการขับเคลื่อน เช่น ทิศทาง ระยะที่วิ่งได้ ระยะห่างวัตถุด้านหน้า และช่วงเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูลเหล่านั้น แล้วนำไปป้อนเข้าสู่ระบบ และยังสามารถติดต่อสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลการขับเคลื่อนนี้ระหว่างกันได้ ในส่วนของข้อมูลจำเพาะของยานพาหนะอาจมีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของยานพาหนะ เช่น ขนาดตัวรถ หรือ ขนาดล้อ ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จำเป็นต้องบอกให้ระบบทราบเพื่อปรับเปลี่ยนการทำงานให้เข้ากับแต่ละยานพาหนะนั้น ทั้งนี้การเลือกใช้โรบอทคาร์มาเป็นต้นแบบของยานพาหนะ เพราะสามารถปรับแต่งให้มีความสามารถตามที่ระบบต้องการได้และใช้งบประมาณในการพัฒนาไม่สูง จึงเหมาะสมสำหรับการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อพิสูจน์แนวคิดของระบบว่าสามารถนำไปพัฒนาต่อออกได้จริง

บทที่ 4

การทดสอบการพัฒนาระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติแบบทำงานอิสระด้วยวิธีการใช้ IoT

4.1 การทำงานของระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติแบบทำงานอิสระด้วยวิธีการใช้ IoT

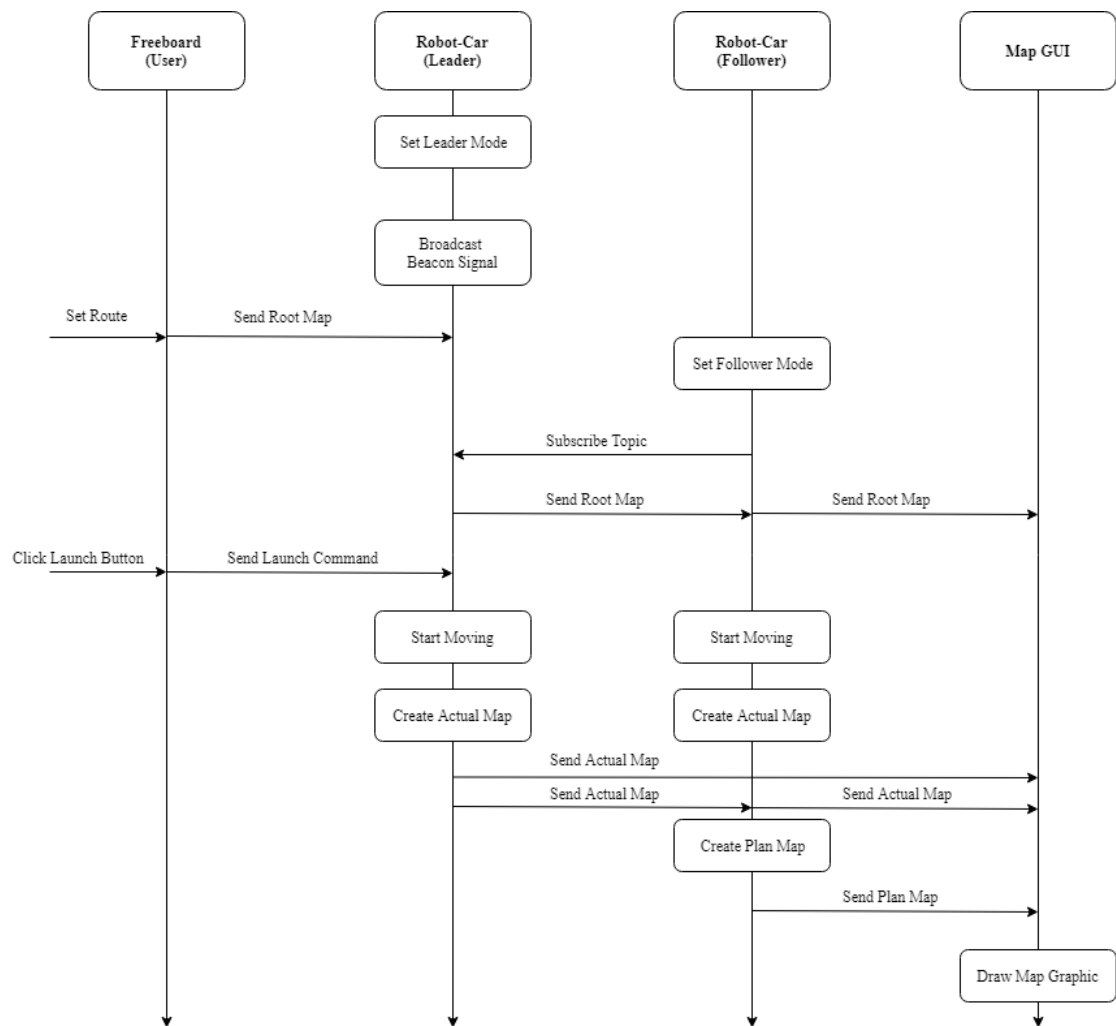


รูปที่ 4.1 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมขบวนรถอัตโนมัติแบบทำงานอิสระด้วยวิธีการใช้ IoT

ภาพรวมระบบที่ใช้ในการทดลองนั้นจะประกอบไปด้วย

1. **Freeboard** ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของรถอัตโนมัติและแสดงผลข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. **Map GUI** ทำหน้าที่แสดงผลเส้นทางและการเคลื่อนที่ของรถอัตโนมัติ
3. **Robot-Car (Leader)** ทำหน้าที่รับเส้นทางจากผู้ใช้และขับนำขบวน
4. **Robot-Car (Follower)** ทำหน้าที่เข้าร่วมขบวนและขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติ

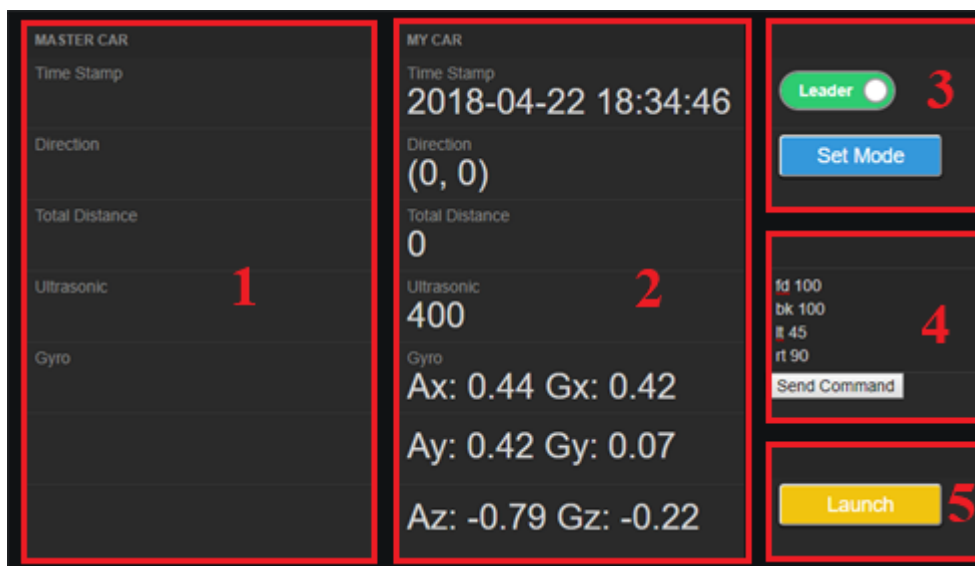
4.1.1 ภาพลำดับการทำงานของระบบ



รูปที่ 4.2 แผนภาพลำดับการทำงานของระบบควบคุมขบวนรถยนต์แบบทำงานอิสระด้วย
วิธีการใช้ IoT

4.2 การทดสอบระบบควบคุมขบวนโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ

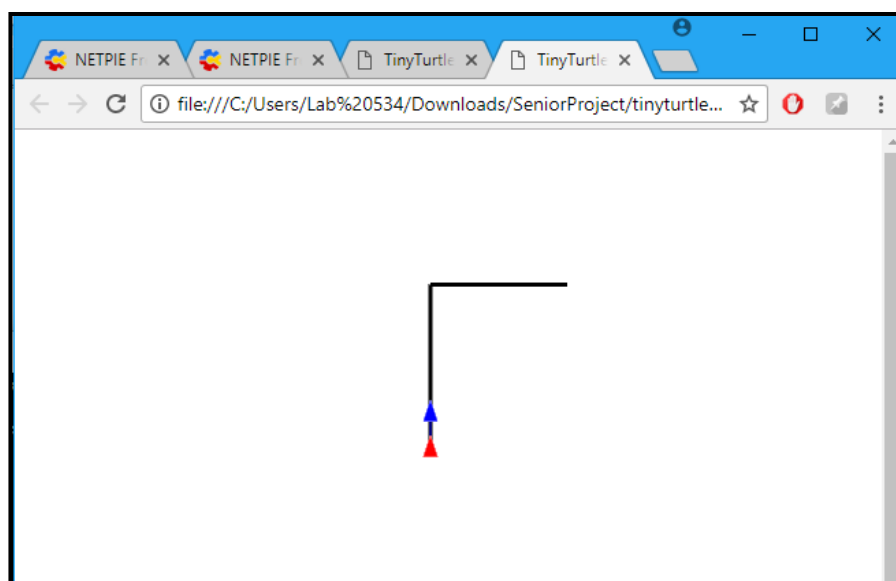
โรบอทคาร์แต่ละคันจะเชื่อมต่อกับหน้าเว็บ Freeboard เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน โดยรายละเอียดของหน้าเว็บมีดังนี้



รูปที่ 4.3 หน้าเว็บ Freeboard

1. กรอบแสดงข้อมูล Plan Map หรือ Actual Map ของโรบอทคาร์คันที่เป็น Master ในกรอบนี้จะแสดงข้อมูลต่อเมื่อตนเองมีบทบาทเป็น Slave
2. กรอบแสดงข้อมูล Actual Map ของตนเอง
3. กรอบสำหรับกำหนดบทบาทของโรบอทคาร์ ระหว่าง Leader และ Follower เมื่อกำหนดบทบาทแล้วจึงกดปุ่ม Set Mode เพื่อเป็นการยืนยัน
4. กล่องข้อความสำหรับผู้กรอกทิศทางและระยะที่จะกำหนดให้โรบอทคาร์เคลื่อนที่ไป โดยรูปแบบคำสั่งมีดังนี้ fd, bk, rt, lt คือ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาตามลำดับ ส่วนตัวเลขด้านหลัง คือ ระยะในหน่วยเซนติเมตร หรือองศาในการเลี้ยว เมื่อกำหนดแล้วจึงกดปุ่ม Send Command เพื่อส่งคำสั่งให้โรบอทคาร์
5. ปุ่มสำหรับการให้ขบวนโรบอทคาร์เริ่มการขับเคลื่อน โดยสั่งการผ่านโรบอทคาร์คันที่เป็น Leader ของขบวน

ส่วนหน้าเว็บ Map GUI มีไว้สำหรับแสดงผลเส้นทางและการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ในรูปแบบกราฟิกเพื่อให้ผู้ใช้เห็นภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยหน้าเว็บมีรายละเอียดดังนี้



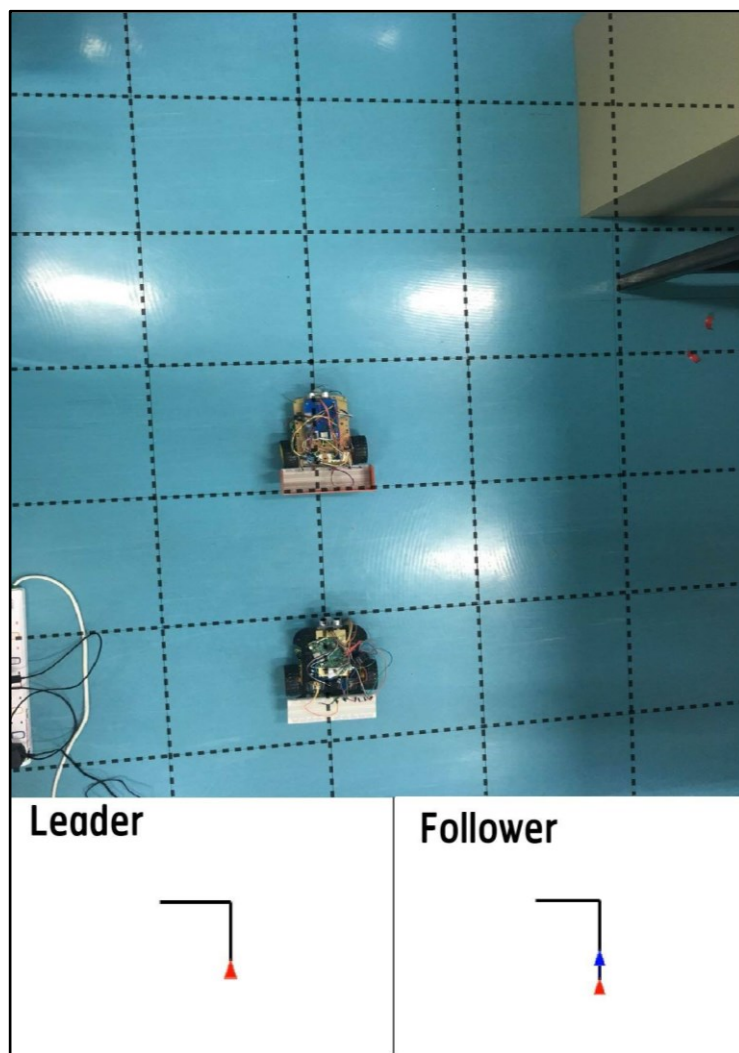
รูปที่ 4.4 หน้าเว็บ Map GUI

- เส้นตรง คือ Root Map ที่ถูกกำหนดทั้งจากผู้ใช้และที่ถูกส่งต่อกันมาจากหุ่นยนต์ที่เป็น Leader จะถูกวาดทุกครั้งที่มีการกำหนดเส้นทาง
- ลูกศรและเส้นสีน้ำเงิน คือ Plan Map หรือ Actual Map ของหุ่นยนต์ที่เป็น Master ของตนเอง โดยลูกศรและเส้นจะถูกวาดตามข้อมูล Plan Map ณ เวลานั้น ๆ
- ลูกศรและเส้นสีแดง คือ Actual Map ของตนเอง โดยลูกศรและเส้นจะถูกวาดตามข้อมูล Actual Map ณ เวลานั้น ๆ

ทำการทดสอบโดยกำหนดบทบาทให้มีหุ่นยนต์หนึ่งคัน มีบทบาทเป็น Leader และ หุ่นยนต์อีกหนึ่งคันมีบทบาทเป็น Follower จากนั้นทำการกำหนดเส้นทางให้กับขบวนรถผ่านทางหุ่นยนต์คัน Leader แล้วจึงสั่งให้เริ่มการขับเคลื่อน ทำการตรวจสอบผลจากผลลัพธ์ในการขับเคลื่อนจริง และข้อมูลที่ถูกนำไปวาดบน Map GUI

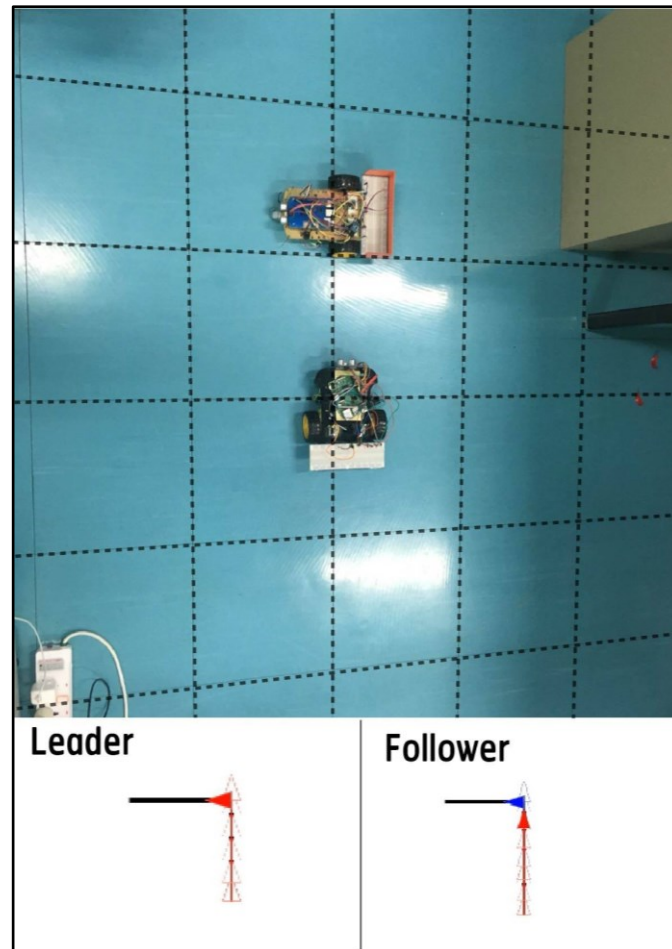
ผลการทดสอบ

กำหนดบทบาทให้โรบอทคาร์คันข้างหน้าเป็น Leader แล้วกำหนดเส้นทาง (Root Map) ดังนี้ fd 60, lt 90, fd 60 ส่วนโรบอทคาร์อีกหนึ่งคันกำหนดบทบาทเป็น Follower เมื่อ Follower เข้าร่วมขบวนแล้ว จะได้รับ Root Map จาก Leader ด้วย แสดงได้ดังภาพ



รูปที่ 4.5 การขับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (1)

เมื่อทำการกดปุ่ม Launch เพื่อเริ่มทำการขับเคลื่อน ขบวนโรบอทคาร์จึงเริ่มขับเคลื่อนไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ในลักษณะเป็นขบวน



รูปที่ 4.6 การจับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (2)

จากภาพ หนึ่งช่องตารางมีขนาดเท่ากับ 30 x 30 ซม. จะเห็นว่าโรบอทคาร์คัน Leader เคลื่อนที่ไปเป็นระยะ 2 ช่องพอดี เท่ากับ 60 ซม. ตรงกับ Root Map ที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงเลี้ยวซ้าย 90 องศา ในส่วนของ Map จะเห็นว่าแสดงผลแบบกราฟิกได้ถูกต้องตรงกับการเคลื่อนที่จริงของโรบอทคาร์



รูปที่ 4.7 การขับเคลื่อนของโรบอทคาร์และหน้าเว็บ Map GUI (3)

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่าโรบอทคาร์ทั้งสองคันสามารถเคลื่อนที่ตามกันในรูปแบบขบวนได้ตามเส้นทางที่กำหนดและสามารถไปถึงจุดหมายได้ แต่ปัญหาที่พบคือ ระยะที่วิ่งตามเส้นทางหรือองศาการเลี้ยวยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่พอสมควร อาจเกิดจากการที่ยังไม่สามารถควบคุมการขับเคลื่อนของล้อโรบอทคาร์ได้อย่างละเอียด และปัญหาความล่าช้าในการรับส่งข้อมูลระหว่างกันผ่านทางเครือข่าย IoT ซึ่งทำให้ข้อมูลที่มีการแลกเปลี่ยนไม่เป็นปัจจุบัน ณ ช่วงเวลานั้นๆ

บทที่ 5

สรุปผลการพัฒนา

จากการศึกษาและหาแนวทางการพัฒนาระบบขับเคลื่อนขบวนรถแบบอัตโนมัติ พบว่า ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในพัฒนาระบบได้แก่ การสร้างการสื่อสารแบบกลุ่ม, การควบคุมเส้นทาง และการรักษารูปขบวน เมื่อนำปัจจัยสำคัญเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันจะสามารถสร้างระบบควบคุมขบวนรถแบบอัตโนมัติได้ โดยใช้ข้อมูลสำคัญที่ระบบต้องการจากรถได้แก่ ทิศทางการเคลื่อนที่ ระยะทางการเคลื่อนที่ ระยะห่างระหว่างรถ และเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเหล่านี้ และต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันระหว่างรถได้ เมื่อนำแนวคิดดังกล่าวมาทดสอบโดยใช้โรบอทคาร์เป็นต้นแบบของยานพาหนะ ทำให้ได้มาซึ่งระบบควบคุมโรบอทคาร์แบบทำงานอิสระ อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาที่พบในการทดสอบระบบ อาจทำได้โดยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือเทคโนโลยีการสื่อสารที่รองรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรถ เช่น IEEE 802.11p เป็นต้น

ระบบที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบันนั้นเป็นการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ การนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคตนั้นสามารถนำไปใช้ในระบบขนส่งแบบรางโดยไม่ใช้ราง ที่ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยการนำแนวคิดของระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้ แต่อาจต้องมีการปรับแต่งหรือเลือกใช้ยานพาหนะให้เหมาะสมกับประเภทของงาน เช่น การลำเลียงและขนส่งสินค้าในโรงงาน อาจต้องทำให้ยานพาหนะสามารถรองรับปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่งเป็นจำนวนมากได้ หรือ การนำไปใช้ในด้านเกษตรกรรม อาจต้องเพิ่มกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] “ประเภทของการขนส่ง (Transportation) แบ่งออกกี่ประเภท?” [ออนไลน์]. Available: <http://www.logisticafe.com/2009/11/ประเภทของการขนส่ง-transportation-1/>. 2561.
- [2] “การขนส่งทางรถไฟและแผนพัฒนาของไทยในอนาคต” [ออนไลน์]. Available: <https://www.scglogistics.co.th/blog/detail/87>. 2561.
- [3] ผ. ศ. นฤปิติ. “ความรู้เรื่องระบบขนส่งอัจฉริยะ” [ออนไลน์]. Available: <http://pioneer.chula.ac.th/~kong/its.pdf>. 2543.
- [4] “Project SARTRE (Safe Road Trains for the Environment)” [ออนไลน์]. Available: <http://www.roadtraffic-technology.com/projects/the-sartre-project/>. 2016
- [5] “The Empty Car Convoy” [ออนไลน์]. Available: <http://brand.hyundai.com/en/brand/technology/convoy-film.do>. 2017.
- [6] “Single-board computer” [ออนไลน์]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Single-board_computer. 2561
- [7] “ระบบควบคุม Control Systems” [ออนไลน์]. Available: <http://suchart.rmutl.ac.th/04-220-308/Control.pdf>. 2555.
- [8] S. Saenkhom. “ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์” [ออนไลน์]. Available: <https://sites.google.com/site/sirasaritsaenkhom/rabb-kherux-khay-khxmphiwtext>. 2561
- [9] “มาตรฐาน wifi มีอะไรบ้าง มีประวัติความเป็นมาอย่างไร” [ออนไลน์]. Available: <https://www.modify.in.th/11671>. 2558.
- [10] “what is Bluetooth?” [ออนไลน์]. Available: <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/how-it-works>. 2018.
- [11] “สัญญาณ Bluetooth มีผลกับอุปกรณ์อย่างไร?” [ออนไลน์]. Available: <https://www.mercular.com/review-article/bluetooth-version-class/>. 2560.
- [12] “WiFi Direct” [ออนไลน์]. Available: <https://zone-network.blogspot.com/2011/10/wifi-direct.html>. 2554.
- [13] k. arjchariyaphat. “IoT Protocol ปัจจุบันมันช่างเยอะจริงๆ มารู้จักกันดีกว่า” [ออนไลน์]. Available: <https://medium.com/deaware/iot-protocol-%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B8%88%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%9A%E>

บรรณานุกรม(ต่อ)

- 0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99 %E0%B8%8A%E
0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%A2%E0%B8%AD%E
0%B8%B0%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B9%8. 2561.
- [14] “ทำความรู้จักกับ MQTT และ COAP โพรโทคอลสำหรับรับส่งข้อมูลบนเครือข่าย IoT.”
[ออนไลน์]. Available: <http://www.adslthailand.com/post/mqtt-coap-comparison-iot-protocol>. 2561.
- [15] “Ad Hoc NetWork : โครงข่ายไร้สายเฉพาะกิจ” [ออนไลน์]. Available:
<https://suntos.wordpress.com/2009/12/27/ad-hoc-network-%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B8%89%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%81/>. 2009.
- [16] “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS” [ออนไลน์]. Available:
<http://www.global5thailand.com/thai/gps.htm>. 2561.
- [17] “รู้จักกับ iBeacon เทคโนโลยีบอกพิกัดแห่งอนาคตที่กำลังมาถึง” [ออนไลน์]. Available:
<https://www.blognone.com/node/57349>. 2561.
- [18] P. Fernandes. “**Platooning of IVC-enabled autonomous vehicles: Information and positioning management algorithms, for high traffic capacity and urban mobility improvement.**” Portugal, 2013.
- [19] “ความแตกต่างของ RISC กับ CISC” [ออนไลน์]. Available: <http://don-jai.com/architecture-different-of-risc-vs-cisc/>. 2561.
- [20] ท. ภูริรักษ์. “ความรู้เกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น” [ออนไลน์]. Available:
http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf. 2561.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล ชนกฤต ปิ่นทะนา

รหัสนักศึกษา 57070045

วัน เดือน ปีเกิด 31 มกราคม 2539

ประวัติการศึกษา

วุฒิม.6 ชื่อที่อยู่สถาบัน โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย นครปฐม

(พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม)

ภูมิลำเนา 11/73 แขวง ทวีวัฒนา เขต ทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170

เบอร์โทร 0894583085 E-Mail thanakrit.p39@gmail.com

สาขาที่จบ เทคโนโลยีสารสนเทศ รุ่นที่ 12 ปีการศึกษาที่จบ 2560



ชื่อ – นามสกุล อธิพัทธ์ จิมหิรัญ

รหัสนักศึกษา 57070148

วัน เดือน ปีเกิด 6 เมษายน 2539

ประวัติการศึกษา

วุฒิม.6 ชื่อที่อยู่สถาบัน โรงเรียนนวมินทราชินูทิศเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า กรุงเทพฯ

ภูมิลำเนา 69/6 ม.2 ซอยสามวา19 ถนนสามวา แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510

เบอร์โทร 0902501367 E-Mail ittipat.chimhirun@gmail.com

สาขาที่จบ เทคโนโลยีสารสนเทศ รุ่นที่ 12 ปีการศึกษาที่จบ 2560

