

แบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในภารกิจสำรวจดาวอังคาร
MARS ROVER ENGINEERING MODEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในการภารกิจสำรวจดาวอังคาร
MARS ROVER ENGINEERING MODEL

โดย

นายพีรณัฐ	ชูผล	60010730
นายภูมिरพี	ตันตินันท์วัฒน์	60010804
นายมณต์วิวัฒน์	อัศฮาด	60010822

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พีรเมศร์ โชติกวีกิจญาตา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

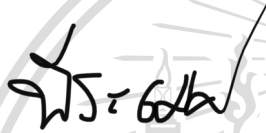
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในการกิจสำรวจดาวอังคาร

MARS ROVER ENGINEERING MODEL

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------------------|----------|
| 1. นาย พีรณัฐ ชูผล | 60010730 |
| 2. นาย ภูมिरพี ตันตินันท์วัฒน์ | 60010804 |
| 3. นาย มณฒวิวัฒน์ อัครฮาด | 60010822 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.พีระเมศร์ โชติกวีกิจญาดา)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง “แบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในการภารกิจสำรวจดาวอังคาร” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ และคำปรึกษา จากบุคคลเหล่านี้ผู้ซึ่งเป็นบุคคลที่สมควรได้รับการยกย่อง ดร.พีระเมศร์ โชติกวีกิจญาดา ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์นี้ ที่ชี้แนะแนวทางการวางแผน การแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าวิจัย และให้ความช่วยเหลือทางด้านทุนทรัพย์เพื่อค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบคุณพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใยเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมา และที่สำคัญคือสนับสนุนให้โอกาสทางการศึกษาอันมีค่าอย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำ

นายพีรณัฐ ชูผล
นายภูมिरพี ตันตินันท์วัฒน์
นายมณเฑียรวัฒน์ อัครชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในการฝึกสำรวจดาวอังคาร
MAR ROVER ENGINEERING MODEL

โดย	นายพีรณัฐ ชูผล	60010730
	นายภูมिरพี ตันตินันท์วัฒน์	60010804
	นายมณณวัฒน์ อัครชาติ	60010822

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พีระเมศร์ โชติทวีกิจญาตา

บทคัดย่อ

ปฏิญานี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแบบจำลองการสื่อสารของโรเวอร์ที่ใช้ในการสำรวจอวกาศ ซึ่งแบบจำลองนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกคือ สถานีภาคพื้นดินมีหน้าที่ออกคำสั่งเพื่อควบคุมโรเวอร์ไปทำภารกิจสำรวจต่าง ๆ เช่น เก็บข้อมูลภาพ ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น โดยสถานีภาคพื้นดินจะถูกควบคุมสั่งการผ่านหน้าจอที่ถูกออกแบบไว้ ส่วนที่สองคือ โรเวอร์จะปฏิบัติตามชุดคำสั่งที่ได้รับ โดยตัวโรเวอร์จะถูกออกแบบให้เหมาะกับการใช้งาน และจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำภารกิจ เช่น กล้อง เซนเซอร์เก็บค่าอุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้นจะทำการส่งค่าพารามิเตอร์กลับมาที่สถานีภาคพื้นดิน มีการใช้ชุดคำสั่งให้โรเวอร์หลบหลีกสิ่งกีดขวาง และสามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

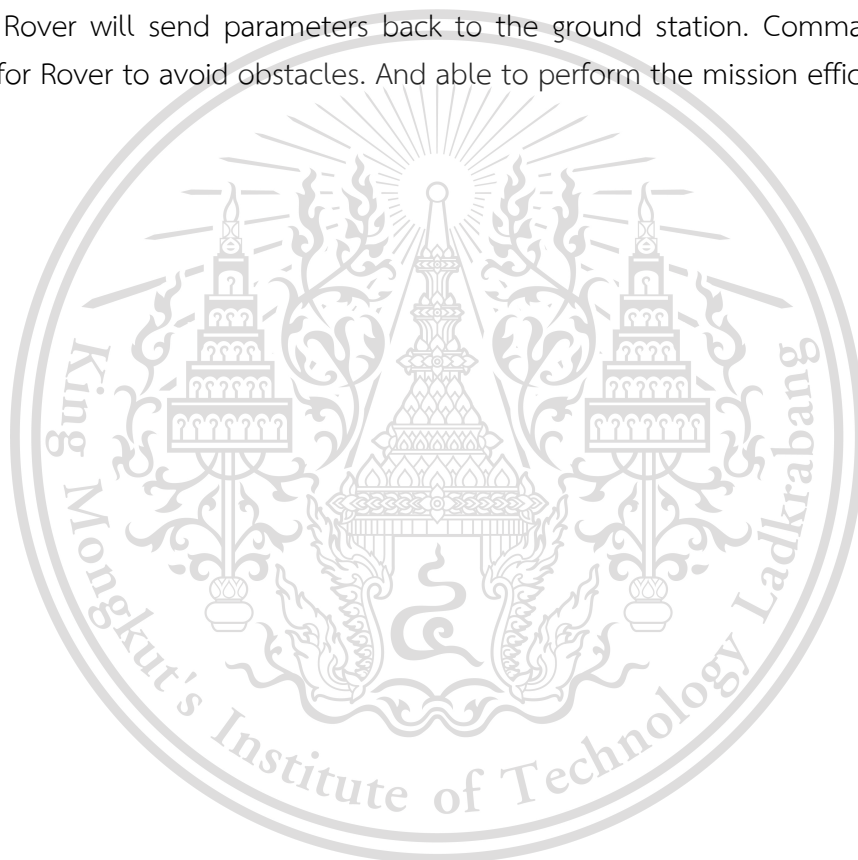
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ABSTRACT

This project was designed to be a communication model of Rover for space exploration. This model consists of 2 parts: the first part is the ground station which is responsible for commanding the Rovers to carry out various survey tasks such as data collection of images, humidity, temperature, etc. The ground stations are controlled via a designed screen. The second part is Rover will follow the instruction set received. The Rover is designed to be suitable for use and consists of various devices used for performing tasks such as cameras, temperature sensors. Then Rover will send parameters back to the ground station. Command sets are used for Rover to avoid obstacles. And able to perform the mission efficiently.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1	บทนำ
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
1.2	วัตถุประสงค์
1.3	ขอบเขตของโครงการ
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
2.1	ภารกิจสำรวจดาวอังคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน
2.2	ระบบย่อยของอุปกรณ์บนโรเวอร์
2.2.1	โครงสร้างของโรเวอร์
2.2.2	ระบบการถ่ายภาพ
2.2.3	ระบบวัดและทดสอบสภาพแวดล้อม
2.2.4	ระบบสำรวจ
2.3	แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.3.1	การประมวลผลภาพดิจิทัล
2.3.2	วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (DEEP LEARNING)
2.3.3	TENSORFLOW
2.3.4	โมเดล MOBILENET
2.3.5	ระบบเซนเซอร์
2.4	ระบบการสื่อสาร
2.4.1	เครือข่ายอวกาศห้วงลึก (DEEP SPACE NETWORK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ระบบสื่อสารของโรเวอร์	26
2.4.3 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	27
2.4.4 แพคเกจที่ใช้ในการสื่อสารในอวกาศ	31
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	35
3.1 การออกแบบ	35
3.1.1 การออกแบบการทำงานของระบบ	35
3.1.2 การออกแบบการทำงานของโรเวอร์	36
3.1.3 การออกแบบสถานีภาคพื้นดิน	47
3.1.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมและแสดงผล	50
3.1.5 การออกแบบระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางให้กับโรเวอร์	53
3.1.6 การออกแบบระบบป้องกันการลื่นของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัว	56
3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการสื่อสาร	60
3.2.1 การออกแบบการแบ่งข้อมูลรูปภาพเป็นแพคเกจย่อย	60
3.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ส่วนเข้ารหัสข้อมูล CONVOLUTION CODE	63
3.2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ส่วนถอดรหัสข้อมูลด้วย VITERBI ALGORITHM	64
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	66
3.3.1 ARDUINO MEGA 2560 BOARD	66
3.3.2 ARDUINO UNO R3 BOARD	66
3.3.3 RASPBERRY PI 3 MODEL B	67
3.3.4 SX1276 LORA MODULE 2 ชุด	67
3.3.5 HC-12 MODULE 2 ชุด	68
3.3.6 NEWGEN.RTL2832SDR	68
3.3.7 สาย USB-A TO USB-B	68
3.3.8 L298N MOTOR DRIVE SHIELD 3 ชุด	69
3.3.9 กล้อง RASPBERRY PI CAMERA V2(8MP)	70
3.3.10 MICRO SD CARD 2 GB	70
3.3.11 DHT22 / AM2302 MODULE	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.12 GY-87 10DOF MODULE	71
3.3.13 VOLTAGE SENSOR MODULE	71
3.3.14 HC-SR04 MODULE	71
3.3.15 แบตเตอรี่รีแท้ง 12 V	72
3.3.16 SERVO MOTOR 2 ตัว	72
3.3.17 PAN-TILT BRACKET FOR MG90S	73
3.3.18 DC MOTOR 12 V 6ตัว	73
3.3.19 โปรแกรม ARDUINO IDE	73
3.3.20 โปรแกรม SDRSHARP	74
3.2.21 ดิจิตอลออสซิลอสโคป	75
3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง	76
บทที่ 4 ผลการทดลอง	77
4.1 การทดสอบอุปกรณ์ทางการสื่อสาร	77
4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานในโรเวอร์	79
4.2.1 ทดสอบการใช้งานของกล้องถ่ายภาพด้วย RASPBERRY PI CAMERA V2	79
4.2.2 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 MODULE	79
4.2.3 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ DHT22 / AM2302 MODULE	85
4.2.4 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ HC-SR04 (ULTRASONIC SENSOR)	89
4.2.5 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ VOLTAGE MODULE	92
4.2.6 การทดสอบการทำงานของ SERVO MOTOR MG90S	93
4.3 การทดสอบระยะวัตถุจากกล้อง	95
4.3.1 การทดสอบระยะวัตถุที่ระยะน้อยกว่า 1 M	95
4.3.2 การทดสอบระยะวัตถุที่มากกว่า 1 M แต่ไม่เกิน 2 M	96
4.3.3 การทดสอบระยะวัตถุที่มากกว่า 2 M แต่ไม่เกิน 3 M	97
4.3.4 การทดสอบระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 3 M	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ทดสอบการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคอนโวลูชัน	99
4.5 ทดสอบการถอดรหัสข้อมูลด้วย VITERBI ALGORITHM	101
4.6 ทดสอบอัตราความผิดพลาดระหว่างข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสคอนโวลูชัน และ ข้อมูลที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	103
4.7 ผลการทดสอบระบบโดยรวมของโรเวอร์	105
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	108
5.1 สรุปผล	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	109
บรรณานุกรม	110
ภาคผนวก ก โปรแกรมชุดคำสั่งที่โรเวอร์	113
ภาคผนวก ข โปรแกรมชุดคำสั่งที่สถานีภาคพื้นดิน	124
ภาคผนวก ค โปรแกรมการเข้ารหัสด้วยคอนโวลูชัน	129
ภาคผนวก ง โปรแกรมการถอดรหัสวิเทอร์บี	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพจำลองยานสำรวจเพอร์เซเวียแรนซ์	3
2.2 แบบจำลองยานโรซาลินด์ แฟรงคลิน	4
2.3 โครงสร้างของโรเวอร์	4
2.4 กล้อง MASTCAM-Z	6
2.5 กล้อง SUPERCAM	6
2.6 เครื่องทดสอบสภาพแวดล้อม MEDA	7
2.7 อุปกรณ์ MOXIE	8
2.8 ยูวีสเปกโทรสโกปี	8
2.9 เลเซอร์เอกซเรย์สเปกโตรมิเตอร์	9
2.10 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัล	10
2.11 ภาพแบบ BINARY	10
2.12 ภาพแบบ GRAYSCALE	11
2.13 ภาพแบบ RGB	11
2.14 การกำหนด REGION OF INTEREST แบบกรอบสี่เหลี่ยม	12
2.15 วิธีการเรียนรู้เชิงลึก	13
2.16 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน	13
2.17 ผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง KERNEL กับ INPUT IMAGE	14
2.18 การทำ PADDING	15
2.19 การทำ MAX POOLING	15
2.20 การทำ FULLY CONNECTED	16
2.21 รูปแบบการ CONVOLUTION โมเดล MOBILENET	18
2.22 สถาปัตยกรรมของโมเดล MOBILENET	18
2.23 เซนเซอร์ GY-87 MPU6050	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 มุม PITCH และมุม ROLL	20
2.25 หลักการตรวจจับและวัดระยะห่างระหว่างวัตถุด้วยคลื่นเสียง	21
2.26 การต่อใช้งานโมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04	21
2.27 สัญญาณที่ขา TRIG และขา ECHO ของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04	22
2.28 เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (VOLTAGE SENSOR)	23
2.29 วงจรแบ่งแรงดัน	23
2.30 ความสัมพันธ์ของพลังงานแบตเตอรี่กับช่วงขนาดแรงดันไฟฟ้า	24
2.31 LNB	25
2.32 BEAM WAVEGUIDE ANTENNA DESIGN	25
2.33 STATE DIAGRAM	28
2.34 TRELLIS DIAGRAM	28
2.35 วงจรการเข้ารหัสคอนโวลูชัน	29
2.36 SPACE PACKET STRUCTURAL COMPONENTS	32
2.37 PACKET PRIMARY HEADER	32
2.38 PACKET SECONDARY HEADER	34
3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบแบบจำลองการสื่อสารของโรเวอร์	33
3.2 แผนผังการทำงานของโรเวอร์	37
3.3 ออกแบบส่วนฐานของโรเวอร์	38
3.4 การเคลื่อนที่บนพื้นที่ผิวต่างระดับของโรเวอร์	38
3.5 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 1	39
3.6 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 2	39
3.7 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 3	40
3.8 ออกแบบวงจรส่วนขับเคลื่อนของโรเวอร์	41
3.9 ออกแบบวงจรส่วนเซนเซอร์ของโรเวอร์	42
3.10 ออกแบบวงจรส่วนการสื่อสารของโรเวอร์	43
3.11 ออกแบบวงจรส่วนการถ่ายภาพ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ภายในสถานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	วงจรแปลงแรงดันจาก 12 โวลต์เป็น 5 โวลต์4	45
3.13	วงจรแปลงแรงดันที่เป็นแหล่งพลังงานให้บอร์ด RASPBERRY PI	45
3.14	วงจรแปลงแรงดันจาก 5 โวลต์เป็น 3.3 โวลต์)	45
3.15	SCHEMATIC แหล่งจ่ายไฟและตำแหน่งเซนเซอร์ต่างๆ	46
3.16	วงจร PCB แหล่งจ่ายไฟและตำแหน่งเซนเซอร์ต่างๆ	46
3.17	แผนผังการทำงานโปรแกรมสถานีภาคพื้นดิน	48
3.18	SCHEMATIC ของอุปกรณ์ฝั่งสถานีภาคพื้นดิน	49
3.19	วงจร PCB ของอุปกรณ์ฝั่งสถานีภาคพื้นดิน	49
3.20	การเขียนโปรแกรมสร้างปุ่มการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบอนุกรม	50
3.21	ฟังก์ชันการเปิด-ปิดการสื่อสารอนุกรม	51
3.22	การทดสอบการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์	51
3.23	หน้าจอแสดงผลที่ได้เซนเซอร์	52
3.24	การออกคำสั่งเบื้องต้นและแสดงผลข้อมูลที่ได้รับ	53
3.25	แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวาง	54
3.26	เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ในระยะ 50 CM และสั่งให้โรเวอร์หยุดการเคลื่อนที่	55
3.27	โรเวอร์เลี้ยวขวาแล้วสั่งให้เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้านหน้าในระยะ 50 CM	55
3.28	เซนเซอร์ตรวจจับไม่พบสิ่งกีดขวางในระยะ 50 CM และสั่งให้โรเวอร์เคลื่อนที่ต่อไป	56
3.29	แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบป้องกันการล้มของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัว	57
3.30	แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบป้องกันการล้มของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัว(ต่อ)	58
3.31	เซนเซอร์อ่านค่ามุมเอียงในแกน X ได้ต่ำกว่า 45 °C หรือ -45 °C	59
3.32	เซนเซอร์อ่านค่ามุมเอียงในแกน Y ได้ต่ำกว่า 45 °C หรือ -45 °C	59
3.33	จุดแสดงค่ามุมแกน X และแกน Y บนหน้าจอ UI	60
3.34	แผนผังการทำงานแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็นแพคเกจย่อย	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.35	แผนผังการทำงานแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็นแพคเก็จย่อย(ต่อ)	62
3.36	แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์การเข้ารหัสคอนโวลูชัน (2, 1, 3)	63
3.37	แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์การถอดรหัส VITERBI ALGORITHM	64
3.38	แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์การถอดรหัส VITERBI ALGORITHM(ต่อ)	65
3.39	ARDUINO MEGA 2560 BOARD	66
3.40	ARDUINO UNO R3 BOARD	66
3.41	RASPBERRY PI 3 MODEL B	67
3.42	SX1276 LORA MODULE	67
3.43	HC-12-MODULE	68
3.44	NEWGEN.RTL2832SDR	68
3.45	สาย USB-A TO USB-B	69
3.46	L298N MOTOR DRIVE SHIELD	69
3.47	RASPBERRY PI CAMERA V2(8MP)	70
3.48	MICRO SD CARD MODULE	70
3.49	DHT22 MODULE	70
3.50	GY-87 10DOF MODULE	71
3.51	VOLTAGE SENSOR MODULE	71
3.52	HC-SR04 MODULE	71
3.53	แบตเตอรี่แห่ง 12 V	72
3.54	SERVO MOTOR	72
3.55	PAN-TILT BRACKET FOR MG90S	73
3.56	DC MOTOR 12 V	73
3.57	โปรแกรม ARDUINO IDE	74
3.58	โปรแกรม SDRSHARP	74
3.59	ดิจิทัลออสซิลอสโคป	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	รูปภาพที่ได้จากการทดสอบที่ความละเอียด 3280 X 2464 PIXEL	79
4.3	วัดมุมแกน X ที่ 30 °C	80
4.4	วัดมุมแกน X ที่ 60 °C	80
4.5	วัดมุมแกน X ที่ 90 °C	80
4.6	วัดมุมแกน X ที่ 180 °C	80
4.7	วัดมุมแกน Y ที่ 30 °C	80
4.8	วัดมุมแกน Y ที่ 60 °C	80
4.9	วัดมุมแกน Y ที่ 90 °C	81
4.10	วัดมุมแกน Y ที่ 180 °C	81
4.11	สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 1	83
4.12	สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 2	84
4.13	สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 3	84
4.14	สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 4	85
4.15	เริ่มส่งสัญญาณข้อมูลโดยจะค้างสัญญาณไว้ที่ LOGIC LOW อย่างต่ำ 500 MS	87
4.16	DHT22 จะดึงสัญญาณให้เป็น LOGIC HIGH 30 MS เพื่อรอการตอบกลับจาก SENSOR	87
4.17	DHT22 ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยัง HOST และรออีก 76-80 MS	87
4.18	DHT22 ดึงสัญญาณขึ้นให้เป็น LOGIC HIGH 80 MS	87
4.19	บิต 0 จะมีระยะเวลา 26-28 MS	88
4.20	รอ 52 MS เพื่อส่งบิตถัดไป	88
4.21	บิต 1 มีระยะเวลา 70 MS	88
4.22	ข้อมูลทั้งหมดของ DHT22	88
4.23	ระยะทางจริงและระยะทางเฉลี่ยของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04	90
4.24	สัญญาณที่ขา TRIG และขา ECHO ของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก	91
4.25	ค่าที่ได้จากการวัดระยะทางของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่แบบมีน้ำหนักร	91
4.27 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่แบบไม่มีน้ำหนักร	91
4.28 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 0 °C	93
4.29 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 45 °C	93
4.30 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 60 °C	94
4.31 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 135 °C	94
4.32 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 180 °C	94
4.33 เส้นแสดงบอกช่วงระยะของวัตถุ	95
4.34 วัตถุที่ระยะ 0.5 M	95
4.35 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะน้อยกว่า 1 M	96
4.36 วัตถุที่ระยะ 1.5 M	96
4.37 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 1 M แต่ไม่เกิน 2 M	97
4.38 วัตถุที่ระยะ 2.5 M	97
4.39 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 2 M แต่ไม่เกิน 3 M	98
4.40 วัตถุที่ระยะ 3.5 M	98
4.41 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 2 M แต่ไม่เกิน 3 M	99
4.42 ข้อมูลบิตตัวอย่างที่เก็บอยู่ใน ARRAY	100
4.43 ข้อมูลถูกเข้ารหัสคอนโวลูชัน	100
4.44 ข้อมูลตัวอย่าง 1000 บิตแรกของข้อมูลรูปภาพที่เข้ารหัสแล้ว	100
4.45 แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปข้อ BYTE	101
4.46 แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของ HEX STRING	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.47	ข้อมูลที่มีการผิดพลาดที่ไบต์ที่ 4	101
4.48	แปลงข้อมูลที่ได้รับกลับมาเป็นไบต์อาเรย์	102
4.49	ข้อมูลถูกแปลงกลับมาเป็นไบนารีบิต	102
4.50	ข้อมูลหลังถอดรหัสด้วยวิเทอร์บีแก้ไข	102
4.51	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	105
4.52	หน้าจอแสดงผลระบบโดยรวมของโรเวอร์	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางบันทึกข้อมูลค่า RSSI ที่ระยะทางต่าง ๆ	77
4.2 ขนาดของรูปภาพที่ความละเอียดต่างๆ	79
4.3 ค่ามุม ROLL (แกน X) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050	81
4.4 ค่ามุม PITCH (แกน Y) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050	82
4.5 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เทียบกับเทอร์โมมิเตอร์	86
4.6 ผลการทดสอบการวัดระยะของเซนเซอร์ HC-SR04	89
4.7 ตารางบันทึกข้อมูลค่า SNR ที่ระยะทางต่าง ๆ	103
4.8 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดของข้อมูลเข้ารหัสที่ระยะทางต่าง ๆ	104
4.9 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่เข้ารหัสที่ระยะทางต่าง ๆ	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การส่งนักบินอวกาศออกไปนอกโลก ความยากง่ายของภารกิจมีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือในห้วงอวกาศมีหลายอย่างที่เรายังไม่รู้ว่าจะเผชิญกับอะไร ทั้งพายุ ฟ้าผ่า การกักร้อนอย่างรุนแรง รวมถึงสภาพอากาศที่เลวร้าย การที่จะส่งคนไปนั้น ต้องมั่นใจว่านักบินอวกาศคนนั้นสามารถเดินทางกลับมาได้ด้วย แม้ว่าการสำรวจที่ดวงจันทร์จะเคยส่งคนไปสำรวจแล้ว แต่ดวงจันทร์เป็นดาวที่ไม่มีปรากฏการณ์อะไร และยังไม่ไกลเมื่อเทียบกับห้วงจักรวาลอันกว้างใหญ่รวมถึงอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่เกิดระหว่างการส่งนักบินอวกาศออกไปนอกโลก ดังนั้นการใช้หุ่นยนต์มาปฏิบัติภารกิจแทนนักบินอวกาศย่อมย่อมลดอันตรายต่างๆ ที่เกิดกับนักบินอวกาศได้ เช่น การออกจากยานขณะอยู่ในอวกาศ รวมถึงข้อดีที่ใช้หุ่นยนต์มาใช้ปฏิบัติภารกิจแทนนักบินอวกาศในภารกิจที่ต้องการความแม่นยำสูง ๆ หรือ ภารกิจที่กินเวลานาน

การสำรวจอวกาศนั้นมีข้อดีหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการเรียนรู้ข้อมูลของดาวเคราะห์ต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการตั้งถิ่นฐานนอกโลก ประกอบกับดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่คล้ายคลึงกับโลกมากที่สุดในระบบสุริยะจักรวาล จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก รวมถึงในประเทศไทยมีเทคโนโลยีทางด้านอวกาศในการศึกษาค่อนข้างน้อย เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ที่เริ่มสนใจ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ และสามารถนำไปต่อยอดสร้างเทคโนโลยีทางด้านอวกาศได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อนำแบบจำลองการสื่อสารของโรเวอร์ไปใช้เป็นตัวอย่างทางการศึกษาเพื่อใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศในอนาคต
- 2) พัฒนาระบบการตรวจจับวัตถุ เพื่อนำมาใช้ในระบบค้นหาเส้นทางรวมถึงหลบสิ่งกีดขวางในระหว่างเส้นทางการสำรวจ
- 3) เพื่อศึกษาและพัฒนาการเข้ารหัสและถอดรหัสช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารของโรเวอร์ในอวกาศ
- 4) ออกแบบและพัฒนาแบบจำลองโรเวอร์เพื่อใช้ในการปฏิบัติงานด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ระบบสื่อสารโรเวอร์เพื่อใช้ในการปฏิบัติการสำรวจดาวอังคาร จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

- 1) สถานีภาคพื้นดิน การพัฒนาชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมโรเวอร์ผ่านชุดควบคุมและแสดงผลผ่านหน้าจอ User Interface รวมถึงการออกแบบการเข้ารหัสช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารระยะทางไกล
- 2) โรเวอร์ โดยทำการออกแบบโรเวอร์ รวมถึงระบบในการตรวจจับวัตถุเพื่อนำมาใช้ในระบบค้นหาเส้นทางในการสำรวจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ดาวอังคารอยู่ในความสนใจของมนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะถ้าหากมีดาวเคราะห์อีกดาวในระบบสุริยะที่มีโอกาสมีสิ่งมีชีวิต หรือเคยมีสิ่งมีชีวิต ดาวอังคารมีความเป็นไปได้สูงสุด เพราะในอดีตดาวอังคารมีลักษณะคล้ายโลกมาก และเคยมีมหาสมุทรปกคลุม ซึ่งน้ำก็เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิต

2.1 การกิจสำรวจดาวอังคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ยานอวกาศ MARS 2020 เป็นยานสำรวจดาวอังคารในโครงการ NASA's Mars Exploration Program (MEP) ขององค์การนาซา (NASA) ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงการที่นาซาพยายามจะค้นหาความลับของดาวอังคาร การกิจนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการดำรงชีวิตบนดาวอังคาร โดยมียานสำรวจชื่อว่า เพอร์เซเวียแรนซ์ (Perseverance) ซึ่งเป็นยานสำรวจดวงที่ 5 ที่นาซาส่งไปยังดาวอังคาร หลังจากยานโซเจอร์เนอร์ ยานสปิริต ยานออปเพอร์จูนิตี้ และยานคิวริออซิตี ปัจจุบันยานเพอร์เซเวียแรนซ์ที่องค์การนาซาสร้างขึ้นได้ออกเดินทางสู่ดาวอังคารแล้ว และมีกำหนดลงจอดในเดือนกุมภาพันธ์ ปีคริสต์ศักราช 2021 ด้วยวิธีที่เรียกว่า สกายเครน (Sky Crane) โดยใช้อุปกรณ์ลักษณะเหมือนร่มชูชีพขนาดใหญ่ และเครื่องยนต์จรวด เพื่อช่วยชะลอความเร็วในการลงจอด จากนั้นอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้สายเคเบิลค่อยๆ หย่อนหุ่นยนต์สำรวจลงบนพื้นผิวดาวอังคาร แสดงดังรูปที่ 2.1 [1]



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองยานสำรวจเพอร์เซเวียแรนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากที่สหรัฐจะปล่อยยานออกเดินทางไปสำรวจดาวอังคารแล้ว ทางองค์การอวกาศยุโรปและรัสเซีย (European Space Agency : ESA) ก็ยังใช้โอกาสนี้ในการส่งยานโรซาลินด์ แฟรงคลิน (Rosalind Franklin) แสดงดังรูปที่ 2.2 [1] ไปลงวิ่งสำรวจบนดาวอังคารด้วยเช่นกัน โดยยานลำนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ ExoMars ซึ่งโครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือการส่งดาวเทียมสำรวจ ExoMars Trace Gas Orbiter พร้อมยานสำรวจ Schiaparelli EDM และการส่งหุ่นยนต์สำรวจ ExoMars Rover โดยมีภารกิจหลัก คือ ค้นหาสิ่งมีชีวิตบนดาวอังคารร่องรอยของน้ำ ก๊าซ และตรวจสอบตัวอย่าง แร่ธาตุ โดยพื้นที่ลงจอดบนดาวอังคารถูกกำหนดไว้ตรงบริเวณที่เรียกว่า Oxia Planum ซึ่งเป็นบริเวณที่คาดว่าเคยเป็นแหล่งน้ำบนดาวอังคาร

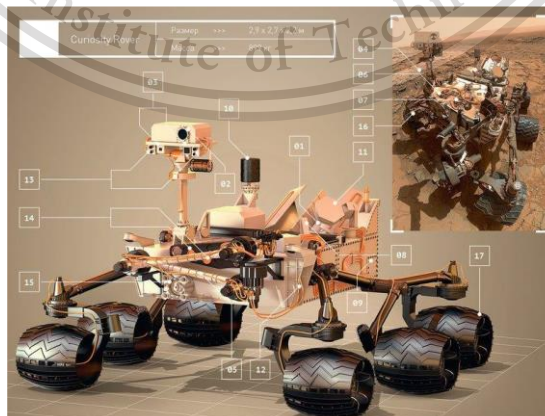


รูปที่ 2.2 แบบจำลองยานโรซาลินด์ แฟรงคลิน

2.2 ระบบย่อยของอุปกรณ์บนโรเวอร์

2.2.1 โครงสร้างของโรเวอร์

ในระบบโครงสร้างของโรเวอร์แสดงดังรูปที่ 2.3 [1]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโรเวอร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.3 (1) ระบบรถแลนด์โรเวอร์ที่มีประสิทธิภาพจะมีแบตเตอรี่พลังงาน แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอและใช้พลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกไอโซโทป (Radionuclide Thermoelectric Generator : RTG) พลูโตเนียม 238 ไดออกไซด์ 4.8 กก. ภายใต้อุปกรณ์ 2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน มองเห็นใบพัดของหม้อน้ำระบายความร้อน (2) เลเซอร์ของอุปกรณ์ ChemCam ปล่องพัลส์ 50-75 นาโนวินาทีซึ่งทำให้หินกลายเป็นไอในระยะทางสูงสุด 7 m และอนุญาตให้วิเคราะห์สเปกตรัมของพลาสมาที่เกิดขึ้นเพื่อกำหนดองค์ประกอบของเป้าหมาย (3) กล้อง MastCam คู่หนึ่งกำลังถ่ายภาพผ่านฟิลเตอร์ IR ที่แตกต่างกัน (4) สถานีตรวจอากาศ REMS จะตรวจสอบความดัน ลม อุณหภูมิความชื้นและรังสี UV (5) หุ่นยนต์พร้อมชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ (6) SAM แก๊สโครมาโตกราฟสเปกโตรมิเตอร์มวลและเลเซอร์สเปกโตรมิเตอร์สำหรับกำหนดองค์ประกอบของสารระเหยในตัวอย่างที่ระเหยและในบรรยากาศ (7) CheMin กำหนดองค์ประกอบและแร่วิทยาของตัวอย่างที่ถูกบดจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (8) เครื่องตรวจจับรังสี RAD เริ่มทำงานในวงโคจรใกล้โลก และรวบรวมข้อมูลตลอดการบินไปยังดาวอังคาร (9) เครื่องตรวจจับนิวตรอน DAN ตรวจจับไฮโดรเจนที่เกาะอยู่ในโมเลกุลของน้ำ นี่คือการมีส่วนร่วมของรัสเซียในการทำงานของรถแลนด์โรเวอร์ (10) ปลอกเสาอากาศสำหรับการสื่อสารกับดาวเทียม Mars Reconnaissance Orbiter (ประมาณ 2 Mbit/sec) และ Mars Odyssey (ประมาณ 200 Mbit/sec) (11) เสาอากาศสำหรับการสื่อสารโดยตรงกับโลกในแถบ X (0.5 32 Kbit/sec) (12) ในการพัฒนาของกล้อง MARDI จะทำการถ่ายภาพสีความละเอียดสูงเพื่อให้สามารถดูรายละเอียดของสถานที่ลงจอดได้ (13) กล้อง Navcams ถ่ายภาพสีขาวดำที่มีอยู่ด้านขวาและซ้ายสำหรับสร้างโมเดล 3 มิติ ในบริเวณที่ใกล้ที่สุด (14) แผงที่มีตัวอย่างที่สะอาดช่วยให้คุณสามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ทางเคมีของโรเวอร์ (15) ชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับสว่าน (16) ตัวอย่างที่ได้เก็บจะถูกเทลงในภาชนะจากถัง เพื่อการศึกษาด้วยกล้องมาโคร MAHLI หรือสเปกโตรมิเตอร์ APXS (17) ล้อขนาด 20 นิ้ว พร้อมไดรฟ์อิสระซีสปริงไทเทเนียม แทร็กที่เหลือนจากลอนสามารถใช้เพื่อประเมินคุณสมบัติของดิน และตรวจสอบการเคลื่อนไหว

2.2.2 ระบบการถ่ายภาพ

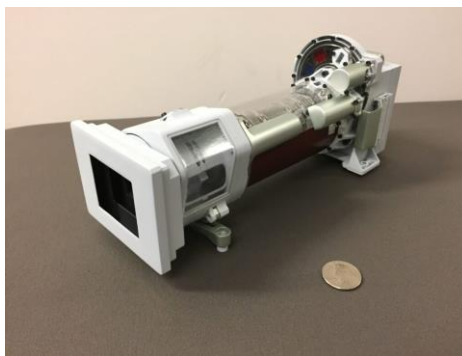
2.2.2.1 Mastcam-Z

The mast-mounted camera system (Mastcam-Z) คือ กล้องที่มีหลายช่วงคลื่นแสง (Multi-spectral) สำหรับถ่ายภาพแบบสเตอริโอ (Stereoscopic) ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่บนเสาของโรเวอร์เพอร์เซเวียแรนซ์ มันจะทำหน้าที่ถ่ายวิดีโอความละเอียดสูง ภาพพาโนรามาิก ภาพ 3 มิติ ของพื้นผิวดาวอังคารและชั้นบรรยากาศ ความพิเศษของ Mastcam-Z คือสามารถซูมได้ ซึ่งมันสามารถถ่ายภาพความละเอียด 1600x1200 พิกเซล หรือประมาณ 2 เมกะพิกเซล แสดงดังรูปที่ 2.4 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

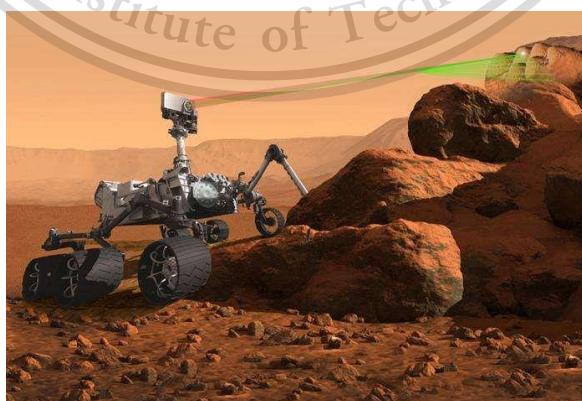


รูปที่ 2.4 กล้อง Mastcam-Z

นอกจากนี้มันจะมีกล้องจับภาพติดอยู่ข้างบน 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 2.4 ไว้สำหรับถ่ายภาพแบบสเตอริโอสโคปิก หรือภาพที่คล้ายตาเรามองเห็น ซึ่งมันสามารถทำ Depth perception ที่จะช่วยในการถ่ายภาพระยะไกลของภูมิธรณีสัณฐานของดาวอังคาร รวมถึงการถ่ายภาพชั้นบรรยากาศได้อีกด้วย และ Mastcam-Z ยังมองได้หลายช่วงแสง เช่น Ultraviolet และ Infrared ซึ่งจะทำให้สามารถใช้แสงมาวิเคราะห์ส่วนประกอบ หรือคุณสมบัติทางธรณีวิทยาของหินได้ นอกจากนี้มันยังสามารถถ่ายภาพจันทรคราสของดาวอังคารขณะกำลังเคลื่อนผ่านดวงอาทิตย์ได้อีกด้วย (Transits of Mars' Moons)

2.2.2.2 Supercam

เป็นกล้องที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและแร่ธาตุของหินระยะไกล โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปใกล้ ที่ตัวกล้องมีเลเซอร์ (Laser) และสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ไว้สำหรับสแกนหาสารอินทรีย์หรือร่องรอย Biosignatures ของสิ่งมีชีวิตโดยที่ Supercam เองสามารถทำงานได้ตั้งแต่ระยะ 7 m เป็นต้นไป จึงทำให้มันไม่จำเป็นต้องเข้าไปใกล้วัตถุ ก็สามารถทดลองหาสารอินทรีย์ได้ ซึ่ง Supercam จะวางอยู่ที่ตำแหน่งด้านบนของกล้อง Mastcam-Z โดยมีลักษณะการใช้งานแสดงดังรูปที่ 2.5 [1]



รูปที่ 2.5 กล้อง Supercam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

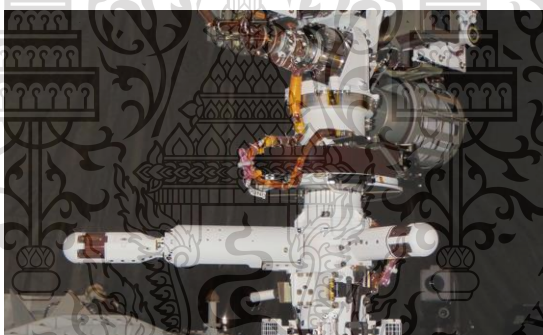
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กล้อง Supercam นั้นมีต้นแบบมาจาก ChemCam ของโครงการ Mars Curiosity แต่กล้อง Supercam นั้นพิเศษกว่าตรงที่มีเลเซอร์ที่ใช้สำหรับการสำรวจระยะไกล รวมถึงระบบที่เรียกว่า Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) ซึ่งเป็นการปล่อยเลเซอร์กำลังสูงที่มีความยาวคลื่น 1064 nm เพื่อทำให้วัตถุที่ถูกเลเซอร์ระเหยในระดับอนุภาค จากนั้นจึงใช้สเปกโตรมิเตอร์ จำนวน 3 ตัว ตัวแรกแยกเป็น UV ส่วนตัวที่สองแยกช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ และตัวที่สาม Near-Infrared ส่องอนุภาคที่ระเหยออกมาจากวัตถุตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบของวัตถุผ่านการเทียบความทึบแสง (Spectrophotometry)

2.2.3 ระบบวัดและทดสอบสภาพแวดล้อม

2.2.3.1 Mars Environmental Dynamics Analyzer (MEDA)

MEDA คือ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าทางภูมิอากาศเช่น ความชื้น ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิ ในชั้นบรรยากาศของดาวอังคาร รวมถึงการวัดค่าฝุ่น เช่น ขนาดของเม็ดฝุ่น และรูปร่างของเม็ดฝุ่น เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฝุ่นบนดาวอังคาร และใช้ในการพยากรณ์อากาศของดาวอังคารในอนาคต แสดงดังรูปที่ 2.6 [1]



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบสภาพแวดล้อม MEDA

นอกจากนี้ MEDA ยังสามารถวัดค่ารังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์และอวกาศได้อีก ด้วยและยังถูกออกแบบมาให้ทำงานร่วมกับ Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE) ซึ่งเป็นระบบ In-Situ Resource Utilization (ISRU) ที่จะทดลองผลิตออกซิเจนบนดาวอังคาร โดย MEDA จะทำหน้าที่แสดงผลว่าฝุ่นและสภาพอากาศส่งผลอย่างไรต่อการผลิตออกซิเจน

2.2.3.2 Mars Oxygen ISRU Experiment (MOXIE)

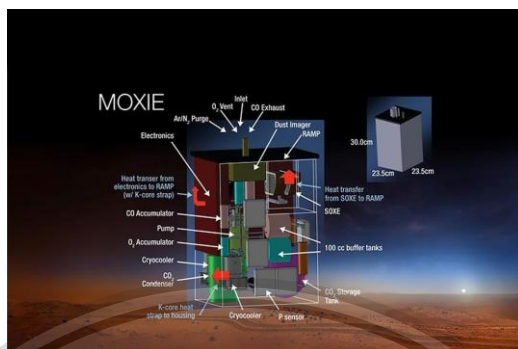
MOXIE คือ อุปกรณ์ที่จะถูกส่งไปทดสอบบนดาวอังคาร โดยมีหน้าที่เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของดาวอังคารให้เป็นออกซิเจน ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสชนิดออกไซด์แข็ง (Solide Oxide Electrolysis) ซึ่งหลักการทำงานของ MOXIE คือ จะทำงานโดยการนำคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศของดาวอังคารมาแยกโมเลกุลแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) จากนั้นจึงนำออกซิเจนไปใช้ ส่วนคาร์บอนมอนนอกไซด์ก็ปล่อยเป็นของเสียนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 2.7 [1]

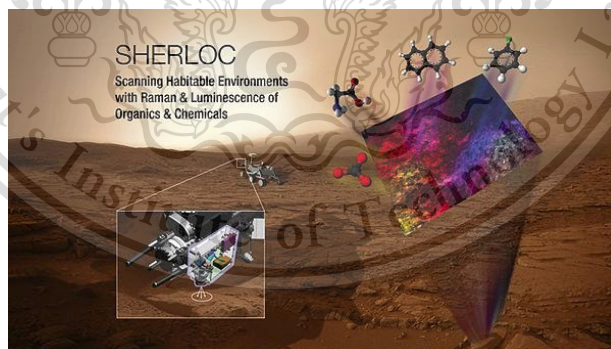


รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ MOXIE

2.2.4 ระบบสำรวจ

2.2.4.1 Scanning Habitable Environments with Raman and Luminescence for Organics and Chemicals (SHERLOC)

SHERLOC คือ ยูวีสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet spectrometer) ติดอยู่กับแขนกลของโรเวอร์ มาพร้อมกับเลเซอร์และกล้อง เพื่อใช้สำหรับส่องตัวอย่างหินในระยะใกล้ เพื่อหาร่องรอยของสิ่งมีชีวิตและหาสารอินทรีย์ต่างๆ ในดินและหินของดาวอังคารในระดับความละเอียดสูง แสดงดังรูปที่ 2.8 [1]



รูปที่ 2.8 ยูวีสเปกโทรสโกปี

SHERLOC จะทำสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) ด้วยเลเซอร์นีออน-ทองแดง ที่สร้างยูวีฟลูออโรน ขนาด 248.6 nm จากนั้นจึงส่องลงไปพื้นผิวเพื่อสแกนพื้นผิวและสัญญาณของตัวอย่าง จากนั้นจึงเรนเดอร์ออกมาเป็นภาพสเปกโทรสโกปีเพื่อวิเคราะห์ส่วนประกอบ

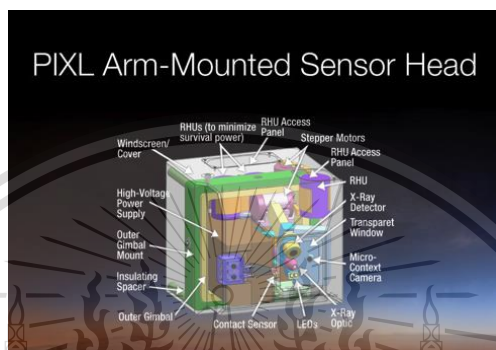
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4.2 Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry (PIXL)

PIXL คือ เลเซอร์เอกซเรย์สเปกโตรมิเตอร์ ที่ใช้สำหรับส่องโมเลกุลเคมีในระดับที่เล็กมาก ใช้สำหรับการตรวจหาสัญญาณบ่งชี้ถึงสิ่งมีชีวิต (Biosignature) ในระดับเล็ก เช่น ในหินหรือในดินที่กลิ้งสำรวจขนาดใหญ่ เช่น Mastcam-Z หรือ Supercam ไม่สามารถตรวจจับได้ เพราะว่า PIXL เป็นเลเซอร์ที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง แสดงดังรูปที่ 2.9 [1]



รูปที่ 2.9 เลเซอร์เอกซเรย์สเปกโตรมิเตอร์

2.2.4.3 Radar Imager for Mars's Subsurface Experiment (RIMFAX)

RIMFAX คือ เรดาร์สำหรับสแกนพื้นผิวดั้วโรเวอร์ เพื่อสำรวจเส้นทางโครงสร้างทางธรณีวิทยาของดาวอังคาร โดยคลื่นสามารถทะลุพื้นผิวดั้วประมาณ 10 m เพื่อสร้างแผนที่ใต้ดิน และสามารถตรวจจับน้ำหรือน้ำแข็งได้ [1]

2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การประมวลผลภาพดิจิทัล

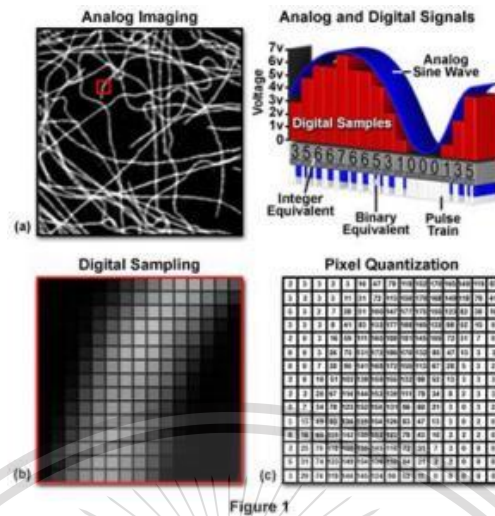
การประมวลผลภาพดิจิทัล[2] เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลรูปที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการประมวลผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ และยังนำมาใช้ในการลดปัญหาของภาพ เช่น ลดสัญญาณรบกวนภาพในภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัด หรือ ประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลระดับสูง เช่น การจดจำรูปร่างลักษณะให้ได้ อย่างแม่นยำ ในการแปลงภาพให้เป็นสัญญาณดิจิทัลนั้น ระบบจะนำรูปที่รับเข้ามาไปคำนวณโดยกระบวนการ Sampling และ Quantization และส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำภายในเครื่องในรูปแบบของอาร์เรย์ โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์ แสดงถึงคุณสมบัติต่างๆของรูปที่จุด พิกเซลนั้นๆ และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์ก็เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดพิกเซลภาพในภาพด้วย แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 การแปลงภาพแอนะล็อกให้เป็นดิจิทัล [2]

ภาพดิจิทัลที่ได้จะมีรูปแบบการเก็บเป็นเมทริกซ์ ซึ่งจะมีการจัดเก็บภาพแต่ละชนิดต่างกัน ขึ้นอยู่กับระบบสีของภาพดังกล่าว โดยแบ่งชนิดของภาพได้ดังนี้

1. Binary image หรือ ภาพขาว-ดำ เป็นรูปที่ใช้พื้นที่เพียง 1 bit ต่อ Pixel โดยค่าสีจะมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำ และ 1 หรือสีขาว แสดงดังรูปที่ 2.11



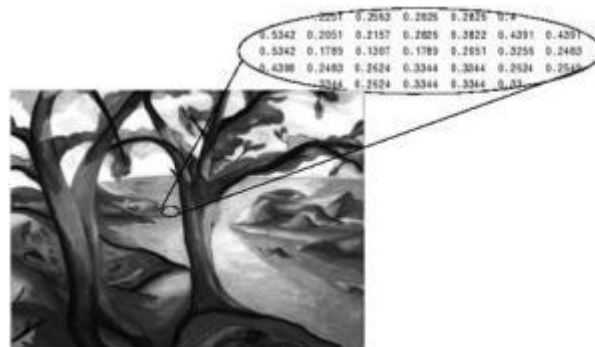
รูปที่ 2.11 ภาพแบบ Binary [2]

2. Grayscale Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วงๆ หนึ่ง ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี แสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.12 ภาพแบบ Grayscale [2]

3. RGB Image หรือ TrueColor Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด $m \times n \times 3$ โดยที่ m คือความยาว และ n คือความกว้างของภาพในหน่วย Pixel ส่วนมิติสุดท้ายนั้นในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกัน คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ภาพแบบ RGB [2]

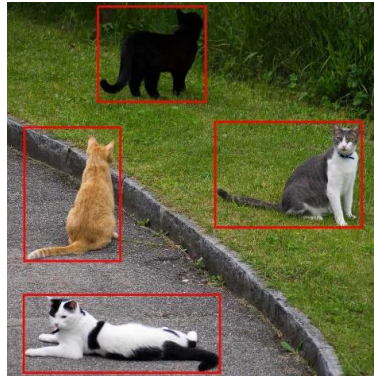
2.3.1.1 Region-of-interest (ROI)

Region-of-interest (ROI) [2] คือบริเวณที่เราสนใจ อาจจะเป็นบริเวณใดในภาพก็ได้ โดยการติกรอบล้อมรอบบริเวณที่สนใจ ด้วยวงกลม กรอบสี่เหลี่ยม หรือกรอบรูปสามเหลี่ยมใด ๆ เพื่อนำภาพเฉพาะส่วนดังกล่าวมาประมวลผล หรือเปลี่ยนแปลงภาพตามต้องการ โดยไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ ซึ่งใน 1 ภาพ สามารถกำหนดได้หลายๆ ROI เมื่อกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ แล้ว จะสร้าง Mask ที่เป็น Binary Mask สำหรับใช้กำหนดขอบเขตที่จะมีการเปลี่ยนแปลงในรูปภาพนั้น ๆ โดยให้ค่าส่วนที่สนใจเป็น 1 หรือสีขาวและให้ส่วนอื่น ๆ เป็น 0 หรือสีดำ แสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 การกำหนด Region of Interest แบบกรอบสี่เหลี่ยม [2]

2.3.1.2 การบอกตำแหน่งวัตถุที่สนใจ (Image Annotation)

การบอกตำแหน่งของวัตถุที่สนใจ (Image Annotation) [3] หรือ การเลเบล (label) ภาพเป็นส่วนสำคัญในการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ โดยการเลเบลภาพจะทำให้การตีกรอบรอบวัตถุที่สนใจและทำการกำหนดคลาสของวัตถุนั้น ๆ โดยวิธีการเลเบลมีได้หลายรูปแบบ เช่น 2D and 3D Bounding Boxes, line and spline, polygon, semantic segmentation ผลลัพธ์ของการเลเบลจะอยู่ในรูปของไฟล์ .csv หรือ .xml ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลของตำแหน่งของวัตถุที่สนใจ

2.3.2 วิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

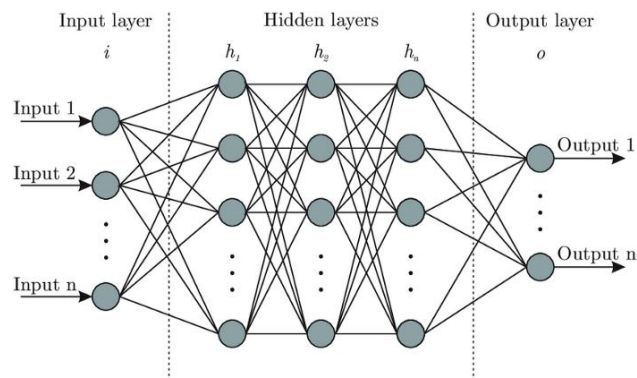
การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [4] คือซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบให้เหมือนกับเครือข่ายเซลล์ประสาท (Network of Neuron) ซึ่งการเรียนรู้เชิงลึกนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ส่วนอัลกอริทึม (Algorithm) ของการเรียนรู้เชิงลึก จะทำผ่านเครือข่ายเซลล์ประสาท ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมแบบหนึ่งที่มีชั้น (layer) โดยชั้นแรกสุดจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Input layer) ในแต่ละข้อมูลจะเข้าไปสู่เซลล์ประสาท (neuron) และถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสู่ชั้นต่อไป และกลายเป็นข้อมูลขาเข้าของชั้นถัดไปด้วย กระบวนการนี้ถูกทำซ้ำในแต่ละชั้นในโครงข่าย ในชั้นสุดท้ายจะเรียกว่าชั้นขาออก (Output layer) ส่วนชั้นระหว่างชั้นแรกและชั้นสุดท้าย จะถูกเรียกว่า Hidden layer โดยที่ Hidden layer ของแต่ละชั้นจะเปรียบเสมือนว่าประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก มีหน้าที่ในการประมวลผล รับข้อมูลจากชั้นที่อยู่เหนือกว่า และส่งข้อมูลที่ประมวลผลเสร็จแล้วไปยังชั้นที่อยู่ล่างกว่า ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบนี้ก็คือ ชั้นแต่ละชั้นสามารถจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าความเอนเอียงของข้อมูล (bias) และวิธีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (activation function) ที่เป็นอิสระต่อกัน เมื่อมีข้อมูลเข้ามาให้กับโมเดล (model) มากเท่าไรในชั้นแต่ละชั้น ก็จะสามารถสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extractor) ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.15 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

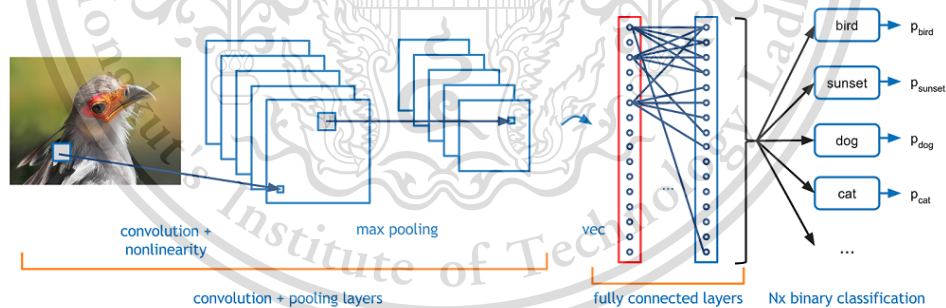
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.15 วิธีการเรียนรู้เชิงลึก [4]

2.3.1.2 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network)

โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน [4] เป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่งในกลุ่ม Bio-inspired โดยที่โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันจะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อย ๆ และนำกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ มาผสานกันเพื่อดูว่าสิ่งที่เห็นเป็นอะไรกันแน่ การมองพื้นที่ย่อยของมนุษย์จะมีการแยกคุณลักษณะ (feature) ของพื้นที่ย่อยนั้น เช่นลายเส้น และการตัดกันของสี ซึ่งการที่มนุษย์รู้ว่าพื้นที่ตรงเป็นเส้นตรงหรือสีตัดกัน เพราะมนุษย์ดูทั้งจุดที่สนใจและบริเวณรอบ ๆ ประกอบกันแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน [4]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน จะประกอบด้วย Kernel และผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์ของ Kernel กับ Input Image ที่เรียกว่า Activation Map หรือ Feature Map แสดงดังรูปที่ 2.17 โดยทั้ง Kernel และ Feature Map นั้นสามารถแสดงผลได้ด้วยภาพ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3	3	2	1	0			
0 ₀	0 ₁	1 ₂	3	1	12.0	12.0	17.0
3 ₂	1 ₂	2 ₀	2	3	10.0	17.0	19.0
2 ₀	0 ₁	0 ₂	2	2	9.0	6.0	14.0
2	0	0	0	1			

รูปที่ 2.17 ผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง Kernel กับ Input Image

จากรูปที่ 2.17 เป็นการนำ Matrix ขนาดเล็กของ Weight หรือที่เรียกว่า Kernel มา Slide ไปบน Input Image (สีฟ้า) โดยขณะที่มีการทำ Kernel บน Input Image Kernel จะทำคูณค่าแต่ละพิกเซลของ Input Image กับ Kernel แล้วนำผลลัพธ์ทั้งหมดมาบวกกัน เป็น 1 จุดพิกเซลของ Feature Map (สีเขียว) ดังสมการที่ 2.1 [4]

$$S(m,n) = \sum_i \sum_j X(m-i, n-j)K(i,j) \quad (2.1)$$

โดย X คือ Input Image ขนาด $N \times N$

K คือ Kernel ที่มีขนาด $f \times f$

$S(m,n)$ คือ Feature Map ขนาด $M \times M$

เมื่อ $M = \frac{N-f}{s} + 1$, s คือ ขนาดของการเลื่อน (stride)

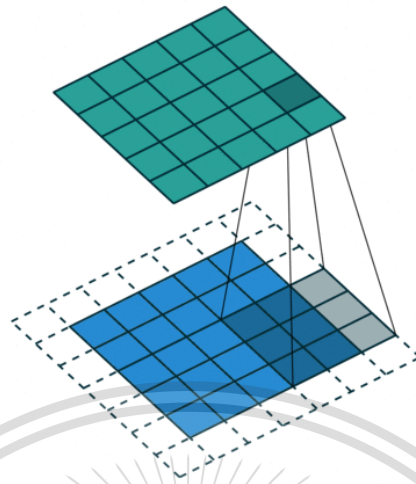
1) Padding

การทำ Padding เพื่อจะทำให้ Feature Map มีขนาดเท่ากับ Input Image และ Pixel ที่ขอบภาพอยู่ตรงกลาง Kernel ตอนที่มันทาบลงไป จะต้องทำการ Padding โดยการเสริมกรอบด้วยการเติม 0 (Zero Padding) รอบ ๆ ภาพเดิมแสดงดังรูปที่ 2.18 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



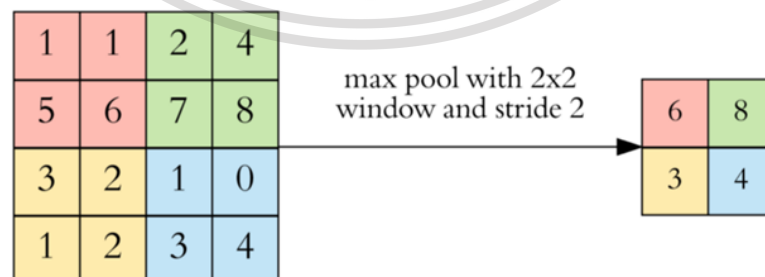
รูปที่ 2.18 การทำ Padding [4]

2) Stride

Stride เป็นกระบวนการในการทำคอนโวลูชัน โดยการเลื่อนแผ่น Kernel ไปบน Input Image โดยค่าเริ่มต้นของการคอนโวลูชันแล้ว Stride จะมีค่าเท่ากับ 1 คือจะมีการเลื่อน Kernel ไปบน Input Image ครั้งละ 1 พิกเซล การเพิ่มค่า Stride จะทำให้การเลื่อนกันของ Kernel ตอนที่มีการทับ Input Image และขนาดของ Feature Map ก็จะลดลง [4]

3). Pooling

การทำ Pooling เป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่ลดขนาดของ Feature Map ที่ได้มาจากการทำ CNN มีวัตถุประสงค์ในการลดจำนวนของพารามิเตอร์ที่มีมากเกินไป และลดระยะเวลาในการเทรน ข้อมูล Pooling นั้นมีหลายแบบ เช่น Max pooling, Min pooling และ Average pooling แต่ที่เป็นที่นิยมใช้ คือ Max pooling โดยหาค่ามากที่สุดของแต่ละพิกเซล แสดงดังรูปที่ 2.19 [4]



รูปที่ 2.19 การทำ Max pooling [4]

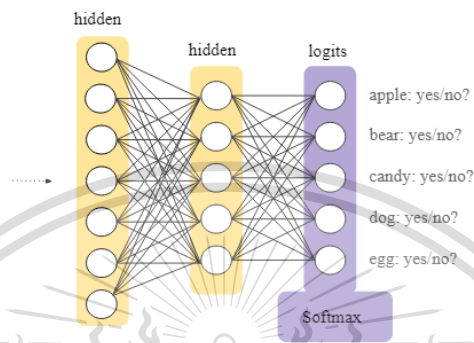
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3). Fully Connected

Fully Connected เป็นขั้นสุดท้ายของการทำ CNN ส่วนนี้ จะทำหน้าที่นำเอาคุณลักษณะสำคัญไปสร้างเป็น Neural Network สำหรับการเรียนรู้ จัดจำรูปแบบ และการทำนายประเภท โดยใช้เทคนิคที่มีชื่อว่า Softmax เพื่อทำ Classification ต่อไป ดังภาพที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การทำ Fully Connected [4]

2.3.3 TensorFlow

TensorFlow เป็นไลบรารีสำหรับใช้พัฒนา Machine learning เป็น Open source ที่พัฒนาโดย Google สามารถใช้งานได้ดีกับภาษา Python โดยสถาปัตยกรรม TensorFlow ได้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การเตรียมประมวลผลข้อมูล การสร้างแบบจำลอง และการฝึกการประเมินแบบจำลอง โดยชื่อของ TensorFlow มาจากการที่ TensorFlow มาจากการที่ TensorFlow รับข้อมูลเป็นอาร์เรย์หลายมิติ หรือที่เรียกกันว่า tensors และเรามีหน้าที่จัดเรียงลำดับการประมวลผลเป็น flowchart ข้อมูลที่ถูกป้อนไปก็จะผ่าน flow กระบวนการจนออกมาเป็นผลลัพธ์หรือเอาท์พุท TensorFlow สามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows, MacOS, Linux รวมไปถึงมือถือทั้ง iOS และ Android เป็นต้น รายการอัลกอริทึม TensorFlow มีการรองรับ ยกตัวอย่างเช่น [5]

- Linear regression: `tf.estimator.LinearRegressor`
- Classification: `tf.estimator.LinearClassifier`
- Deep learning classification: `tf.estimator.DNNClassifier`
- Deep learning wide and deep: `tf.estimator.DNNLinearCombinedClassifier`
- Booster tree regression: `tf.estimator.BoostedTreesRegressor`

Boosted tree classification: `tf.estimator.BoostedTreesClassifier`

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ดูแลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2.3 TensorFlow Lite

TensorFlow Lite (TFLite) คือ Tools ที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถรันโมเดล TensorFlow ทำ Interface บนอุปกรณ์ Raspberry Pi ได้ด้วยโมเดลที่มีขนาดเล็กลงทำงานได้เร็วขึ้น ลด Latency โดยความแม่นยำก็จะลดลงไปด้วย TensorFlow Lite ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้ [5]

1. TensorFlow Lite Interpreter เป็นตัวรันโมเดลที่ถูกแปลง และ Optimize มาเป็นพิเศษ บน Hardware ที่กำหนด เช่น มือถือ, Embedded Linux และ Microcontroller.

2. TensorFlow Lite Converter เป็นตัวแปลงโมเดล TensorFlow ไปเป็นโมเดลขนาดเล็ก ที่ทำงานได้รวดเร็ว สำหรับรันกับ Interpreter

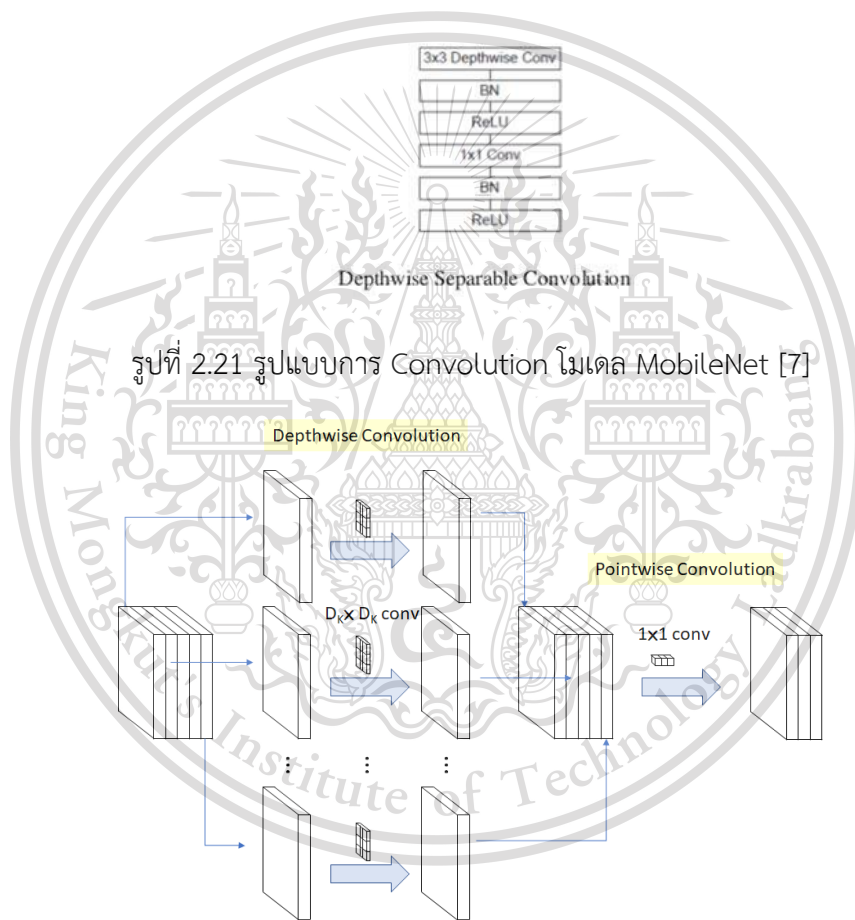
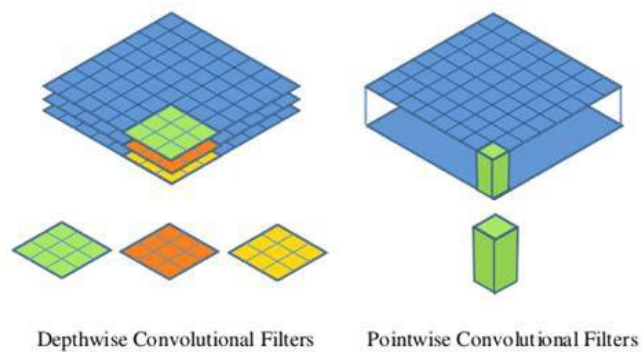
2.3.4 โมเดล MobileNet

MobileNet [6] เป็นโมเดล Deep Learning สำหรับรูปภาพที่มีขนาดเล็ก และประมวลผลได้ไวซึ่ง MobileNet เป็นโมเดลขนาดเล็ก ที่ทำงานได้เร็ว Latency ต่ำ ใช้พลังงานในการประมวลผลไม่มาก ถูกออกแบบมาสำหรับงานที่มีทรัพยากรจำกัด MobileNet สามารถใช้ได้ทั้ง Classification, Detection, Embedding และ Segmentation เหมือนกับโมเดลที่เป็นที่นิยมอื่นๆ เช่น ResNet, Inception, U-Net [5] โมเดล MobileNet ขึ้นอยู่กับ Convolutions [7] ที่แยกออกจากกันได้ในเชิงลึกซึ่งเป็นรูปแบบของการแปลงแบบแยกตัวประกอบ สิ่งเหล่านี้แยกตัวประกอบของการแปลงมาตรฐานให้เป็นการแปลงเชิงลึก และการแปลงแบบ 1×1 ที่เรียกว่าคอนโวลูชันแบบซีจุด สำหรับ MobileNet การแปลงเชิงลึกจะใช้ตัวกรองเดียวกับแต่ละช่องสัญญาณเข้า จากนั้น Convolution แบบ pointwise จะใช้คอนโวลูชัน 1×1 เพื่อรวมเอาท์พุทของคอนโวลูชันเชิงลึก คอนโวลูชันมาตรฐานจะกรอง และรวมอินพุตเป็นชุดเอาต์พุตใหม่ ในขั้นตอนเดียว คอนโวลูชันที่แยกออกจากกันได้ในเชิงลึกจะแบ่งสิ่งนี้ออกเป็นสองชั้น - ชั้นที่แยกต่างหากสำหรับการกรองและเลเยอร์ที่แยกต่างหากสำหรับการรวมกัน การแยกตัวประกอบนี้มีผลในการลดการคำนวณและขนาดโมเดลลงอย่างมากแสดงดังรูปที่ 2.21 ภาพรวมการทำงานของโมเดล MobileNet-SSD แสดงดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.22 สถาปัตยกรรมของโมเดล MobileNet [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

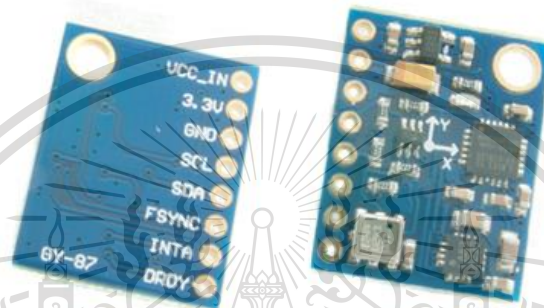
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.5 ระบบเซนเซอร์

2.3.5.1 การหาค่าเคลื่อนไหวของโรเวอร์ของเซนเซอร์ไจโร

GY-87 เป็นโมดูล แสดง Accelerometers, Gyroscope, Compass, Pressure ในตัวเดียวกัน บนโมดูล ประกอบด้วยชิป MPU6050 HMC5883L BMP180 ส่งข้อมูลผ่าน Bus I2C ใช้ในการหาค่าของการเคลื่อนไหวทั้ง 3 แกน และทิศทางของการเคลื่อนที่ พร้อมทั้งการหาค่าของความกดอากาศและอุณหภูมิได้อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 2.23 [8]



รูปที่ 2.23 เซนเซอร์ GY-87 MPU6050

มุม pitch และมุม roll สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ค่าความเร่ง 3 แกน แสดงดังรูปที่ 2.24 โดยที่ค่าความเร่งที่อ่านได้จะต้องถูกแปลงให้เป็นจำนวนเท่าของค่า g ($1 g = 9.81 \text{ m/s}^2$) ในการแปลงค่าความเร่งที่อ่านได้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของการอ่านค่า โดยค่าเริ่มต้นจะกำหนดเป็น 10 บิต ซึ่งหมายถึงความละเอียด $\pm 2g$ จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าความเร่งจากค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ได้ดังสมการที่ 2.2 [8]

$$G_{accel} = Raw_{accel} \times \frac{Range}{2^{resolution} - 1} \quad (2.2)$$

เมื่อ G_{accel} คือ จำนวนเท่าของค่า g เช่น ถ้า $G_{accel} = 1$ แสดงว่าค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

Raw_{accel} คือ ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050

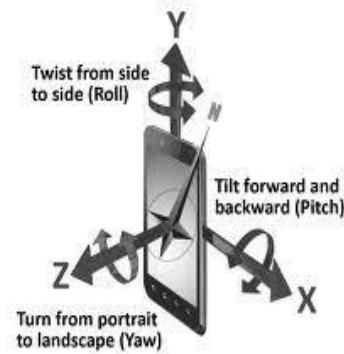
$Range$ คือ ช่วงความไวของข้อมูล

$2^{resolution}$ คือ ความละเอียดของข้อมูลที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.24 มุม Pitch และมุม Roll [8]

เมื่อคำนวณหาองค์ประกอบค่าความเร่งในแต่ละแกนแล้ว สามารถคำนวณหามุม pitch และ มุม roll ได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$pitch = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{\sqrt{G_x^2 + G_z^2}}\right) \quad (2.3)$$

$$roll = \tan^{-1}\left(\frac{-G_x}{G_z}\right) \quad (2.4)$$

ซึ่งมุม pitch และมุม roll สามารถนำไปต่อยอดประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการสื่อสารของโรเวอร์ในอวกาศ ได้ [8]

2.3.5.2 การคำนวณหาระยะทางของวัตถุของเซนเซอร์ HC-SR04

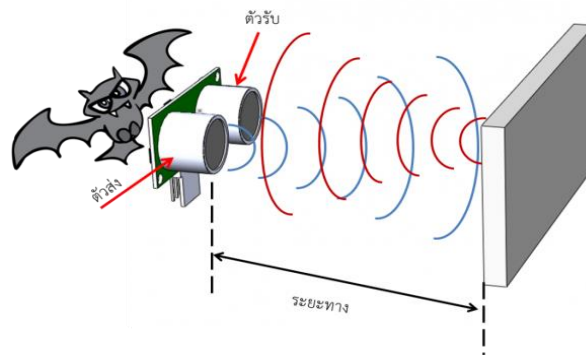
HC-SR04 เป็นเซนเซอร์โมดูลสำหรับตรวจจับวัตถุ และวัดระยะทางแบบไม่สัมผัส โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งจะเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงเกินกว่าการได้ยินของมนุษย์ วัดระยะได้ตั้งแต่ 2 – 400 cm หรือเท่ากับ 1 – 156 นิ้ว สามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ หรืองานด้านหุ่นยนต์ หลักการทำงาน จะเหมือนกันกับการตรวจจับวัตถุด้วยเสียงของคางคาว ดังแสดงในรูปที่ 2.25 [9] โดยจะประกอบไปด้วยตัวรับ-ส่ง อัลตราโซนิก ตัวส่งจะส่งคลื่นความถี่ 40 KHz ออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 346 m/s และตัวรับจะคอยรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุ เมื่อทราบความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น , เวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับ (t) ก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางของวัตถุ (S) ได้จากสมการที่ 2.5 [9]

$$s = 346 \times 0.5t \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



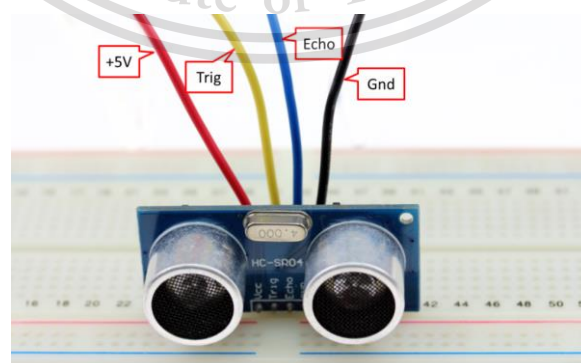
รูปที่ 2.25 หลักการตรวจจับและวัดระยะห่างระหว่างวัตถุด้วยคลื่นเสียง [9]

เพื่อให้การคำนวณหาระยะเป็นไปด้วยความง่าย โมดูลเซนเซอร์นี้จึงได้ประมวลผลให้เรียบร้อย และส่งผลลัพธ์ของการคำนวณเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างสัมพันธ์กับระยะทางที่วัดได้

โมดูลนี้มีจุดต่อใช้งานทั้งหมด 4 จุด การใช้งานบอร์ด STM32F4DISCOVERY การทดลองในเบื้องต้นสามารถต่อวงจรอย่างง่ายได้ โดยใช้โปรโตบอร์ดและสายไฟต่อวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.26 [10] ทั้งนี้ต้องตรวจสอบคุณสมบัติของพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์จากตาต้าซีที ว่าสามารถทนระดับแรงดันลอจิก High (5V) ได้ [10]

โดยคุณลักษณะของแต่ละขามีดังนี้

- 1.ขา VCC สำหรับต่อแรงดันไฟเลี้ยงไม่เกิน 5 V
- 2.ขา Trig เป็นขาอินพุตรับสัญญาณพัลส์ความกว้าง 10 ms เพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นอัลตราโซนิก ที่มีความถี่ 40 KHz ออกสู่อากาศจากตัวส่ง
- 3.ขา Echo เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจากโมดูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อตรวจจับความกว้างของสัญญาณพัลส์และคำนวณเป็นระยะทาง
- 4.ขา GND สำหรับต่อกจุดกราวด์ร่วมแรงดันและสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัย การใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่นโดยไม่ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

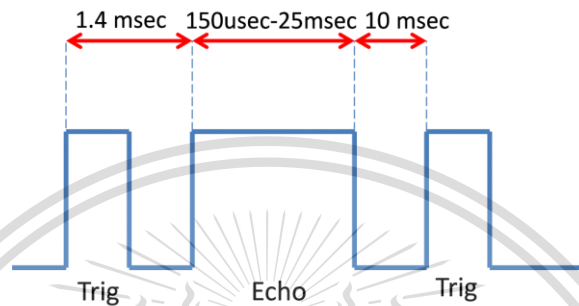
รูปที่ 2.26 การต่อใช้งานโมดูลอัลตราโซนิก HC-SR04

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตามคุณลักษณะของเซนเซอร์ จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ความกว้างไม่น้อยกว่า 10 ms บ้อนเข้าที่ขา Trig หลังจากนั้นอีกประมาณ 1.4 m จึงจะเริ่มมีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้นที่ขา Echo มีความกว้างของสัญญาณตั้งแต่ 150 us – 25 ms ซึ่งถ้าหากกว้างกว่านี้จะถือว่าตรวจไม่พบวัตถุ หลังจากนั้นควรหน่วงเวลาออกไปอีก 10 ms จึงจะส่งสัญญาณ Trig ออกไปอีกรอบ ตามแสดงดังรูปที่ 2.27 [10]



รูปที่ 2.27 สัญญาณที่ขา Trig และขา Echo ของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04

การตรวจจับความกว้างของสัญญาณใช้โมดูล PWM Capture ซึ่งให้เอาต์พุตออกมาเป็นเวลาในหน่วยวินาที และใช้สมการที่ 2.6 หรือ 2.7 เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างวัตถุที่ตรวจพบ [10]

$$\text{ระยะทาง (cm)} = \text{ความกว้างของสัญญาณ} \times \text{Echo} \times \frac{10^6}{58} \quad (2.6)$$

$$\text{ระยะทาง (cm)} = \text{ความกว้างของสัญญาณ} \times \text{Echo} \times \frac{10^6}{148} \quad (2.7)$$

2.3.5.3 การวัดค่าแบตเตอรี่ด้วยเซนเซอร์โวลต์เตจ

Voltage Sensor เป็นโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นได้ง่ายๆจากหลักการ Voltage Divider แสดงดังรูปที่ 2.28 เป็นการแบ่งแรงดันสูงให้เหลือแรงดันต่ำ เพื่อที่จะสามารถต่อเข้ากับบอร์ด Arduino ได้ โดยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า จะเป็นการวัดแรงดันไม่เกิน 25 V สามารถแบ่งแรงดันให้ลงมาเหลือไม่เกิน 5 V เพื่อต่อเข้ากับบอร์ด Arduino ซึ่งหากต้องการแรงดันมากกว่านี้ก็สามารถสร้างอุปกรณ์โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน แสดงดังรูปที่ 2.29 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.28 เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor)



รูปที่ 2.29 วงจรแบ่งแรงดัน

สามารถคำนวณหาค่าตัวต้านทานที่จะใช้ได้ตามสมการที่ 2.8

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} \quad (2.8)$$

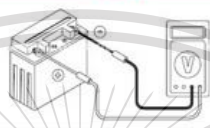
ในการวัดค่าแบตเตอรี่จะใช้ Voltage Sensor นี้คอยวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ว่าแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่เท่าไร ซึ่งจะสามารถบอกพลังงานที่แบตเตอรี่มีอยู่ได้ โดยความสัมพันธ์พลังงานแบตเตอรี่กับช่วงขนาดแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.30 [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริมาณ	แบตเตอรี่12โวลท์	แบตเตอรี่24โวลท์
100%	12.73	25.46
90%	12.62	25.24
80%	12.50	25.00
70%	12.37	24.74
60%	12.24	24.48
50%	12.10	24.20
40%	11.96	23.92
30%	11.81	23.62
20%	11.66	23.32
10%	11.51	23.02



รูปที่ 2.30 ความสัมพันธ์ของพลังงานแบตเตอรี่กับช่วงขนาดแรงดันไฟฟ้า

2.4 ระบบการสื่อสาร

2.4.1 เครือข่ายอวกาศห้วงลึก (Deep Space Network)

DSN คือ Array ของจานรับสัญญาณดาวเทียมขนาดใหญ่ของ NASA ใช้สำหรับสื่อสาร (ฟังสัญญาณ) ระยะไกลกับยานอวกาศที่อยู่ในอวกาศห้วงลึก DSN เป็นหน่วยงานย่อยของ Jet Propulsion Laboratory หรือ JPL สถานีจานรับสัญญาณดาวเทียมมีอยู่ 3 แห่งบนโลกแต่ละสถานีดูแลผ่านฟ้า 120 °C ครอบคลุมทั่วโลก ตั้งอยู่ที่สหรัฐอเมริกา สเปน และออสเตรเลีย เพื่อให้สามารถสื่อสารกับยานอวกาศได้ตลอดเวลา แม้ว่าโลกจะหมุนตัวไปก็ตาม แต่ละสถานีจะตั้งอยู่ในพื้นที่โล่ง ที่มีภูเขาล้อมรอบเพื่อเอาไว้ป้องกันสัญญาณรบกวนภายนอก โดยการทำหน้าที่สื่อสารกับยานอวกาศที่ไกลจะยิ่งจำเป็นต้องใช้จานที่ใหญ่ขึ้นเพื่อรับสัญญาณที่เข้มข้น โดยจานที่ใหญ่ที่สุดคือ GDSCC คือจานแบบ Cassegrain ขนาด 70 m โดยสัญญาณที่ใช้สื่อสารกับยานอยู่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟซึ่งมีอยู่ 3 ย่าน ก็คือ S band (2.29 – 2.39 GHz) X band (8.40 – 8.50 GHz) และ Ka band (31.8 – 32.3 GHz) โดยจานดาวเทียมส่วนใหญ่เป็นแบบ Beam Waveguide antenna (BWG) ไม่ใช่หลักการ Low-noise block (LNB) แบบในจานดาวเทียมที่เราใช้ในการรับสัญญาณดาวเทียม LNB ก็คือส่วนที่ยื่นออกมาจากจานดาวเทียมตรงตำแหน่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลา กล่าวคือไม่ว่าสัญญาณจะกระทบที่ส่วนไหนของจานรับสัญญาณ มันก็จะสะท้อนมาที่ LNB เพื่อเพิ่ม Signal to Noise Ratio (SNR) ลดสัญญาณรบกวนเพิ่มความเข้มสัญญาณที่รับได้จากยาน แสดงดังรูปที่ 2.31 [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

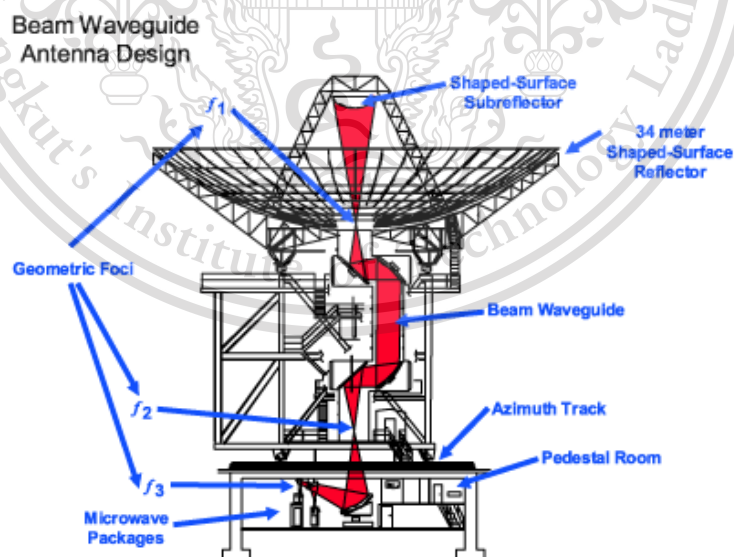
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.31 LNB

แต่ที่จานดาวเทียมขนาดใหญ่อย่างที่ใช้ใน DSN ไม่สามารถใช้ LNB ได้ในทางปฏิบัติ เพราะว่า Receiver ในจานดาวเทียม เป็น Microwave Beam Receiver ที่มีค่าความไวต่อสัญญาณสูงมาก เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากอวกาศมีค่าที่อ่อนมาก เพราะฉะนั้นจะต้องมีระบบหล่อเย็น เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากตัวมันเอง ซึ่งในทางปฏิบัติ ถ้าใช้ LNB แบบปกติจะไม่สามารถทำได้จริง ๆ เลยมีการคิดค้น BWG ขึ้นมา หลักการง่าย ๆ คือแทนที่จะใช้ LNB เป็นจุดรวมโฟกัสจะใช้แผ่นสะท้อนสัญญาณที่สามารถเคลื่อนไหวได้วางอยู่ในโครงสร้างของจาน เพื่อสะท้อนสัญญาณไปได้ทุกมุมของการหมุนในแกนไหนก็ตามแสดงดังรูปที่ 2.32 [13]



รูปที่ 2.32 Beam Waveguide Antenna Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่ตัวฐานจะมีตัวรับสัญญาณ Microwave ทำให้ทำ Maintenance ตัว Receiver ง่ายขึ้นกว่าการใช้ LNB ที่จะต้องขึ้นไปปรับที่หน้าจาน โดยคลื่นความถี่ที่ใช้ในการกิจสำรวจดาว อังคาร จะอยู่ในย่าน X band ที่ความถี่ 7 – 8 GHz โดยจะยิงบีมไปยังยานอวกาศ (Spacecraft) ที่ โคจรอยู่รอบดาวอังคารโดยตรง และทำการขยายสัญญาณก่อน หลังจากนั้นจึงสวิตซ์สัญญาณไปอยู่ ในย่านความถี่ UHF ที่ช่วงความถี่ประมาณ 400 MHz เพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่าง ยานอวกาศและ โรเวอร์

2.4.2 ระบบสื่อสารของโรเวอร์

บนโรเวอร์นั้นจะมีอุปกรณ์สื่อสารทั้งหมด 3 เสาอากาศคือ Ultra-High Frequency Antenna, X-band High-Gain Antenna และ X-band Low-Gain Antenna เนื่องจากการมีเสา อากาศทั้งสามย่านช่วยในเรื่องให้ความยืดหยุ่นในการสื่อสาร และใช้เป็นตัวเลือกสำรองในกรณีที่ วิธีการสื่อสารหลักไม่สามารถติดต่อได้ โดยแต่ละเสามีหน้าที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

2.4.2.1 Ultra-High Frequency Antenna

เสาอากาศนี้จะใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างโรเวอร์และยานอวกาศที่โคจรอยู่ รอบดาวอังคารจะใช้ความถี่ในย่านนี้ เพราะระยะโคจรของยานอวกาศจะอยู่ในช่วง 257 Km ถึง 400 Km ห่างจากพื้นผิวดาวอังคาร หลังจากนั้นเมื่อตัวยานอวกาศได้รับสัญญาณ โรเวอร์จะ ทำหน้าที่เป็นตัวรีเลย์ขยาย และถ่ายทอดสัญญาณจากความถี่ย่าน UHF ไปเป็น X-band กลับมายัง ที่ DSN เพื่อนำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป โดยปกติทั่วไปแล้วจะใช้เวลาในการส่ง 1 ครั้งประมาณ 5 ถึง 20 นาที ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างโลกและดาวอังคารในตอนนั้นซึ่งการส่งข้อมูลผ่านรีเลย์จะ เป็นวิธีการสื่อสารหลัก เนื่องจากตัวยานอวกาศจะอยู่ใกล้สถานีมากกว่าโรเวอร์ โดยจะมีอัตราส่ง ข้อมูลที่สูงอยู่ที่ 2 Mb/s โดยใน 1 วันโรเวอร์จะส่งข้อมูลหาเครือข่ายยานอวกาศที่โคจรอยู่รอบดาว อังคารอย่างต่ำ 2 ครั้งต่อวันแต่โดยปกติแล้วจะส่ง 4-6 ครั้งต่อวัน โดยวงโคจรจะอยู่เหนือ่านฟ้า ของโรเวอร์ เพื่อทำการสื่อสารโดยครั้งหนึ่งจะใช้เวลาโดยประมาณ 8 นาที โดยในช่วงเวลานั้นจะ สามารถส่งข้อมูลได้ระหว่าง 100-250 MB ซึ่งในจำนวน 250 MB นั้นจะใช้เวลาอีก 20 ชั่วโมงใน การส่งต่อไปยังโลก [13]

2.4.2.2 X-Band High-Gain Antenna

เสาอากาศนี้จะส่งสัญญาณที่มีทิศทางเฉพาะชี้ตรงมายังโลกใช้เป็นวิธีการ สื่อสารสำรองหากการสื่อสารหลักผ่านรีเลย์ไม่สามารถใช้งานได้ หรือใช้งานควบคู่กันโดยเสาอากาศนี้ จะมีความพิเศษที่จะสามารถปรับทิศทางได้เพื่อให้ชี้มายังทิศทางที่ถูกต้องไปหา DSN โดยที่จะไม่ ต้องขยับโรเวอร์เพื่อที่จะประหยัดพลังงานไปใช้ในส่วนอื่น โดยจะมีอัตราส่งข้อมูลอยู่ที่ 160 bits/s ไปยังโลก และส่งจากโลกมายังโรเวอร์ที่ 500 bits/s ณ ที่งานขนาด 34 m และมีอัตราส่งที่ 800 bits/s จากโลกและส่งจากโลกมายังโรเวอร์ 3000 bits/s ณ ที่งานขนาด 70 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แต่เนื่องจากดาวอังคารนั้นหมุนโคจรรอบตัวมันเองจึงทำให้บ่อยครั้งโรเวอร์จะไปอยู่คนละฝั่งที่จะสามารถติดต่อกับโลกได้จึงทำให้ใน 1 วัน จะสามารถติดต่อกับโลกโดยวิธีนี้ได้แค่ไม่กี่ชั่วโมงต่อวัน และเนื่องจากปัญหาด้านพลังงานที่จำกัดและภารกิจในส่วนอื่น ๆ ที่จะต้องทำ ในขณะที่การติดต่อสื่อสารผ่านยานอวกาศที่โคจรรอบดาวอังคารจะสามารถติดต่อกับโลกได้ถึง 16 ชั่วโมงต่อวัน [13]

2.4.2.3 X-Band Low-Gain Antenna

เสาอากาศนี้ใช้หน้าที่ในการรับข้อมูลเป็นหลัก สามารถรับข้อมูลได้รอบทิศทาง ลักษณะของเสาอากาศนี้มีคุณสมบัติเป็น Omni-Directional โดยจะมีอัตราส่งข้อมูลที่ต่ำไปยังโลกเพราะมันไม่จำเป็นจะต้องชี้ไปยังโลกเหมือน High-Gain Antenna และวิธีนี้ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารกับโรเวอร์โดยอัตราการรับข้อมูลจะอยู่ที่ 10 bits/s ที่งานขนาด 34 m และอัตรารับข้อมูลที่ 30 bits/s ที่งานขนาด 70 m [13]

2.4.3 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ

การเข้ารหัสช่องสัญญาณ เป็นการเข้ารหัสข้อมูลก่อนที่จะถูกมอดูเลตสัญญาณ เพื่อให้ข้อมูลที่ผู้รับได้รับ สามารถเชื่อถือได้ว่าถูกต้องโดยมีการเพิ่มส่วนซ้ำซ้อน (Redundancy) เข้าไปซึ่งข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสแล้ว หรือคำรหัส (Code word) จะมีความยาวมากกว่าข้อมูลเดิม[14]

2.4.3.1 การเข้ารหัสคอนโวลูชัน

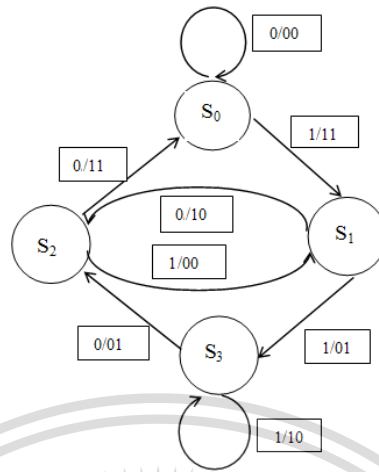
เป็นวิธีเข้ารหัสช่องสัญญาณวิธีหนึ่งที่เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการสื่อสารในอวกาศ เป็นรหัสเชิงเส้นที่สามารถแก้ไขความผิดพลาดได้เป็นอย่างดี คุณลักษณะของรหัสคอนโวลูชันมีคุณลักษณะเดียวที่เหมือนกับรหัสบล็อก คือเป็นรหัสเชิงเส้นเหมือนกัน แม้ว่าโครงสร้างจะต่างกัน โดยรหัสคอนโวลูชันเป็นรหัสเชิงเส้นที่มีข้อมูลขาเข้าได้พร้อมกันหลายตัว และข้อมูลขาออกพร้อมกันหลายตัว และเป็นระบบพลวัต ในขณะที่รหัสบล็อกเป็นรหัสเชิงเส้นที่มีโครงสร้างพีชคณิตความเป็นรหัสเชิงเส้นนี้เองเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการถอดรหัสได้

ความแตกต่างกันสำคัญของรหัสคอนโวลูชัน และรหัสบล็อก คือรหัสคอนโวลูชันเป็นรหัสที่มีความจำ ในขณะที่รหัสบล็อกเป็นรหัสที่ไม่มีความจำ เมื่อทำการเข้ารหัสผลลัพธ์จากการเข้ารหัสของคอนโวลูชันจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ขาเข้าและค่าที่อยู่ในหน่วยความจำขณะนั้นการที่เป็นรหัสที่มีความจำนั้นทำให้สามารถแสดงขั้นตอนเข้ารหัสได้ด้วยแผนภาพสถานะ (State Diagram) และแผนภาพเทรลลิส (Trellis Diagram) ดังรูปที่ 2.33 และ 2.34 ตามลำดับ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

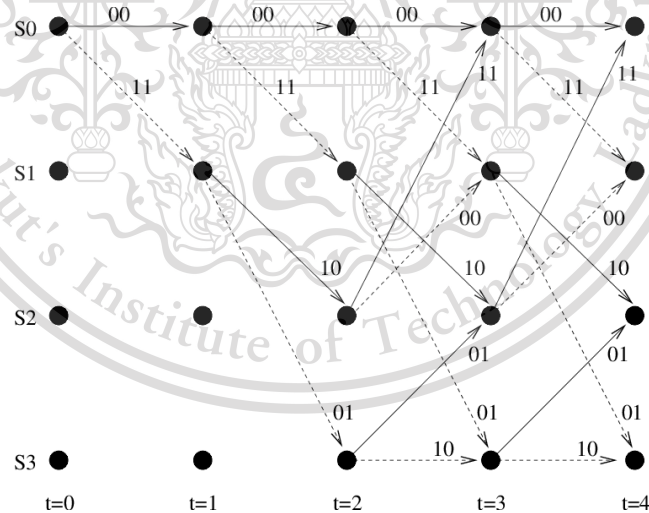
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.33 State diagram

State Diagram จะแสดงค่าของข้อมูลใน Shift Register และเอาต์พุตของตัวเข้ารหัส โดยสัญลักษณ์ในวงกลมจะแสดงถึงสถานะในปัจจุบัน โดยดูจากสภาวะต่าง ๆ ของข้อมูลที่เก็บไว้ใน Shift Register และข้อมูลในกล่องสี่เหลี่ยม คือการเปลี่ยนสถานะจะขึ้นอยู่กับค่าอินพุตที่เข้ามาทำให้สถานะใน Shift Register เปลี่ยนไป และเอาต์พุตที่ส่งออกไป ณ เวลานั้น ๆ เช่น จากสถานะ S_0 1/11 คือ มีอินพุตเข้ามาคือ 1 และเอาต์พุตออกไป 11 และสถานะจะกลายเป็น S_1



รูปที่ 2.34 Trellis Diagram [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

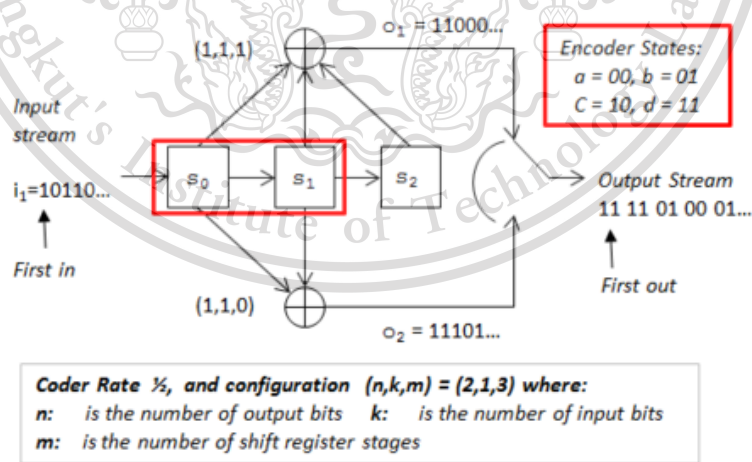
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การแสดงผลการทำงานของวงจรเข้ารหัสโดยใช้ Trellis Diagram นั้นจะเป็นการแสดงผลการทำงานของวงจรเข้ารหัสโดยใช้ State Diagram มาทำการแปลงรูปแบบให้อยู่ในอีกลักษณะหนึ่งซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่าง ๆ ภายในวงจรเข้ารหัส จากรูปที่ 2.30 จะเป็นการแสดงผลการทำงานของวงจรเข้ารหัสข้อมูลแบบคอนโวลูชัน จะแสดงให้เห็นถึงเส้นทางต่าง ๆ ที่จะเป็นไปได้ในการเปลี่ยนสถานะ โดยในสถานะในแต่ละตำแหน่งจะสามารถทำการเปลี่ยนไปเป็นสถานะอื่นได้แค่สองสถานะ ซึ่งแผนภาพนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูล ที่เข้ามาในแต่ละช่วงเวลา และเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้แผนภาพนี้จะมีประโยชน์ในการช่วยหาเส้นทางที่มีความถูกต้องที่สุดในวิธีการถอดรหัสแบบวิเทอร์บี ทำให้สามารถทำให้เห็นเส้นทางของการเปลี่ยนแปลงของสถานะทั้งหมด

รหัสคอนโวลูชันมักจะระบุในรูปของ (n, k, m) โดยที่ n, k และ m เป็นพารามิเตอร์ที่มีความหมายดังนี้

- n คือ จำนวนสัญลักษณ์ขาออกจากการป้อนข้อมูลเข้ามาทุก k สัญลักษณ์
- k คือ จำนวนสัญลักษณ์ข้อมูลที้นำไปเข้ารหัสแต่ละหน่วยเวลา
- m คือ จำนวนชุดของสัญลักษณ์ข้อมูลทีเข้ามาในอดีตที่ใช้คำนวณผลลัพธ์แต่ละตัวบางครั้งเรียกว่าขนาดของความจำ
- $m \cdot k$ คือ จำนวนหน่วยความจำทั้งหมดที่ใช้ในวงจรเข้ารหัส
- k/n คือ อัตรารหัส (code rate)

และสามารถนำมาเขียนแทนได้ดังตัวอย่างดัง รูปที่ 2.35 [14]



รูปที่ 2.35 วงจรการเข้ารหัสคอนโวลูชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รหัสคอนโวลูชันนั้นสามารถระบุด้วยอัตรารหัส k/n และความยาวบังคับ (Constraint length : v) โดยความยาวบังคับ คือ ความลึก (dept) ของข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณผลลัพธ์อาจมองเป็นหน่วยความจำทั้งหมด หรือจำนวนชุดสัญลักษณ์ข้อมูล $m+1$ ถ้าใช้รหัสที่มีหน่วยความจำมาก คำรหัสจะขึ้นอยู่กับสัญลักษณ์ข้อมูลขาเข้าในปัจจุบัน และสัญลักษณ์ขาเข้าในอดีตที่ยาวขึ้น

การทำงานของวงจรเข้ารหัสคอนโวลูชัน จากรูปที่ 2.35 จะเป็นวงจรเข้ารหัสเข้ามาภายในวงจรครั้งละ 1 บิตไปที่ Shift Register จากนั้นจะนำค่าทั้งหมดที่อยู่ใน Shift Register มาคำนวณหาคำรหัสซึ่งการคำนวณจะได้มาจากการนำข้อมูลที่เลือกจาก Shift Register ตามชุดสัญลักษณ์ต้นกำเนิดที่ได้เลือกไว้ จะได้ตามสมการที่ 2.9 และ 2.10 [14]

แล้วนำค่าที่อยู่ในหน่วยความจำมาทำการ XOR จะได้คำรหัส v_1 ตามด้วย v_2 ที่มีจำนวนบิตที่เพิ่มขึ้น แล้วเลื่อนบิตถัดไปเข้ามาในวงจรทำซ้ำจนครบทุกบิตและส่งต่อออกไปในช่องสัญญาณและนำไปถอดรหัสต่อไป [14]

$$g_1(x) = x^2 + x + 1 \quad (2.9)$$

$$g_2(x) = x + 1 \quad (2.10)$$

แล้วนำค่าที่อยู่ในหน่วยความจำมาทำการ XOR จะได้คำรหัส v_1 ตามด้วย v_2 ที่มีจำนวนบิตที่เพิ่มขึ้น แล้วเลื่อนบิตถัดไปเข้ามาในวงจรทำซ้ำจนครบทุกบิต จากนั้นส่งต่อออกไปในช่องสัญญาณ และนำไปถอดรหัสต่อไป [14]

2.4.3.2 การถอดรหัสคอนโวลูชันด้วยวิธีวิเทอร์บี

การถอดรหัสคอนโวลูชันด้วยวิธีวิเทอร์บี เป็นการถอดรหัสที่เหมาะสมที่สุด และเป็นการถอดรหัสที่นำไปใช้ในมาตรฐาน เช่น ใช้เป็นหนึ่งในมาตรฐานขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration) หรือ นาซา (NASA) สำหรับการสื่อสารอวกาศห้วงลึก ซึ่งการถอดรหัสแบบวิเทอร์บีจะสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบใหญ่ๆ คือการถอดรหัสแบบวิเทอร์บีแบบฮาร์ดและแบบซอฟต์แวร์ [15]

การถอดรหัสแบบฮาร์ดเป็นการถอดรหัสวิเทอร์บีแบบง่ายที่สุด โดยคำนวณค่าควรจะเป็นจากระยะแสมมิงที่ต่างกันในแต่ละกิ่งของแผนภาพเทอร์ลิสกับค่าลำดับข้อมูลที่ได้รับ (Received sequence) ในตำแหน่งนั้นโดยเส้นทางที่ระยะแสมมิงรวมน้อยที่สุดจะเป็นผลลัพธ์

การถอดรหัสวิเทอร์บีแบบซอฟต์แวร์จะช่วยแก้ไขความผิดพลาดได้มากกว่าการถอดรหัสแบบฮาร์ด เนื่องจากมีข้อมูลมากกว่าแบบฮาร์ดที่สูญเสียข้อมูลบางส่วนไปในขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัดสินใจว่าค่าบิตแต่ละตำแหน่งควรเป็นค่าใด ภาษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิเทอร์บี อัลกอริทึม (Viterbi algorithm) ในการทำงานต่าง ๆ นั้นจะต้องมีการคำนวณหาความแตกต่าง ระหว่างข้อมูลที่ได้รับเข้ามาและค่าที่อยู่ในเส้นทางต่าง ๆ เพื่อใช้ในกระบวนการตัดสินใจ โดยกระบวนการที่ใช้ในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดนั้น จะใช้วิธีการทำงานที่มีชื่อว่า วิเทอร์บี อัลกอริทึม ซึ่งจะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางที่อยู่ในแผนภาพเทรลลิส ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้รับ ได้มากที่สุดเพื่อที่จะนำข้อมูลในเส้นทางนั้นมาคำนวณหาค่าของข้อมูลที่ถูส่งมา โดยที่ในกระบวนการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ วิเทอร์บี อัลกอริทึม นั้นจะมีขั้นตอนในการทำงานดังต่อไปนี้ [15]

1) ทำการวาดแผนภาพเทรลลิส ที่มีสร้างมาจากวงจรการเข้ารหัสจะเริ่มพิจารณาจากสถานะแรกเริ่มเสมอและหลังจากนั้นจะพิจารณาเส้นทางที่เป็นไปได้ โดยจะพิจารณาเส้นทางที่ สถานะสุดท้ายวนกลับมายังสถานะเดิมเท่านั้น และค่าสถานะในวงจรจะต้องเป็น 0 ทั้งหมด

2) กำหนดค่าตัวแปรที่ใช้เก็บค่าของระยะแอมมิงของแต่ละเส้นทางโดยจะเริ่มต้นที่สถานะ 0 ทั้งหมดให้มีค่าเท่ากับ 0

3) คำนวณค่าระยะแอมมิงในแต่ละเส้นทางของแผนภาพเทรลลิส กับค่าลำดับข้อมูลที่รับนำมาเก็บไว้ในตัวแปรของแต่ละเส้นทาง

4) นำค่าที่คำนวณได้ไปบวกกับค่าตัวแปรเริ่มต้นเก็บไว้ในสถานะถัดไปบนเส้นทางของตัวเองเพื่อทำการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนแปลงสถานะไปยังสถานะต่อไป

5) ทำการเลือกสถานะที่มีค่าที่สะสมในตัวแปรที่มีค่าน้อยเป็นตัวเลือกในการพิจารณาในการเปลี่ยนสถานะต่อไป และตัดเส้นทางที่มีค่าที่สะสมในตัวแปรมากกว่าทิ้งไป

6) เมื่อทำการวิเคราะห์จนครบทุกบิตจะได้เส้นทางที่ใกล้เคียงข้อมูลที่รับมากที่สุด ซึ่งเส้นทางนั้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาข้อมูลข่าวสารที่ถูส่งมาต่อไป

2.4.4 แพคเกจที่ใช้ในการสื่อสารในอวกาศ

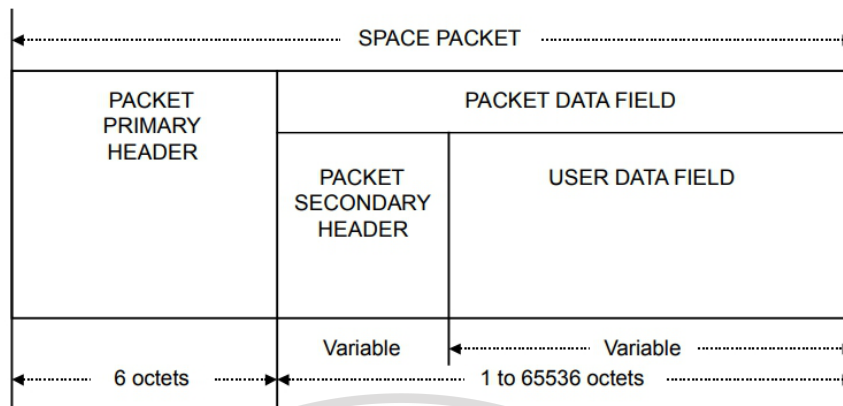
แพคเกจที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในอวกาศในตอนนี้จะใช้เป็นมาตรฐานในการสื่อสารในอวกาศ แพคเกจนี้ได้ถูกสร้างโดย Packet Service users โดยแพคเกจจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ 1 Packet Primary Header จะประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งหมด 6 octets 2 Packet Data Field ประกอบไปด้วยข้อมูล 1 ถึง 65536 octets สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.32 แพคเกจที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในอวกาศในตอนนี้จะใช้เป็นมาตรฐานในการสื่อสารในอวกาศ แพคเกจนี้ได้ถูกสร้างโดย Packet Service users โดยแพคเกจจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ 1 Packet Primary Header จะประกอบไปด้วยข้อมูลทั้งหมด 6 octets 2 Packet Data Field ประกอบไปด้วยข้อมูล 1 ถึง 65536 octets สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรสายวิชาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

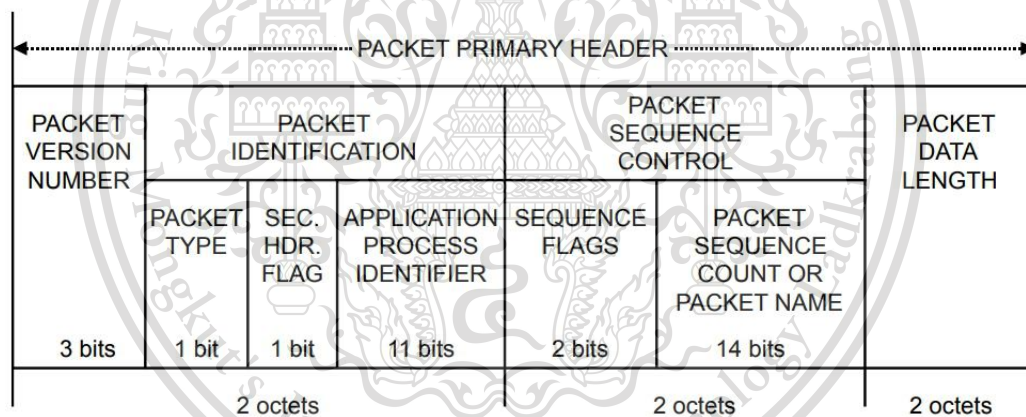


รูปที่ 2.36 Space Packet Structural Components

2.4.4.1 Packet Primary Header

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญ ประกอบไปด้วย 4 ส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.37

ดังนี้ [16]



รูปที่ 2.37 Packet Primary Header

1) Packet Version Number (3 bits)

เป็นส่วนที่ใช้ในการบอกเวอร์ชันของข้อมูล โดยจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 0-2 โดยค่าที่แนะนำจะให้ตั้งเป็น '000'

2) Packet Identification Field (13 bits)

เป็นส่วนที่บ่งบอกลักษณะจำเพาะของข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1) Packet Type

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 3 คอยบอกชนิดของข้อมูลว่าเป็นข้อมูลชนิดไหน ระหว่างเป็นข้อมูลที่เป็น Telemetry หรือ Telecommand

2.2) Secondary Header Flag

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 4 จะใช้ในการบ่งบอกว่ามี Secondary Header หรือไม่

2.3) Application Process Identifier

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 5-15 จะเป็นตัวที่บ่งบอกความจำเพาะของข้อมูล โดยจะมีการตั้งขึ้นมาให้ไม่ซ้ำกันจะมีค่าที่ จำเพาะของแต่ละยานอวกาศนั้น ๆ ขึ้นอยู่กับองค์กรจะเป็นคนจัดสรร

3) Packet Sequence Control Field (16 bits)

เป็นส่วนที่ใช้ในการจัดสรรข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย

3.1) Sequence Flags

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 16-17 ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่ได้บังคับจะบ่งบอกถึงตำแหน่งของข้อมูลผู้ใช้งานว่าอยู่ในส่วนไหนจะทำให้สามารถชี้ไปที่ส่วนนั้นส่วนใหญ่ใช้กับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

3.2) Packet Sequence Count or Packet Name

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 18-31 โคนส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนของ Packet Type ถ้าหากเป็น Telemetry จะเป็น Packet Sequence Count คอยลำดับแพคเกจข้อมูล ถ้าหากเป็น Telecommand จะเป็น Packet Name ชื่อของข้อมูลหรือคำสั่งนั้น ๆ

4) Packet Data Length (16 bits)

ข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่ง bits ที่ 32-47 มีหน้าที่บอกขนาดของข้อมูลในส่วนของ Packet Data Field อยู่ในรูปของ octets

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

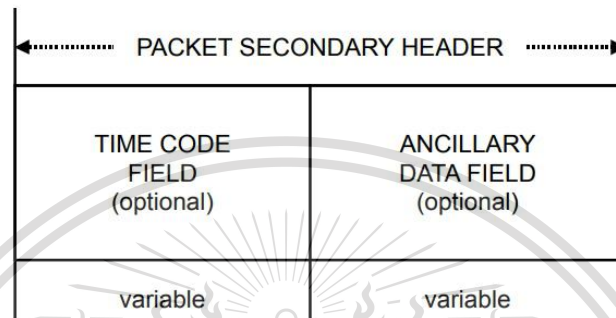
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.4.2 Packet Data Field

1) Packet Secondary Header

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่ได้บังคับจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย ดังรูป 2.38 [16]



รูปที่ 2.38 Packet Secondary Header

1.1) Time Code Field

ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นส่วน ที่ใช้บ่งบอกถึงวันและเวลา หรืออาจเป็นความละเอียดของรูปภาพ หรือตำแหน่งของยานอวกาศ ณ ขณะนั้น สามารถปรับได้ตามต้องการ

1.2) Ancillary Data Field

ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมที่เอาไว้ใช้ในการตีความข้อมูล หรือเพื่อจำเพาะชื่อภารกิจที่เฉพาะเจาะจง

2) User Data Field

ส่วนของข้อมูลทั้งหมดที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อในอนาคต เช่น รูปภาพ ค่าสถานะทางชีวภาพต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

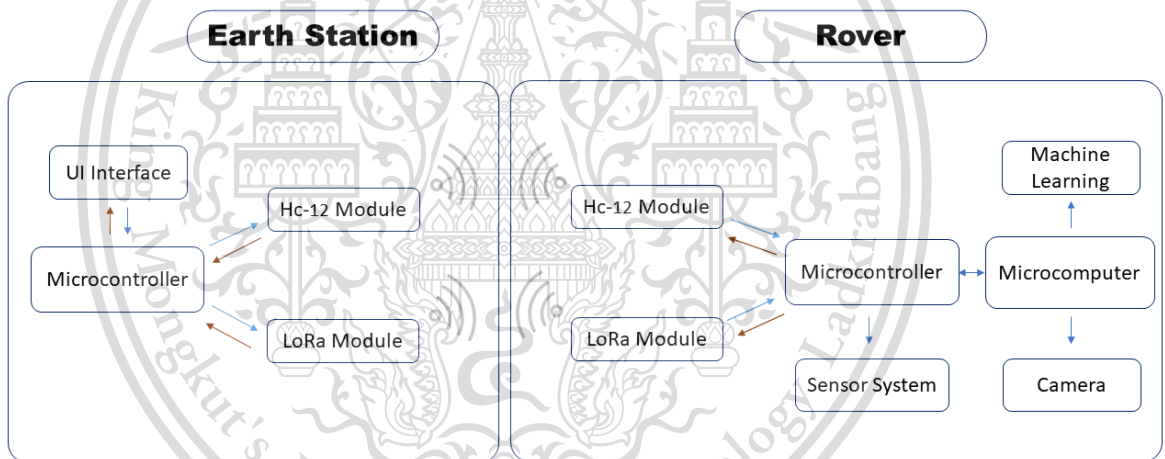
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

แบบจำลองการสื่อสารของโรเวอร์ที่ใช้ในการสำรวจในอวกาศ จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกคือสถานีภาคพื้นดินที่มีหน้าที่ออกคำสั่งเพื่อควบคุมโรเวอร์ให้ปฏิบัติภารกิจต่างๆ เช่นทำการสำรวจเส้นทาง รวมถึงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น โดยสถานีภาคพื้นดินจะถูกควบคุมสั่งการผ่านหน้าจอ(UI) ที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนที่สองคือ โรเวอร์จะทำการปฏิบัติตามชุดคำสั่งที่ได้รับ โดยโรเวอร์จะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยจะมีการใช้แมชชีนเลิร์นนิงเพื่อให้โรเวอร์มีความฉลาดมากขึ้น โดยระบบมีบล็อกไดอะแกรม แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบแบบจำลองการสื่อสารของโรเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การออกแบบการทำงานของโรเวอร์

แผนผังการทำงานของโรเวอร์แสดงดังรูปที่ 3.2 การทำงานของโรเวอร์จะเริ่มจากโรเวอร์จะทำการตรวจสอบวัตถุ เพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุที่ต้องการจับพร้อมวัดระยะห่างของวัตถุที่สนใจโดยใช้ร่วมกับอัลตราโซนิกถ้าตรวจจับวัตถุได้ในระยะน้อยกว่า 3 m จะทำการหยุดระบบขับเคลื่อนและส่งระบบแจ้งเตือนกลับสถานีภาคพื้นดิน ในระยะที่มากกว่า 3 m โรเวอร์จะทำการรอรับคำสั่งจากสถานีภาคพื้นดินเพื่อปฏิบัติภารกิจที่ได้รับพร้อมทั้งทำการตรวจเช็คว่าเป็นคำสั่งที่ถูกออกแบบไว้หรือไม่ ในส่วนของการส่งรูปภาพโรเวอร์จะใช้ย่านความถี่ 433 MHz พร้อมทั้งหยุดระบบขับเคลื่อน เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะต้องใช้เวลาหลายนาทีพร้อมทำการแบ่งข้อมูลก่อนส่ง

3.1.2.1 ออกแบบส่วนฐานของโรเวอร์

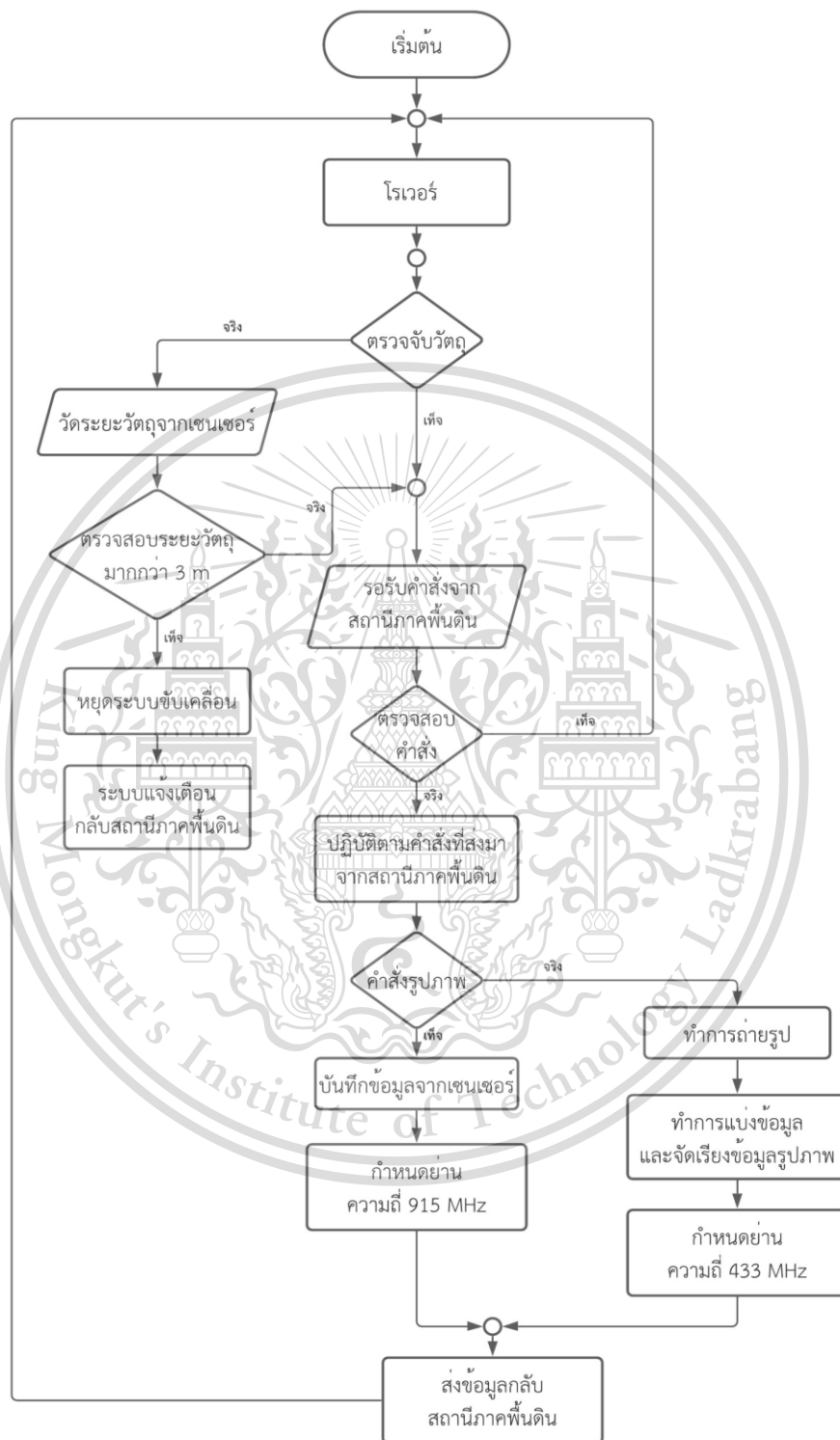
ในการออกแบบส่วนฐานของโรเวอร์ จะทำการออกแบบให้โรเวอร์มีรูปร่างคล้ายคลึงกับของจริง และมีความสามารถในการเคลื่อนที่ให้ใกล้เคียงที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.3 เช่นการเคลื่อนที่บนพื้นที่ผิวต่างระดับ แสดงดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

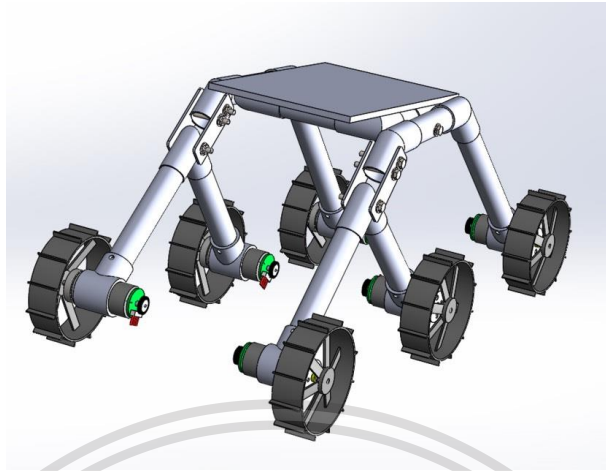
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



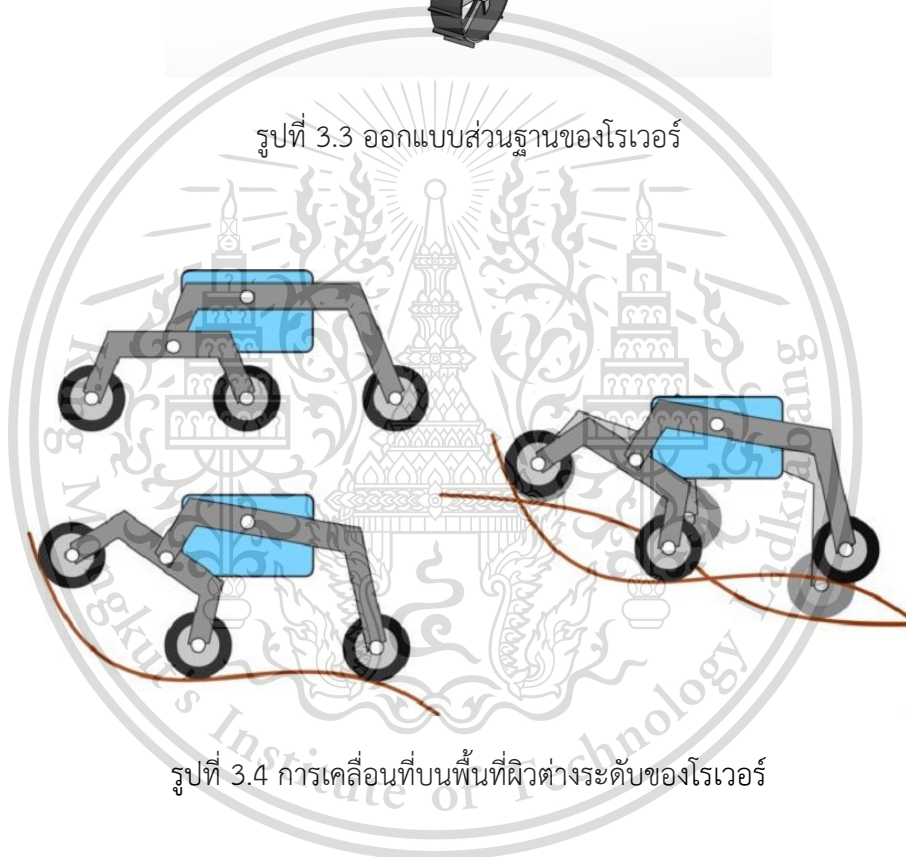
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโรเวอร์ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 ออกแบบส่วนฐานของโรเวอร์



รูปที่ 3.4 การเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่ผิวต่างระดับของโรเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.2 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์

อุปกรณ์ภายในส่วนบนของโรเวอร์ที่ออกแบบจะประกอบไปด้วย เซนเซอร์ต่างๆ ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ บอร์ด Arduino Mega 2560 Raspberry Pi 3 Model B แบตเตอรี่ กล้อง เสาส่งสัญญาณ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



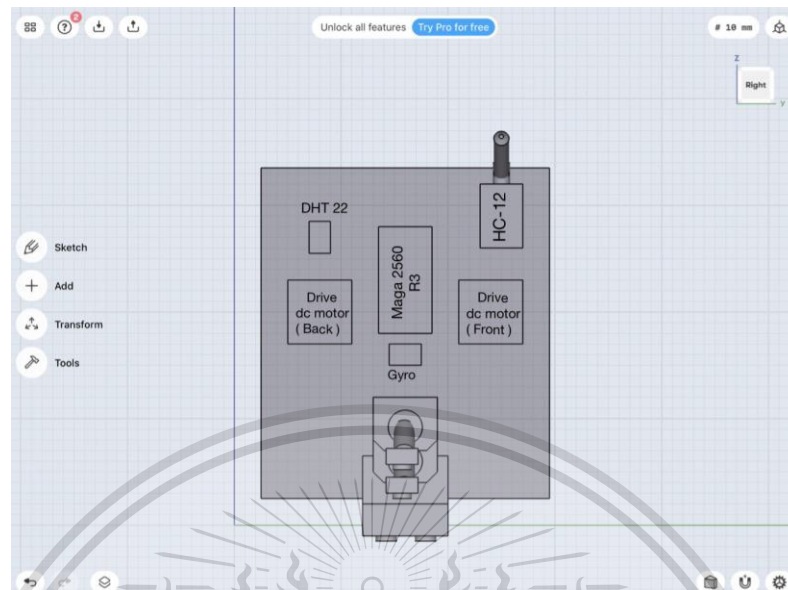
รูปที่ 3.5 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 1

รูปที่ 3.6 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 ออกแบบส่วนบนของโรเวอร์ในมุมมองที่ 3

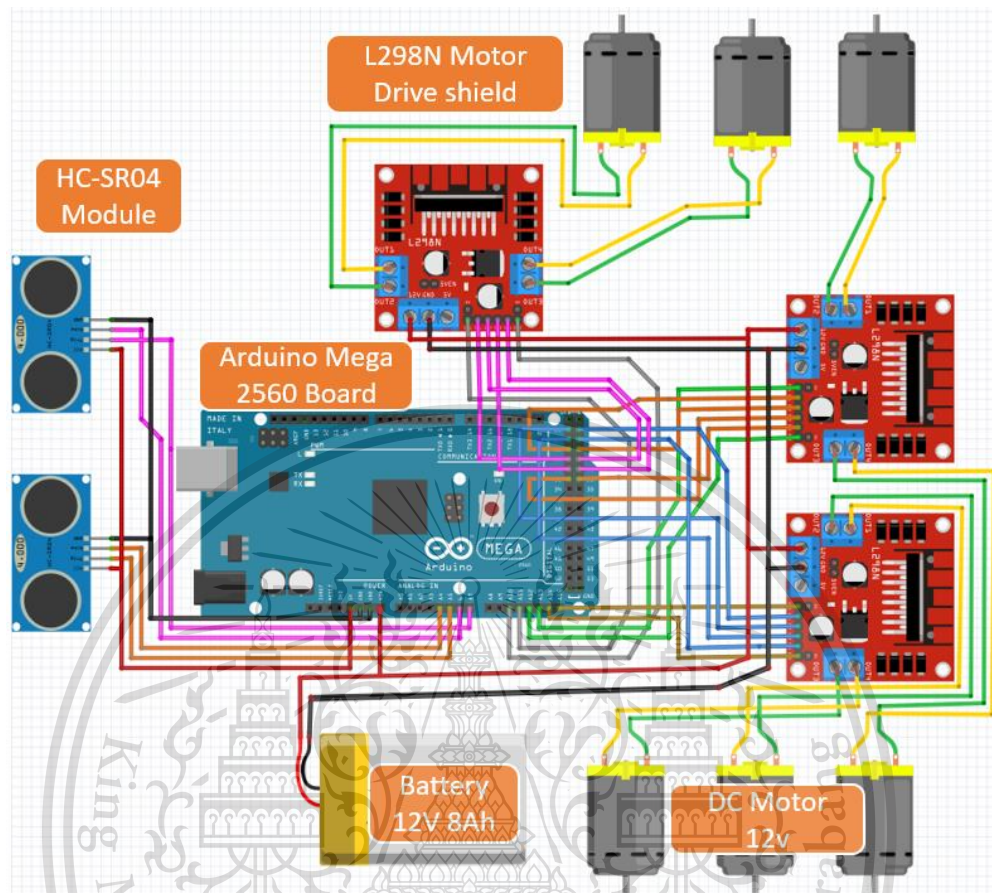
3.1.2.3 ออกแบบวงจรส่วนขับเคลื่อนของโรเวอร์

ในวงจรส่วนขับเคลื่อนของโรเวอร์จะประกอบไปด้วย บอร์ด Arduino Mega 2560 , L298N Motor Drive shield 3 ชุด, DC motor 12 V 6 ตัว และ แบตเตอรี่แห้ง 12 V ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 ออกแบบวงจรส่วนขับเคลื่อนของโรเวอร์

โดยจะมีการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันดังนี้

- 1) นำขา Out1, Out2, Out3, Out4, 12V, GND, ENA, IN1, IN2, IN3, IN4 และ ENB ของ L298N Motor Drive shield 3 ชุด มาต่อกับ บอร์ด Arduino Mega 2560 และ Dc motor 12 V 6 ตัว ตามลำดับ
- 2) นำขา 5 V, Trig, Echo และ Gnd ของ HC-SR04 module มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ตามลำดับ
- 3) นำขบวกและลบของ Battery มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 และ L298N Motor Drive shield 3 ชุด ตามลำดับ
- 4) นำขบวก และลบ ของ Battery มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 และ L298N Motor Drive shield 3 ชุด ตามลำดับ

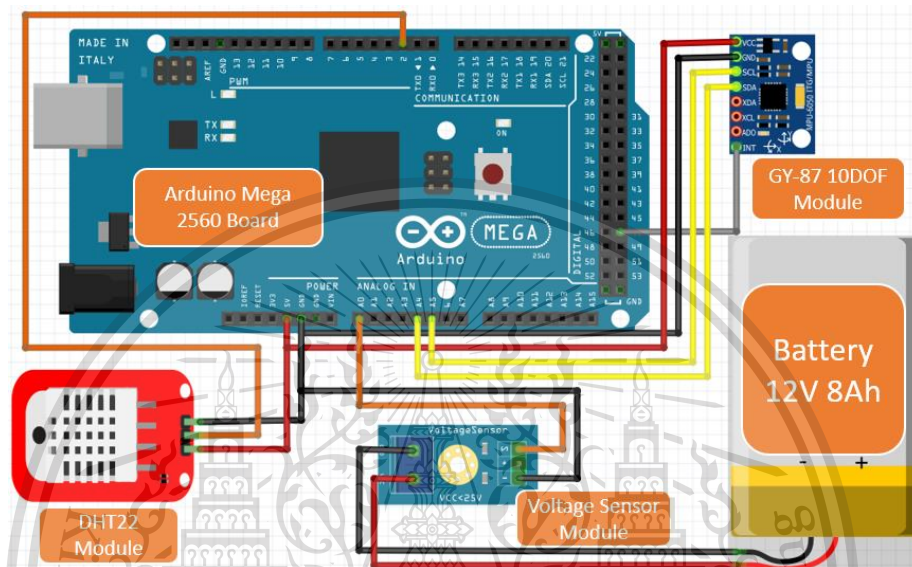
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.4 ออกแบบวงจรส่วนเซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลของโรเวอร์

ในวงจรส่วนเซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลของโรเวอร์จะประกอบไปด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560, DHT22 Module, GY-87 10DOF Module และ Voltage Sensor ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ออกแบบวงจรส่วนเซนเซอร์ของโรเวอร์

โดยจะมีการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันดังนี้

- 1) นำขา VCC,GND,SCL,SDA และ INT ของ GY-87 10DOF Module มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ตามลำดับ
- 2) นำขา VCC,GND,S และขาลบ ของ GY-87 10DOF Module มาต่อกับ บอร์ด Arduino Mega 2560 และ Battery 12 V ตามลำดับ
- 3) นำขา บวก,ลบ และ Out ของ DHT22 Module มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ตามลำดับ

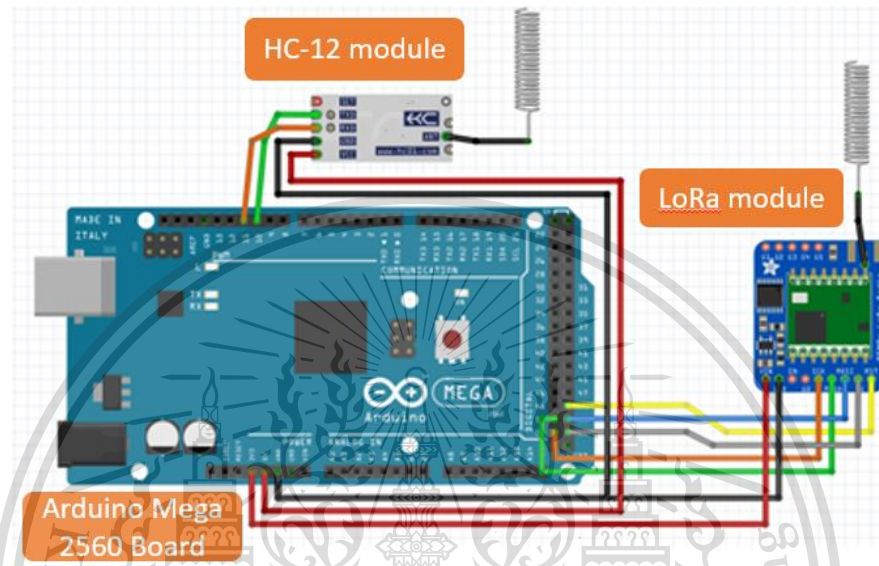
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.5 ออกแบบวงจรส่วนการสื่อสารของโรเวอร์

ในวงจรส่วนการสื่อสารของโรเวอร์จะประกอบไปด้วย บอร์ด Arduino Mega 2560, HC-12 module และ SX1276 LoRa module ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ออกแบบวงจรส่วนการสื่อสารของโรเวอร์

โดยจะมีการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันดังนี้

- 1) นำขา VIN, GND, SCK, MISO, MOSI, CS และ RST ของ LoRa module มาต่อกับ บอร์ด Arduino Mega 2560 ตามลำดับ
- 2) นำขา VCC, GND, ANT, TXD และ RXD ของ HC-12 module มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 และเสา Antenna ตามลำดับ

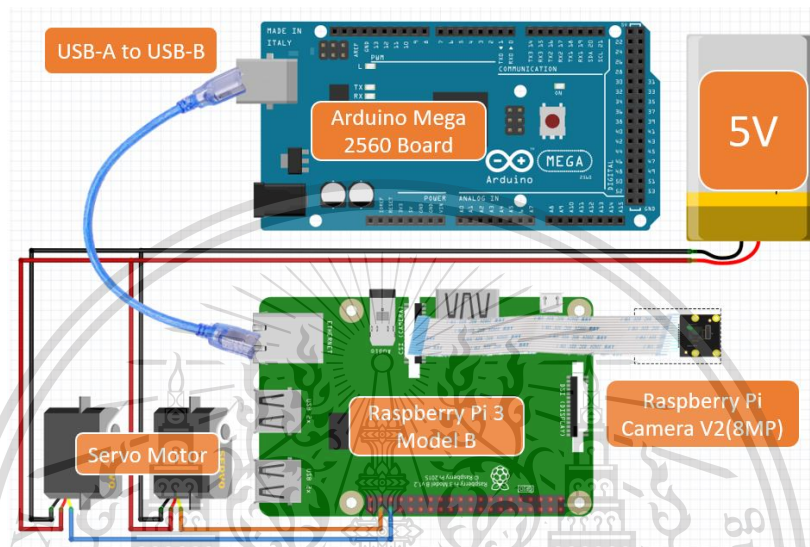
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.6 ออกแบบวงจรส่วนการถ่ายภาพ และ Object Detection

ในวงจรส่วนการถ่ายภาพ และ Detection ของโรเวอร์จะประกอบไปด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560, Raspberry Pi 3 Model B, Servo Motor และ Raspberry Pi Camera V2(8MP) ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ออกแบบวงจรส่วนการถ่ายภาพ

โดยจะมีการต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันดังนี้

- 1) นำขา VCC, GND และ PWM ของ Servo motor 2 ตัว มาต่อกับบอร์ด Raspberry Pi 3 Model B และ Battery 12 V ที่แปลงแรงดันไฟฟ้าเป็น 5 V ตามลำดับ
- 2) นำสาย USB-A to USB-B มาต่อกับบอร์ด Arduino Mega 2560 และบอร์ด Raspberry Pi 3 Model B
- 3) นำ Raspberry Pi Camera V2(8MP) มาต่อกับบอร์ด Raspberry Pi 3 Model B

3.1.2.7 ออกแบบส่วนแหล่งพลังงาน

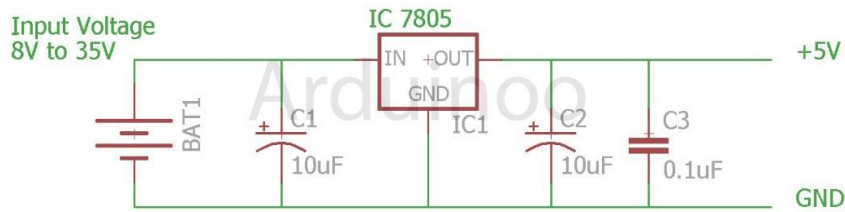
ในส่วนของการออกแบบส่วนพลังงานของโรเวอร์จะได้จากแบตเตอรี่แห่ง 12 โวลต์ โดยจะทำการแปลงแรงดัน 12 โวลต์เป็น 5 โวลต์และ 3.3 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงจ่ายไฟที่จ่ายให้กับบอร์ดควบคุมและเซนเซอร์ต่างๆ โดยจะใช้ไอซีเบอร์ 7805 ซึ่งเป็น Fixed Linear Voltage Regulator ที่ใช้ในการแปลงแรงดันเอาต์พุต 5 โวลต์ ซึ่งมี C1,C2 เป็น Electrolyte Capacitor และ C3 เป็น Ceramic Capacitor ทำหน้าที่กรองความถี่สูงในไฟกระแสตรง และช่วยทำให้วงจรเสถียรขึ้น ซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้เซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.12 และใช้ทรานซิสเตอร์ TIP42 มาใช้ในการขับกระแสให้กับบอร์ด Raspberry pi Model B ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

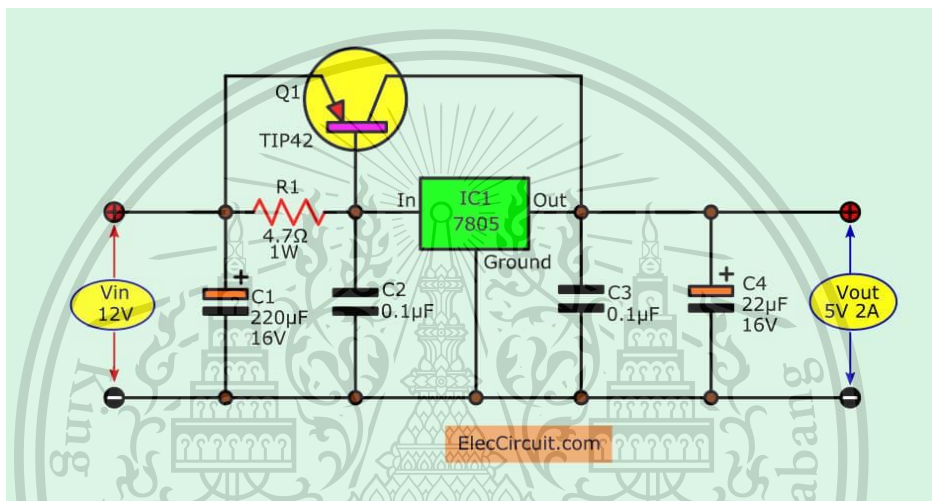
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

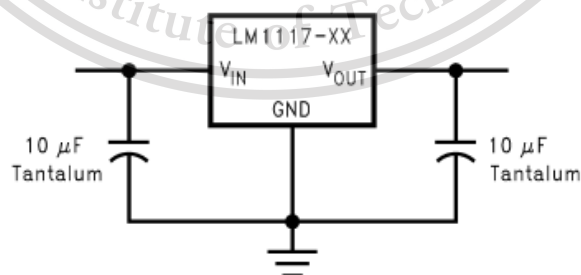


รูปที่ 3.12 วงจรแปลงแรงดันจาก 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์



รูปที่ 3.13 วงจรแปลงแรงดันที่เป็นแหล่งพลังงานให้บอร์ด Raspberry pi Model B

ในส่วนของการแปลงแรงดันจากแรงดันอินพุต 5 โวลต์ เป็น 3.3 โวลต์ให้กระแสเอาต์พุตสูงสุด 800 มิลลิแอมป์ ซึ่งจะใช้อิซี LM1117 เป็นไอซีเรกกูเลเตอร์ ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโมดูลสื่อสาร แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรแปลงแรงดันจาก 5 โวลต์เป็น 3.3 โวลต์

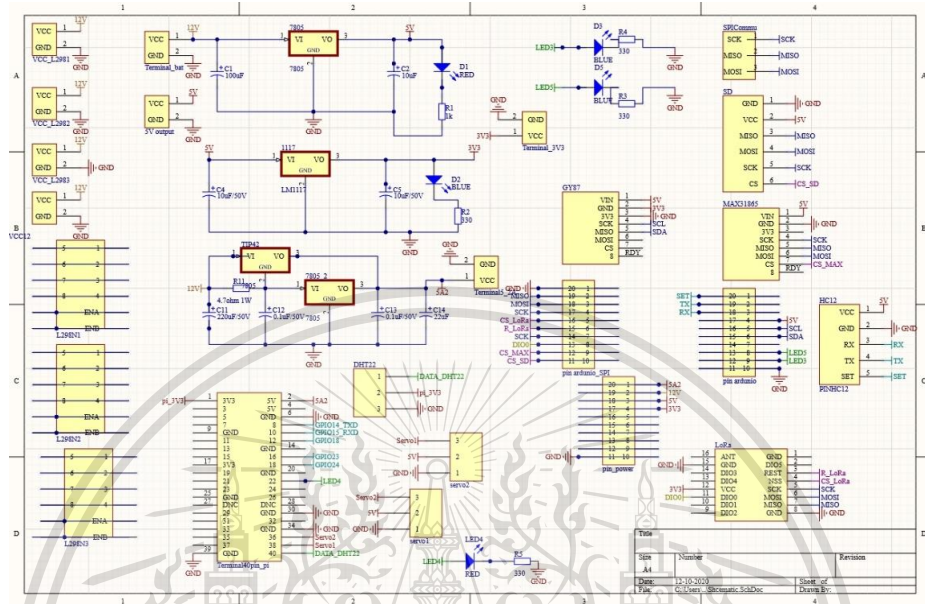
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

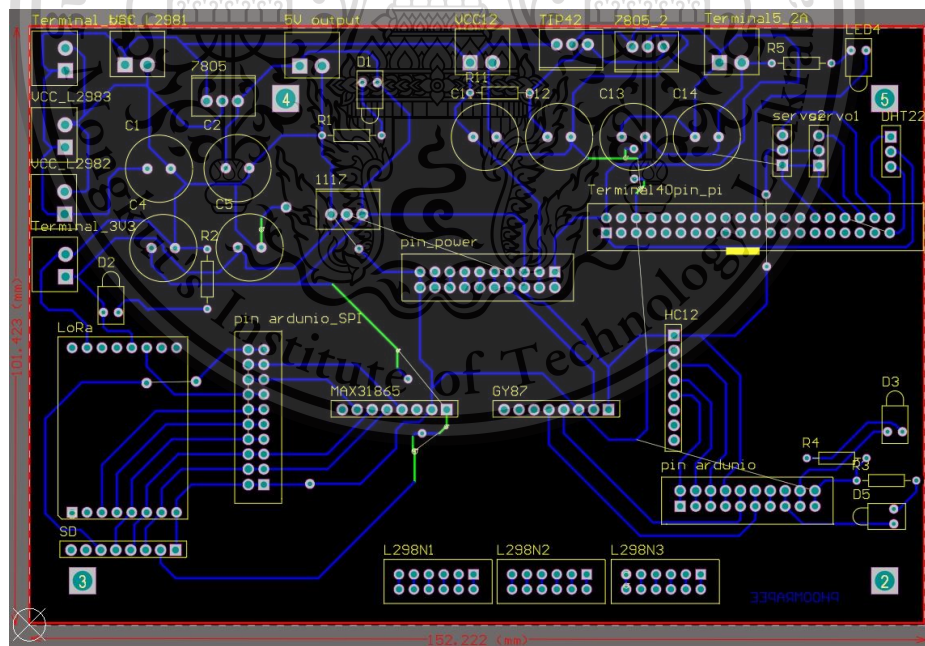
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟและตำแหน่งของเซนเซอร์ต่างๆ

Schematic



รูปที่ 3.15 Schematic แหล่งจ่ายไฟและตำแหน่งเซนเซอร์ต่าง ๆ



รูปที่ 3.16 วงจร PCB แหล่งจ่ายไฟและตำแหน่งเซนเซอร์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.3 การออกแบบสถานีภาคพื้นดิน

ในส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าส่งคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของโรเวอร์ โดยโปรแกรมจะเริ่มจากการผู้ควบคุมใส่คำสั่งผ่านหน้าจอ UI Interface เพื่อให้โรเวอร์ปฏิบัติภารกิจ การสำรวจ ถ้าต้องการรับส่งข้อมูลรูปภาพ จะกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานเป็นคลื่นความถี่ 433 MHz เพื่อส่งผ่านโมดูลสื่อสาร HC-12 ส่วนคำสั่งเพื่อสำรวจภารกิจ หรือข้อมูลเซนเซอร์เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมจะกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานเป็นคลื่นความถี่ 915 MHz ในส่วนของการรับข้อมูลจากโรเวอร์ ถ้าเป็นข้อมูลรูปภาพจะต้องทำการรวมข้อมูลก่อน ซึ่งใช้เวลาหลายนาทีขึ้นอยู่กับความละเอียดของรูปภาพ และทำการแสดงผลผ่านหน้าจอ UI Interface แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.17

3.1.3.1 คำสั่งการควบคุมโรเวอร์

1) คำสั่ง MF060 เป็นคำสั่งให้โรเวอร์เดินไปข้างหน้า ตัวเลขข้างหลัง 3 ตัว แสดงถึงระยะเวลาเป็นเวลาที่นาฬิกาในการปฏิบัติภารกิจ

2) คำสั่ง MB060 เป็นคำสั่งให้โรเวอร์ถอยหลัง ตัวเลขข้างหลัง 3 ตัว แสดงถึงระยะเวลาเป็นเวลา(นาฬิกา) ในการปฏิบัติภารกิจ

3) คำสั่ง MR060 เป็นคำสั่งให้โรเวอร์เลี้ยวขวา ตัวเลขข้างหลัง 3 ตัว แสดงถึงระยะเวลาเป็นเวลา(นาฬิกา) ในการปฏิบัติภารกิจ

4) คำสั่ง ML060 เป็นคำสั่งให้โรเวอร์เลี้ยวซ้าย ตัวเลขข้างหลัง 3 ตัว แสดงถึงระยะเวลาเป็นเวลา(นาฬิกา) ในการปฏิบัติภารกิจ

3.1.3.2 ออกแบบวงจรส่วนการสื่อสารของโรเวอร์

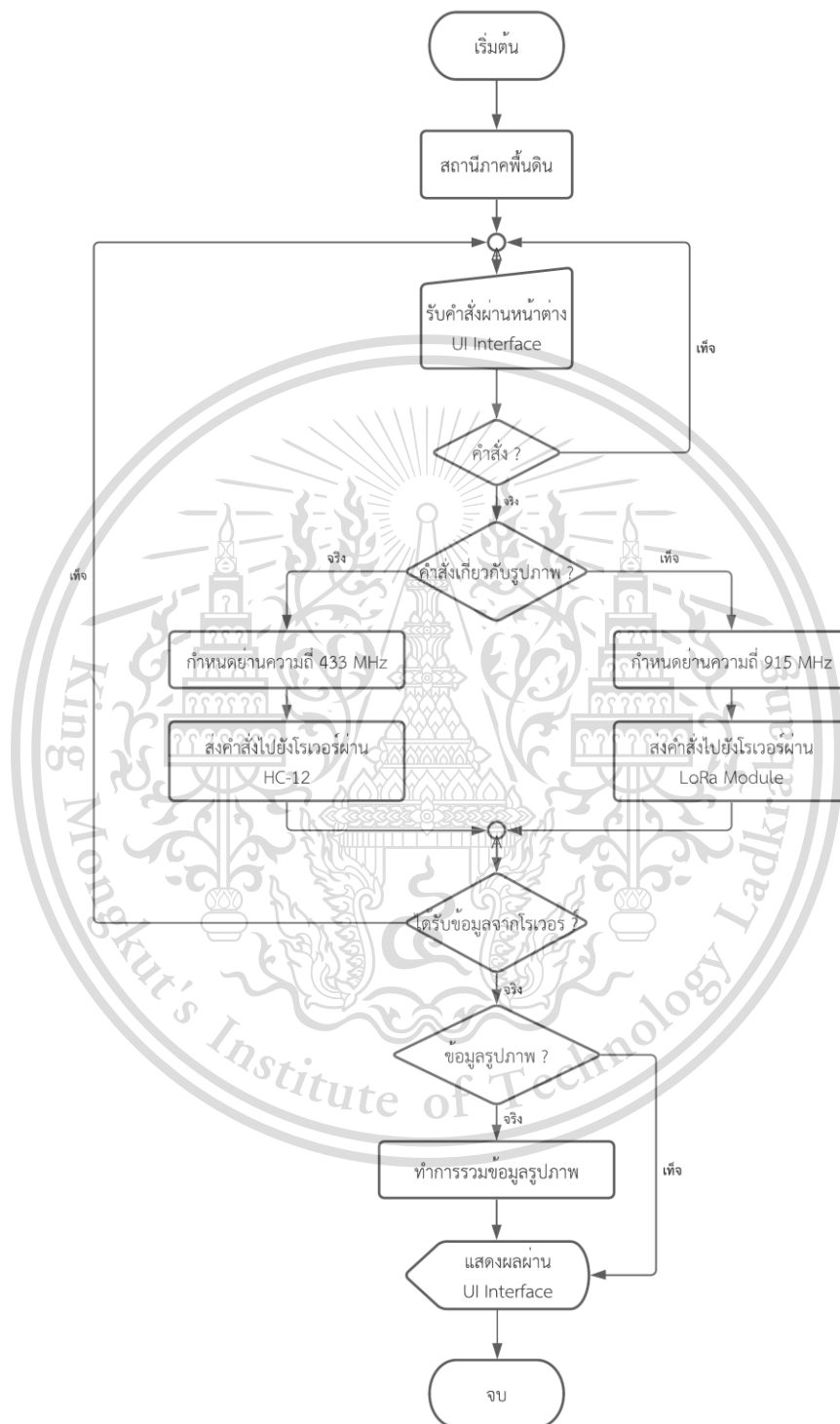
1) คำสั่ง SX045 เป็นคำสั่งที่ใช้ในการหมุนกล็อง ตัวเลข 2 ตัวหลังหมายถึง มุมอาซิมุท(Azimuth) เป็นมุมในแนวราบ

2) คำสั่ง SY045 เป็นคำสั่งที่ใช้ในการหมุนกล็อง ตัวเลข 2 ตัวเลขหมายถึง มุมเงย (Altitude) เป็นมุมในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่งานวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

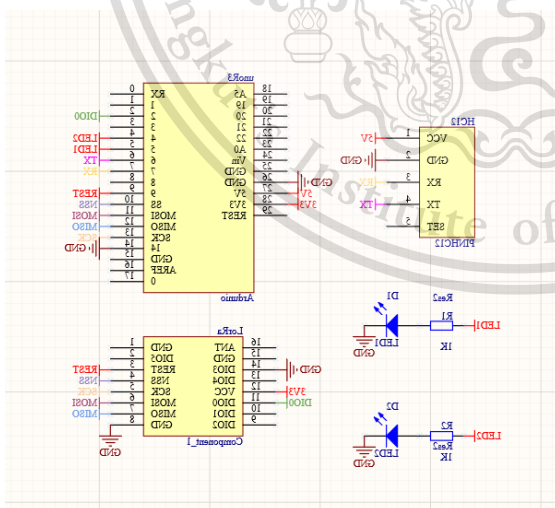
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.3.2 การออกแบบการวางอุปกรณ์ฝั่งสถานีภาคพื้นดิน

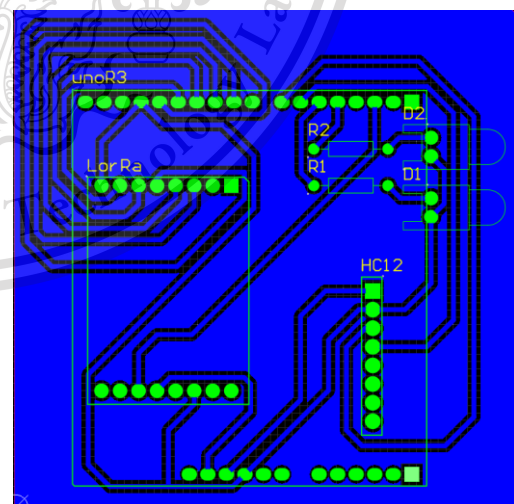
ในส่วนของการออกแบบการวางอุปกรณ์ได้ทำการออกแบบในโปรแกรม Altium Designer ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายให้ที่พอร์ต USB type B ของ Arduino Uno R3 การสื่อสารของไมโครคอนทอนเลอร์กับอุปกรณ์ของสื่อสาร (LoRa Module) จะใช้การสื่อสารแบบ SPI การเชื่อมต่อจะแสดงดังตารางที่ 3.1 ในส่วนของ Schematic และ PCB จะแสดงดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อไมโครคอนทอนเลอร์กับอุปกรณ์การสื่อสาร LoRa Module

LoRa SX1278 Module	Arduino UNO Board
3.3V	3.3V
Gnd	Gnd
En/Nss	D10
GO/DIO0	D2
SCK	D13
MISO	D12
MOSI	D11
RSI	D9



รูปที่ 3.18 Schematic ของอุปกรณ์ฝั่งสถานีภาคพื้นดิน



รูปที่ 3.19 วงจร PCB ของอุปกรณ์ฝั่งสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุมและแสดงผล

ส่วนของการออกแบบโปรแกรมควบคุม และแสดงผลหน้าจอใช้ในการออกคำสั่งที่สถานีภาคพื้นดินเพื่อที่จะส่งคำสั่งผ่านโมดูลสื่อสาร และรับค่ากลับมาแสดงที่โปรแกรมโดยใช้การสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับส่วนของอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งในแพ็คเกจแต่ละแพ็คเกจจะประกอบด้วยบิตเริ่มต้น 1 ตัว บิตข้อมูล 8 ตัว และบิตปิดท้าย 1 ตัว [35] ในส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมและแสดงผลหน้าจอจะใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า PyQt เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้ผ่านภาษาไพธอนในการเขียนโปรแกรมการออกแบบโปรแกรมจะเริ่มต้นการออกแบบอินเทอร์เฟซด้วยการสร้างหน้าต่าง ซึ่งวิดเจ็ต ทั่วไปที่ใช้งาน เช่น QLabel, QLineEdit, QPushButton, QCheckBox, QComboBox, QTextEdit, QMessageBox, QSlider, QInputDialog, QProgressBar เป็นต้น ในส่วนต่อมาจะเป็นการวางแผนตำแหน่งของแต่ละวิดเจ็ตภายในหน้าต่างหลังจากการตั้งค่าเค้าโครง และส่วนสุดท้ายจะเป็นการเขียนฟังก์ชันเรียกกลับ เพื่อตอบสนองตามการดำเนินงานของผู้ใช้ [36]

3.1.4.1 ทำการออกแบบส่วนที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

1) ขั้นตอนแรกจะทำการสร้างปุ่มที่ใช้สำหรับการเปิด-ปิดการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 3.20 และเมื่อสร้างปุ่มสำเร็จจะใช้เชื่อมโยงกับฟังก์ชันที่มีชื่อว่า on_toggled เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเปิด-ปิดการสื่อสารอนุกรมระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 3.21

```
self.connect_btn = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget,
    text="Connect",
    checkable=True,
    toggled=self.on_toggled)
self.connect_btn.setGeometry(QtCore.QRect(50, 150, 131, 60))
self.connect_btn.setStyleSheet("font: 16pt \"Comic Sans MS\";\n"
"color: rgb(255, 255, 255);")
self.connect_btn.setObjectName("connect_btn")
```

รูปที่ 3.20 การเขียนโปรแกรมสร้างปุ่มการเชื่อมต่อการสื่อสารแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

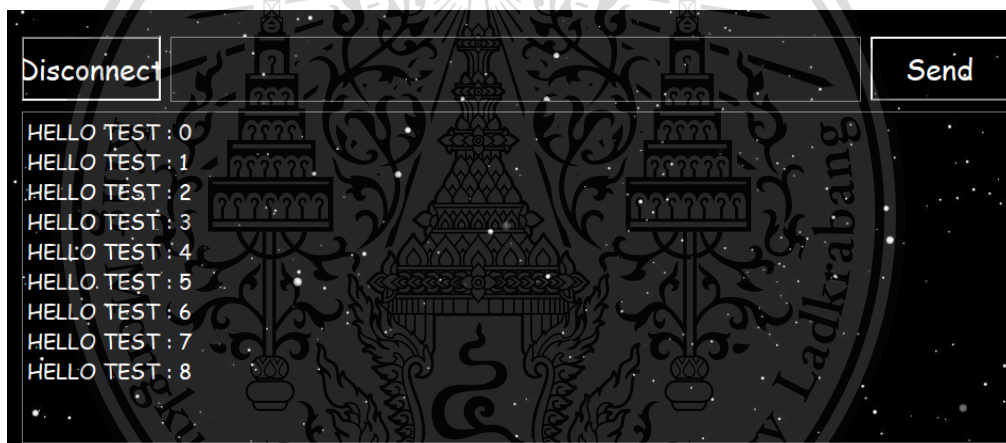
```

def on_toggled(self, checked):
    print('OKKKKKKKKKKKKKKK')
    self.output_le.setPlainText("")
    self.connect_btn.setText("Disconnect" if checked else "Connect")
    if checked:
        if not self.serial.isOpen():
            if not self.serial.open(QtCore.QIODevice.ReadWrite):
                self.button.setChecked(False)
    else:
        self.serial.close()

```

รูปที่ 3.21 ฟังก์ชันการเปิด-ปิดการสื่อสารอนุกรม

2) ทำการทดสอบการสื่อสาร และแสดงผลผ่านหน้าจอโดยการสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับจากโมดูลสื่อสาร และนำส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมไปยังหน้าจอแสดงผล แสดงดังรูปที่ 3.22



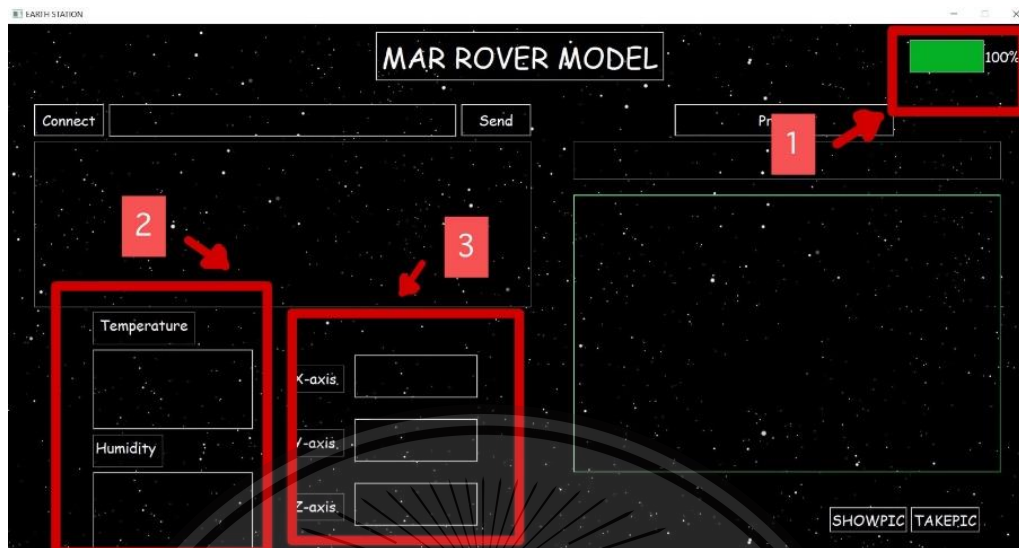
รูปที่ 3.22 การทดสอบการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

3) ออกแบบหน้าจอแสดงผลที่ได้จากเซนเซอร์ที่ใช้ในโรเวอร์ หมายเลขที่ 1 เป็นการแสดงแบตเตอรี่ที่คงเหลือของโรเวอร์จาก Voltage Detection Module หมายเลขที่ 2 เป็นการแสดงสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งได้จาก DHT22 Module หมายเลขที่ 3 เป็นการแสดงค่ามุมที่โรเวอร์กำลังเผชิญอยู่ด้วยมุมเอียงเท่าไร และเป็นการแจ้งเตือนขีดจำกัดที่ โรเวอร์ยังสามารถปฏิบัติการกิจได้ แสดงดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



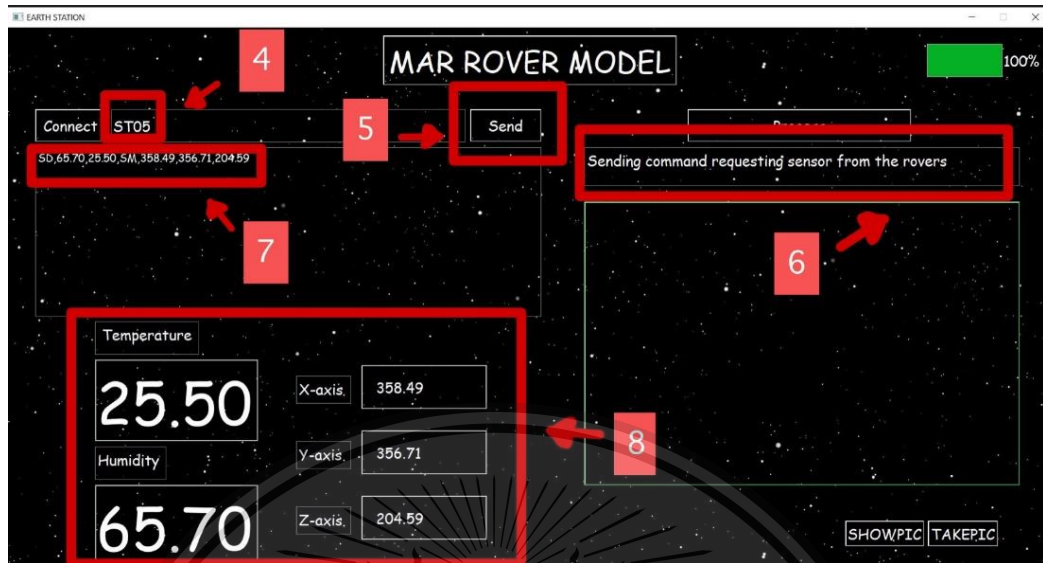
รูปที่ 3.23 หน้าจอแสดงผลที่ได้เซนเซอร์

4) ออกแบบคำสั่งเบื้องต้นเพื่อใช้ในระบบปฏิบัติการกิจ ส่วนของการส่งคำสั่งและรับค่าจากเซนเซอร์จะทำการสื่อสารแบบอนุกรมระหว่างโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางช่องส่งคำสั่ง(หมายเลขที่ 4) SD05 หมายถึงคำสั่งที่ใช้ในการดึงข้อมูลเซนเซอร์ DHT22 Module คำสั่ง SM05 คือคำสั่งที่ใช้ในการดึงข้อมูลเซนเซอร์ Gyro Module ตัวเลขหลัง SD, SM จะเป็นจำนวนครั้งที่จะนำมาหาค่าเฉลี่ยที่โรเวอร์ และส่งกลับมาที่สถานีภาคพื้นดินเมื่อใส่คำสั่งเสร็จจะกดปุ่ม Send (หมายเลขที่ 5) โปรแกรมทำการตรวจสอบและแสดงผลผ่านช่องการทำงานของโปรแกรม (หมายเลขที่ 6) เมื่อได้รับค่าจะกลับมาแสดงผล (หมายเลขที่ 7) หลังจากนั้นจะทำการแยกข้อมูลในแต่ละเซนเซอร์ที่ได้ออกแบบไว้ (หมายเลขที่ 8) แสดงดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.24 การออกคำสั่งเบื้องต้นและแสดงผลข้อมูลที่ได้รับ

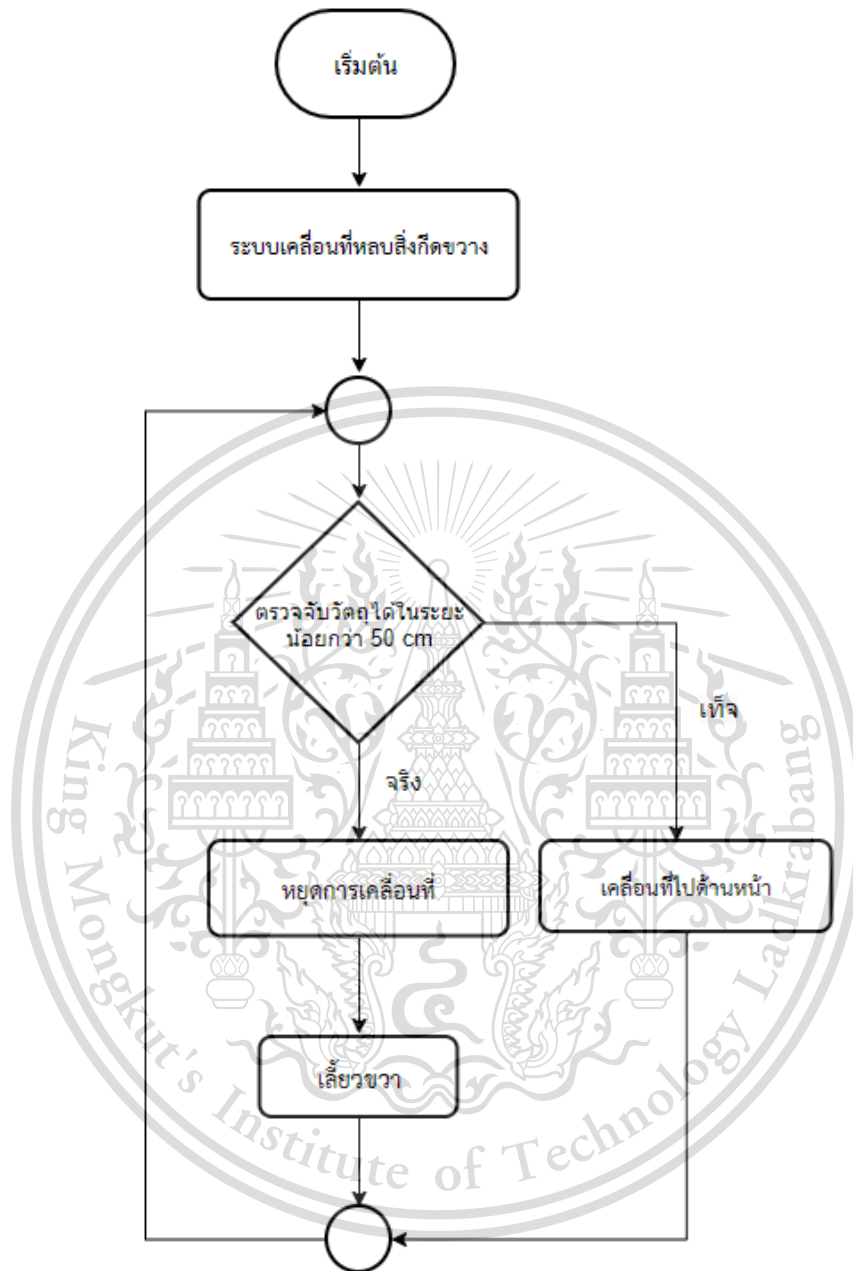
3.1.5 การออกแบบระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางให้กับโรเวอร์

ส่วนของการออกแบบระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางให้กับโรเวอร์เพื่อให้ไม่มีอุปสรรคในการสำรวจ และสามารถปฏิบัติการกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการออกแบบคำสั่งระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางจะใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (HC-SR04) เป็นตัวตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าของโรเวอร์ โดยมีแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



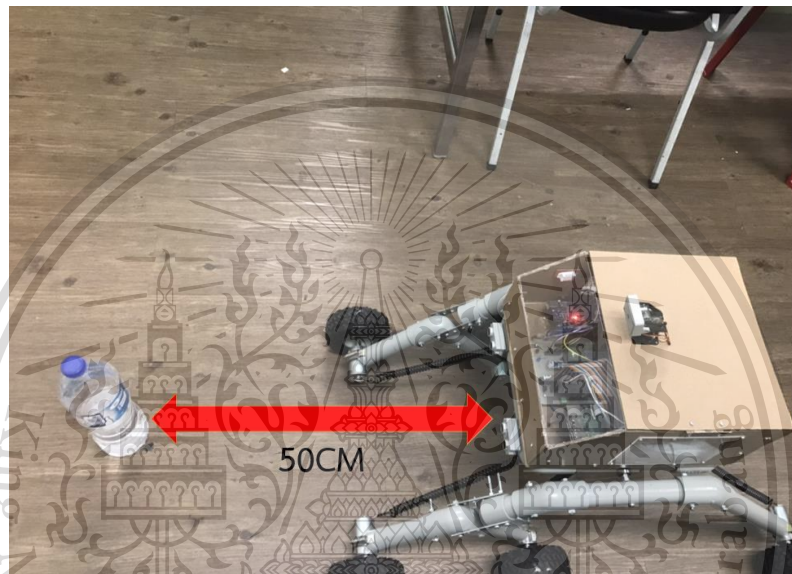
รูปที่ 3.25 แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการเคลื่อนที่เซนเซอร์อัลตราโซนิก (HC-SR04) จะตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะ 50 cm จากนั้นทำการสั่งให้โรเวอร์หยุดเป็นเวลา 2 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.26 โดยชุดคำสั่งจะสั่งให้โรเวอร์เลี้ยวขวาทำมุม 45° C จากแนวเดิมแล้วสั่งให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะ 50 cm อีกรอบ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.27 ถ้าตรวจสอบว่าไม่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 50 cm จะทำการเดินหน้าไปจนกว่าเซนเซอร์อัลตราโซนิกจะตรวจจับสิ่งกีดขวางอีกรอบ แล้วจะทำคำสั่งเดิมวนไปเรื่อย ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.26 เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ในระยะ 50 cm และสั่งให้โรเวอร์หยุดการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.27 โรเวอร์เลี้ยวขวาแล้วสั่งให้เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้านหน้าในระยะ 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปยังผู้อื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.28 เซนเซอร์ตรวจจับไม่พบสิ่งกีดขวางในระยะ 50 cm และสั่งให้โรเวอร์เคลื่อนที่ต่อไป

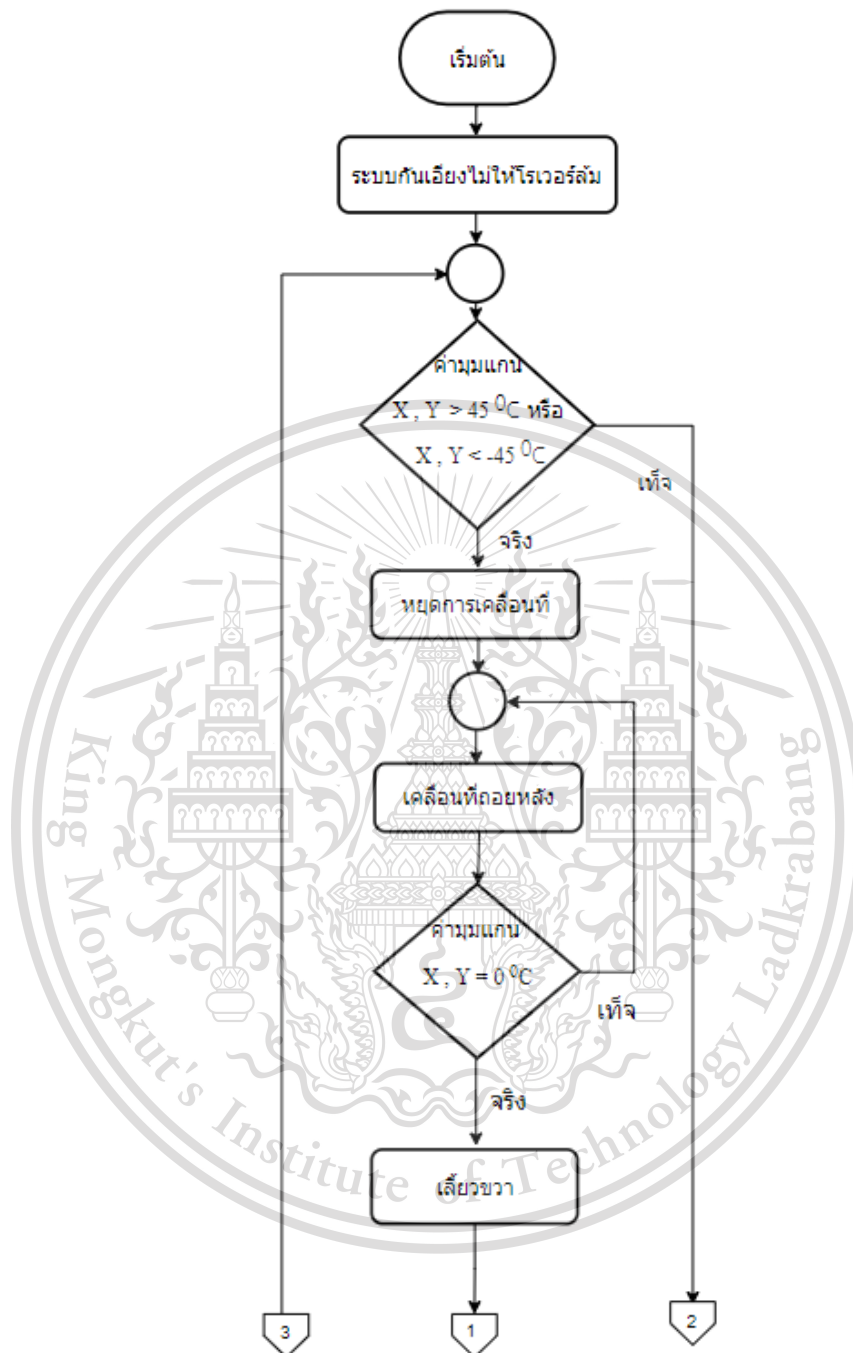
3.1.6 การออกแบบระบบป้องกันการล้มของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัว

ส่วนของการออกแบบระบบป้องกันการล้มของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัวในพื้นที่ผิวไม่เท่ากัน เพื่อให้ไม่มีอุปสรรคในการสำรวจ และสามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการออกแบบคำสั่งระบบกันไม่ให้โรเวอร์เอียงจนล้มจะใช้เซนเซอร์จีโรสโคป (GY-87 Module MPU6050) เป็นตัวตรวจจับการเอียงของโรเวอร์ โดยมีแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

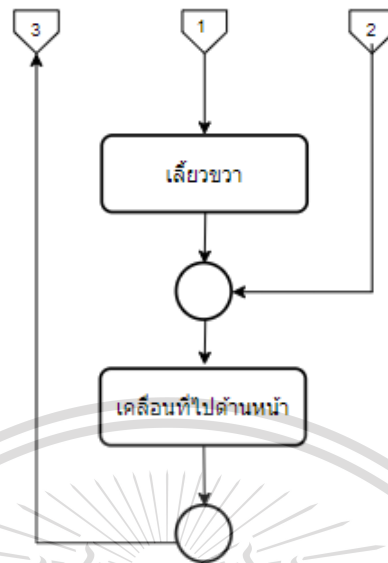


รูปที่ 3.29 แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบป้องกันการลัมของโรเวอร์เมื่อเกิดการเเยียงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.30 แผนผังการทำงานโปรแกรมระบบป้องกันการล้มของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัว(ต่อ)

ในการเคลื่อนที่ไปบนพื้นที่ผิวที่ไม่เท่ากัน เช่น เซอร์โวจิโรสโคปจะทำการอ่านค่ามุมในแกน X และแกน Y ไปเรื่อยๆ โดยที่แกน X เป็นค่ามุมเอียงซ้ายหรือขวาของด้านข้างโรเวอร์ และแกน Y เป็นค่ามุมเอียงขึ้นหรือลงของด้านหน้าโรเวอร์ เมื่อเซนเซอร์อ่านค่ามุมเอียงในแกน X หรือแกน Y ได้ต่ำกว่า 45°C หรือ -45°C ชุดคำสั่งจะสั่งให้โรเวอร์หยุดแล้วถอยหลังไปจนกว่าเซนเซอร์จิโรสโคปอ่านค่ามุมในแกน X หรือแกน Y ได้เท่ากับ 0°C จากนั้นชุดคำสั่งจะสั่งให้โรเวอร์เลี้ยวขวาทำมุม 45°C แล้วเดินทางต่อจนกว่าจะเจอค่ามุมเอียงในแกน X หรือแกน Y ได้ต่ำกว่า 45°C หรือ -45°C แล้วจะทำคำสั่งเดิมไปเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

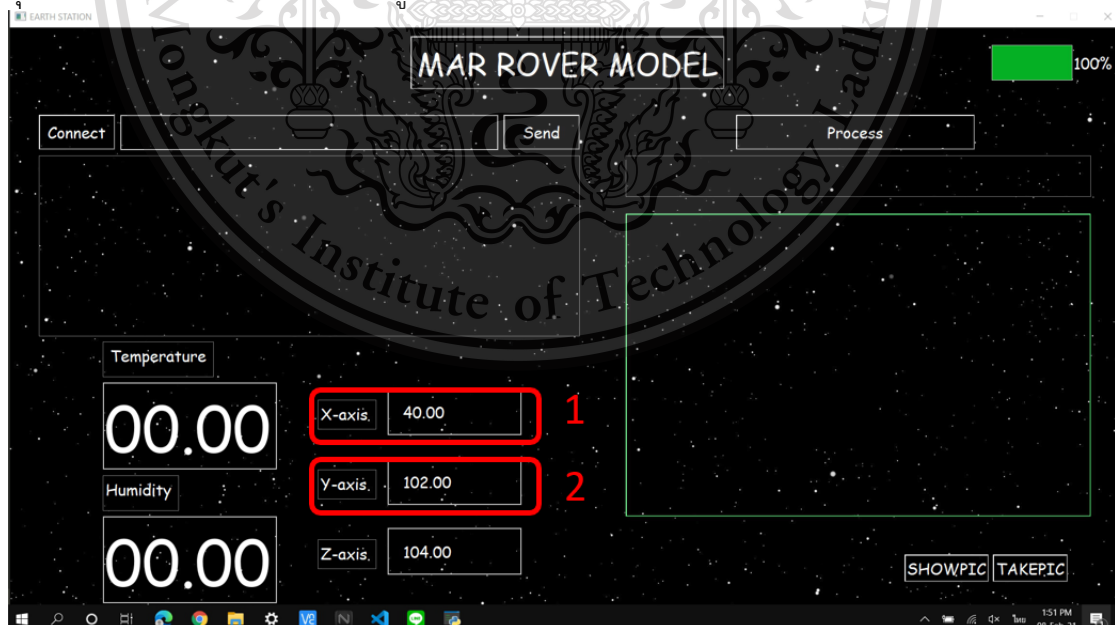
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.31 เซนเซอร์อ่านค่ามุมเอียงในแกน X ได้ต่ำกว่า 45°C หรือ -45°C



รูปที่ 3.32 เซนเซอร์อ่านค่ามุมเอียงในแกน Y ได้ต่ำกว่า 45°C หรือ -45°C

ค่ามุมที่เซนเซอร์ใจโรอ่านค่าได้ในแกน X แกน Y และแกน Z จะแสดงผ่านหน้าจอ UI โดยระบบป้องกันการล้นของโรเวอร์เมื่อเกิดการเอียงตัวจะใช้เพียงแกน X ในจุดที่ 1 และแกน Y ในจุดที่ 2 ในหน้าจอ UI ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 จุดแสดงค่ามุมแกน X และแกน Y บนหน้าจอ UI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการสื่อสาร

ซอฟต์แวร์การควบคุมการสื่อสารจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือสถานีภาคพื้นดินและโรเวอร์โดยการทำงานจะสื่อสารผ่านโมดูลสื่อสารโรล่า และ HC-12 ในคลื่นความถี่ 915 MHz และ 433 MHz ในส่วนของสถานีภาคพื้นดินจะเป็นส่วนที่คอยประมวลผลข้อมูลที่ได้รับและออกคำสั่งเพื่อควบคุมโรเวอร์ให้ปฏิบัติตามหน้าที่ที่กำหนดไว้เช่น เก็บข้อมูลทางชีวภาพ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าพีคิต ควบคุมการเคลื่อนที่ของโรเวอร์ ควบคุมเซอร์โวเพื่อปรับทิศทางกล้อง ถ่ายรูปภาพเพื่อส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน และนำข้อมูลที่ได้รับมาประมวลผลเพื่อนำมาแสดงผ่านหน้าจอ User Interface โดยการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ควบคุมโรเวอร์จะควบคุมควบคุมคู่กับระหว่าง Raspberry Pi 3 และ Arduino Mega 2560 โดยหน้าที่การประมวลผลหลักจะทำงานที่ Raspberry Pi 3 และหลังจากนั้นจึงส่งต่อไปยัง Arduino Mega 2560 ที่ควบคุม

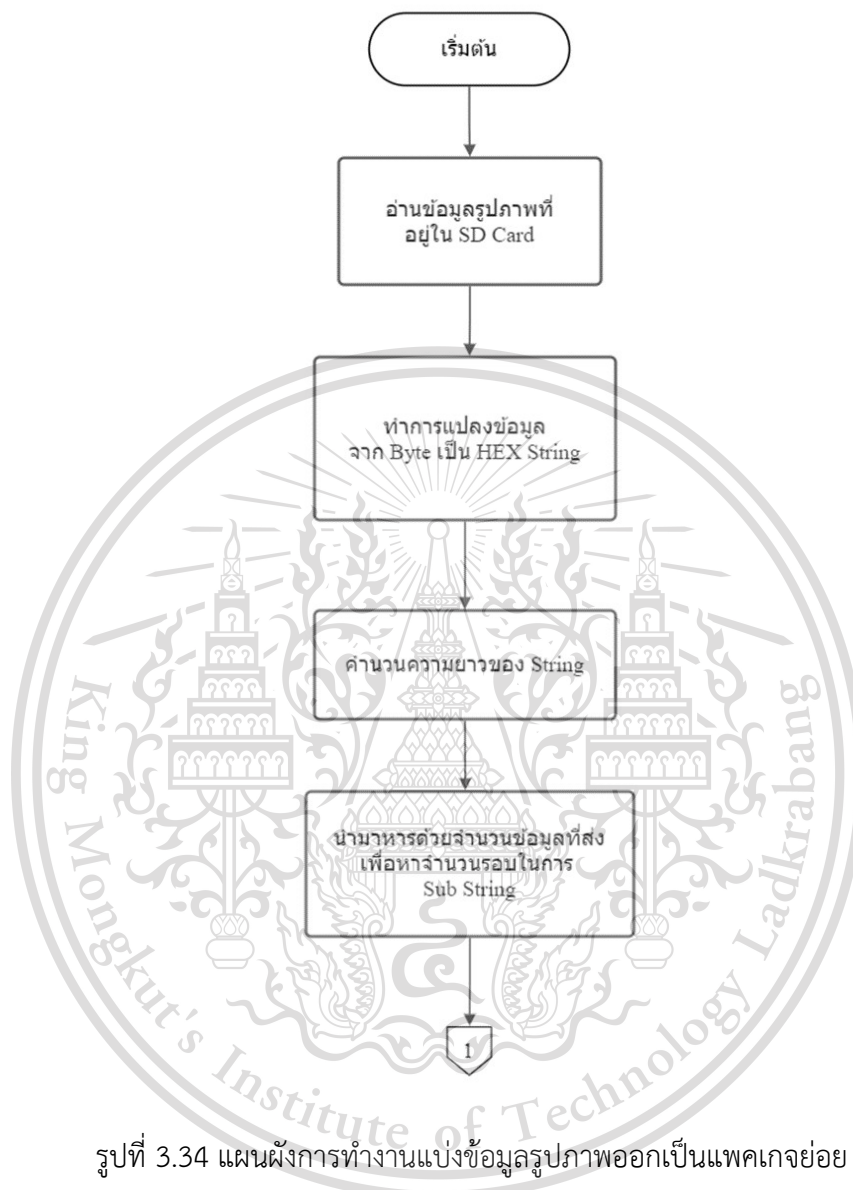
3.2.1 การออกแบบการแบ่งข้อมูลรูปภาพเป็นแพคเกจย่อย

การแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็นแพคเกจย่อย เพื่อทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดและนำมาประยุกต์กับการส่งสื่อสารในอวกาศ เนื่องจากการส่งแพคเกจข้อมูลเป็นจำนวนมากเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการสูญหายของแพคเกจข้อมูล เพราะการโคจรรอบตัวเองของดาวอังคารจะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลกลับมาถึงโลกได้ตลอดเวลา จึงแบ่งข้อมูลออกเป็นแพคเกจย่อย ๆ ที่โรเวอร์ และส่งมายังสถานีภาคพื้นดินเพื่อรวมข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับเป็นข้อมูลรูปภาพดั้งเดิมโดยขั้นตอนการทำงานเป็นดังรูปที่ 3.34 และรูปที่ 3.35 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

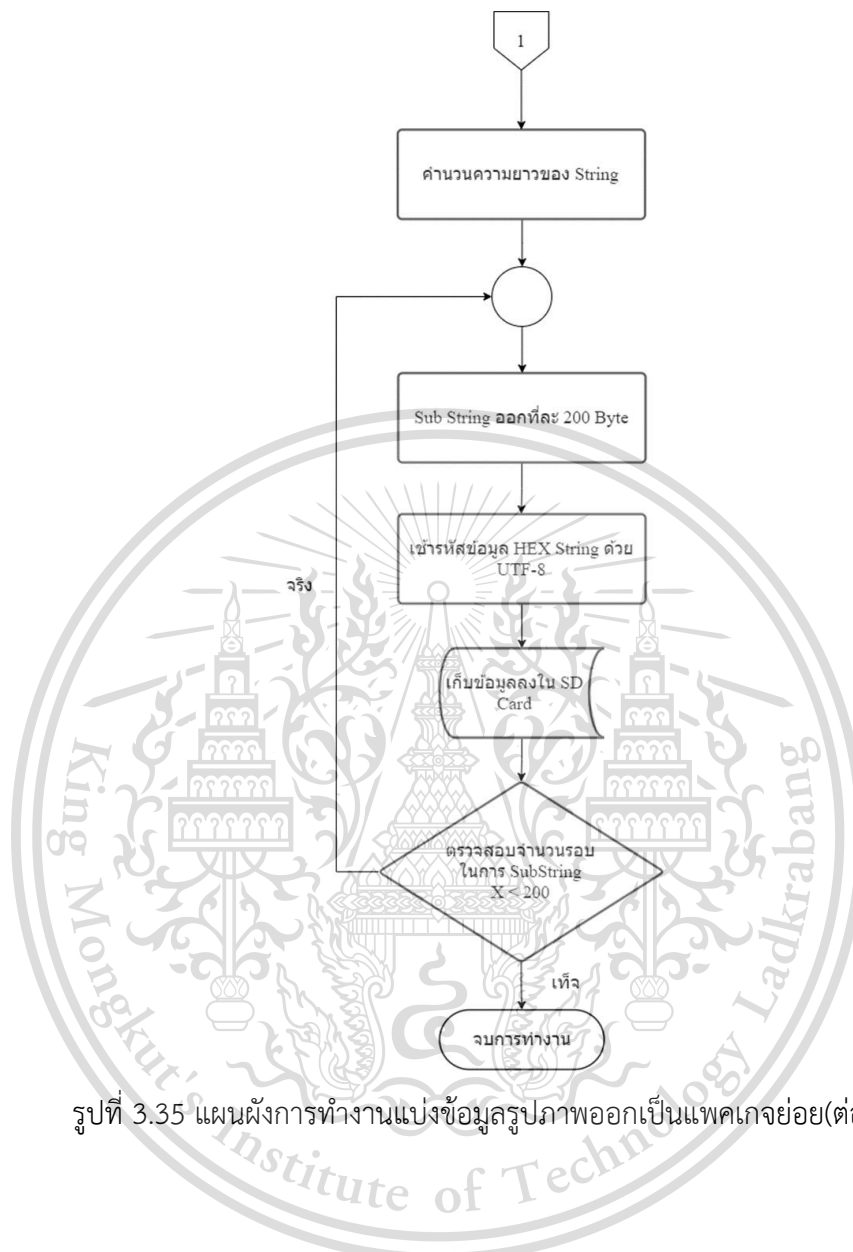


รูปที่ 3.34 แผนผังการทำงานแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็นแพคเกจย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.35 แผนผังการทำงานแบ่งข้อมูลรูปภาพออกเป็นแพ็คเกจย่อย(ต่อ)

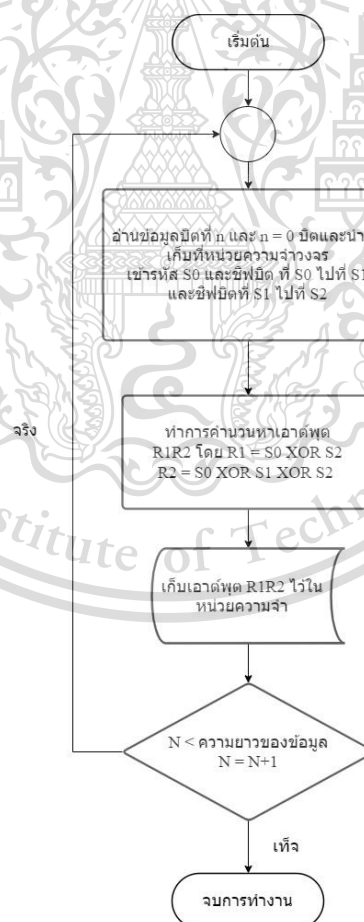
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ส่วนเข้ารหัสข้อมูล Convolution Code

ในการออกแบบซอฟต์แวร์การเข้ารหัสข้อมูล Convolution Code ทำการออกแบบตามวงจรเข้ารหัสที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยใช้คือ วงจร (2, 1, 3) มี code rate ที่ 1/2 และจำนวนขนาดความจำคือ 3 ในการทำงานของซอฟต์แวร์จะทำการสร้างกล่องมาเก็บข้อมูลจำนวน 3 กล่องที่เป็นกล่องความจำของวงจรเข้ารหัส โดยการเข้ารหัสจะทำการนำข้อมูลรูปภาพอ่านข้อมูลออกมาเป็นบิตของข้อมูลที่ละ 1 ตัวตามวงจรที่ออกแบบไว้ ซึ่งข้อมูลจะถูกเลื่อนเข้ามาในหน่วยความจำที่ได้ทำการสร้างไว้ข้างต้น เมื่อข้อมูลเข้ามาหลังจากนั้นทำการกำหนดความสัมพันธ์ของหน่วยความจำตามสมการโพลิโนเมียล ที่ได้กำหนดไว้คือข้อมูลขาออกตัวแรกจะเท่ากับข้อมูลในหน่วยความจำที่ 1, 2 และหน่วยความจำที่ 3 มาทำการ XOR จะออกเป็นข้อมูลขาออกตัวแรกและข้อมูลตัวที่สองจะเกิดจาก ข้อมูลในหน่วยความจำที่ 1 และหน่วยความจำที่ 3 ข้อมูลขาออกจะเพิ่มออกเป็น 2 เท่าตาม code rate ตามวงจรที่ออกแบบไว้คือ 1/2 เมื่อทำการเข้ารหัสจนครบทุกตัวนำข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำและนำไปใช้ต่อไป ขั้นตอนการทำงานเป็นดังรูปที่ 3.36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ซึ่งหากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

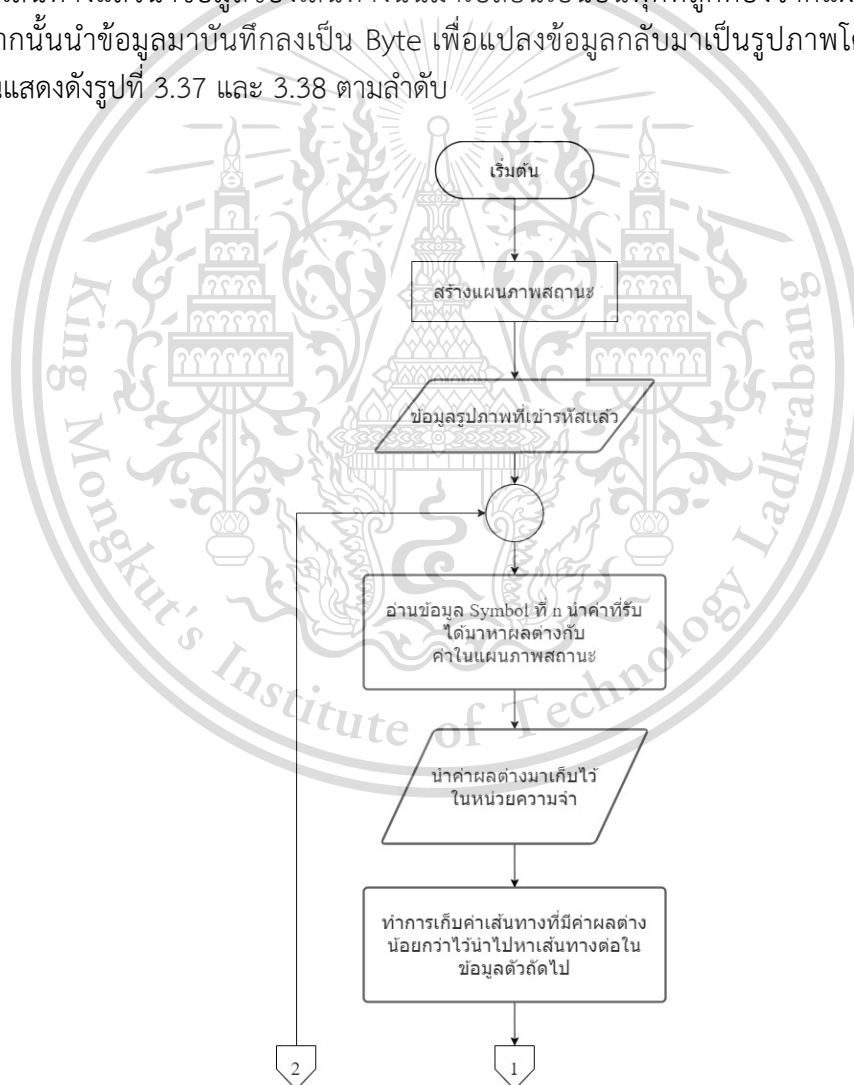
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ส่วนถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi Algorithm

การออกแบบซอฟต์แวร์การถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi Algorithm จะเป็นการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดจากแผนภาพสถานะที่ได้สร้างเอาไว้จากวงจรเข้ารหัส และเก็บเอาไว้ในฝั่งภาคพื้นดินจะสามารถหาข้อมูลอินพุตกลับมาได้โดยดูเส้นทางการเปลี่ยนสถานะก่อนหน้า และสถานะในปัจจุบันสามารถนำมาแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดกลับมาเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการหาเส้นทางจะหาจากค่าระยะแฮมมิง เมื่อมีข้อมูลเข้ามาจะทำการนำข้อมูลนั้นไปเทียบกับค่าเอาต์พุตของแผนภาพสถานะในปัจจุบัน และทำการบันทึกค่าระยะแฮมมิงเก็บเอาไว้ในหน่วยความจำและหาเส้นทางที่มีระยะแฮมมิงน้อยที่สุด จะเป็นเส้นทางที่มีข้อมูลผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อได้เส้นทางแล้วนำข้อมูลของเส้นทางนั้นมาเปลี่ยนเป็นอินพุตที่ต้องการจากแผนภาพสถานะ หลังจากนั้นนำข้อมูลมาบันทึกลงเป็น Byte เพื่อแปลงข้อมูลกลับมาเป็นรูปภาพโดยแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.37 และ 3.38 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 3.37 แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์การถอดรหัส Viterbi Algorithm

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.38 แผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์การถอดรหัส Viterbi Algorithm(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในโครงงานนี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.3.1 Arduino Mega 2560 Board

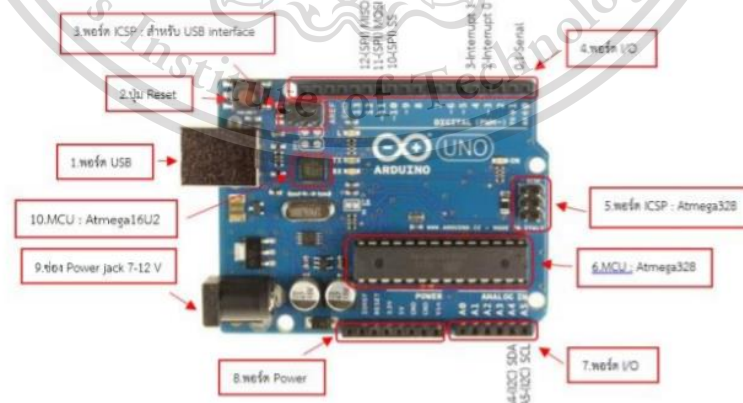
บอร์ด Arduino รุ่น Arduino Mega 2560 ใช้เป็นตัวประมวลผลกลาง และใช้ในการต่อเซนเซอร์ต่างๆที่ใช้ในโรเวอร์ รวมถึงบอร์ดดังแสดงในรูปที่ 3.39 [17]



รูปที่ 3.39 Arduino Mega 2560 Board

3.3.2 Arduino Uno R3 Board

บอร์ด Arduino รุ่น Arduino Uno R3 ใช้เป็นตัวประมวลผลของสถานีภาคพื้นดิน และใช้ในการในการเชื่อมต่อกับ SX1276 LoRa module เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล และ เชื่อมต่อกับ HC-12 เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลรูปภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.40 [18]



รูปที่ 3.40 Arduino Uno R3 Board

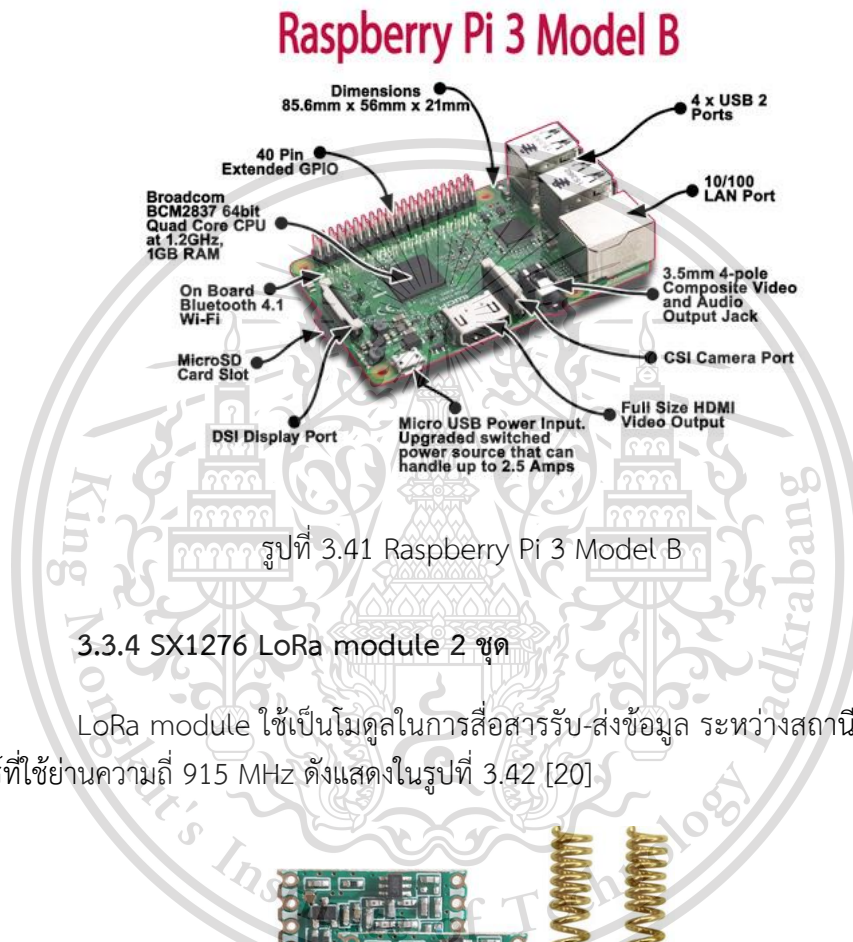
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3 Raspberry Pi 3 Model B

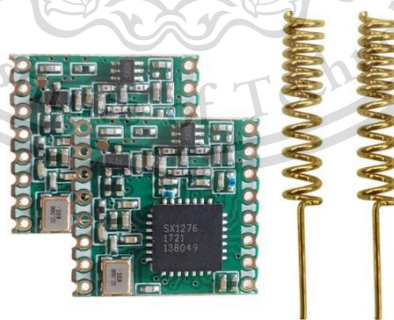
บอร์ด Raspberry Pi รุ่น Pi 3 Model B ใช้เป็นตัวทำ Machine Learning และ Object detection โดยตัวบอร์ดจะทำการสื่อสารผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมกับบอร์ด Arduino Mega 2560 ดังแสดงในรูปที่ 3.41 [19]



รูปที่ 3.41 Raspberry Pi 3 Model B

3.3.4 SX1276 LoRa module 2 ชุด

LoRa module ใช้เป็นโมดูลในการสื่อสารรับ-ส่งข้อมูล ระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับ โรวเวอร์ที่ใช้ย่านความถี่ 915 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.42 [20]



รูปที่ 3.42 SX1276 LoRa module

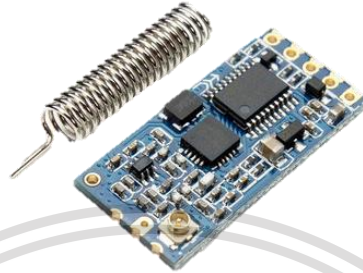
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5 HC-12 module 2 ชุด

HC-12 module ใช้เป็นโมดูลในการสื่อสารรับ-ส่งข้อมูลรูปภาพ ระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับโรเวอร์ที่ใช้ย่านความถี่ 433 MHz ดังแสดงในรูปที่ 3.43 [21]



รูปที่ 3.43 HC-12 module

3.3.6 NEWGEN.RTL2832SDR

ใช้เพื่อศึกษาย่านความถี่หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านอากาศโดยอุปกรณ์ NEWGEN.RTL2832SDR นี้ทำให้เราสามารถที่จะมองเห็นคลื่นแม่เหล็กเหล่านี้ได้ครอบคลุมความถี่ที่สามารถใช้งานได้คือ 25 MHz ถึง 1760 MHz ดังรูปที่ 3.44 [22]



รูปที่ 3.44 NEWGEN.RTL2832SDR

3.3.7 สาย USB-A to USB-B

สาย USB-A to USB-B ใช้สำหรับเชื่อมต่อบอร์ด Arduino Uno R3 Arduino Mega 2560 เข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อ Upload โปรแกรมลงบอร์ด หรือดูผลลัพธ์ทาง Serial Monitor ดังรูปที่ 3.45 [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

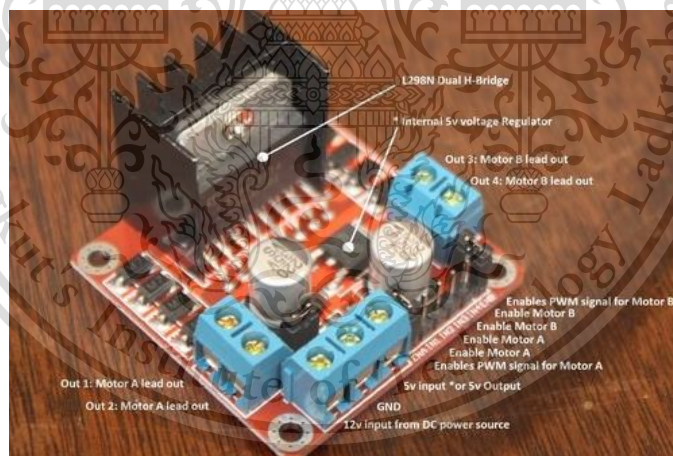
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.45 สาย USB-A to USB-B

3.3.8 L298N Motor Drive shield 3 ชุด

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องการกระแสไฟฟ้าในปริมาณสูงกว่าความสามารถที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะจ่ายโดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องมีวงจรขับมอเตอร์ โดยเฉพาะเพื่อทำหน้าที่ขับมอเตอร์ทำงานได้ตามต้องการ และใน L298N Motor Drive shield 3 ชุดนี้สามารถรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 5 ไปถึง 35 V ที่ใช้ในการขับดีซีมอเตอร์ทั้ง 6 ตัว โดยแต่ละชุดของ L298N Motor Drive จะขับดีซีมอเตอร์ 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.46 [24]



รูปที่ 3.46 L298N Motor Drive shield

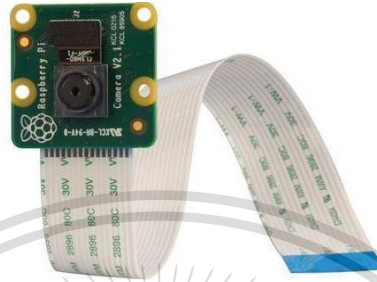
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.9 กล้อง Raspberry Pi Camera V2(8MP)

เป็นโมดูลที่ใช้เป็นตัวทำ Machine Learning และ Object detection เพื่อใช้ในการสำรวจที่อยู่ในโรเวอร์ โดยใช้ร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi 3 Model B ดังแสดงในรูปที่ 3.47 [25]



รูปที่ 3.47 Raspberry Pi Camera V2(8MP)

3.3.10 Micro SD Card 2 GB

ใช้ร่วมกับ Micro SD Card Module ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ และทำการแบ่งแพ็คเกจออกเป็นส่วนๆ ก่อนทำการจัดส่งกลับสถานีภาคพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 3.48 [26]

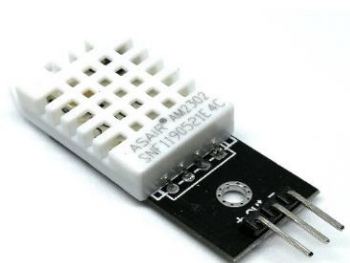


รูปที่ 3.48 Micro SD Card Module

3.3.11 DHT22 / AM2302 Module

ใช้เป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ที่ประกอบอยู่ในโรเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.49

[27]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.49 DHT22 Module อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

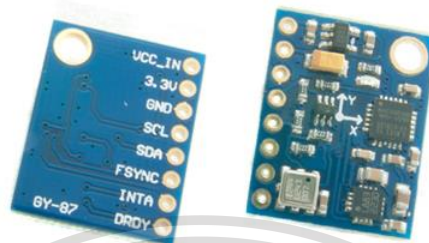
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.12 GY-87 10DOF Module

ใช้ในการหาค่าของการเคลื่อนไหวทั้ง 3 แกน และทิศทางของการเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปที่ 3.50 [8]



รูปที่ 3.50 GY-87 10DOF Module

3.3.13 Voltage Sensor Module

ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 3.51 [11]



รูปที่ 3.51 Voltage Sensor Module

3.3.14 HC-SR04 Module

ใช้ในการทำ Machine Learning เพื่อให้โรเวอร์เคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 3.52 [9]



รูปที่ 3.52 HC-SR04 Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.15 แบตเตอรี่แห้ง 12 V

ใช้สำหรับเป็นแหล่งพลังงานหลักให้กับระบบทั้งหมดของโรเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.53 [28]



รูปที่ 3.53 แบตเตอรี่แห้ง 12 V

3.3.16 Servo Motor 2 ตัว

ใช้ประกอบในการหมุนกล่อง โดย Servo Motor ตัวที่ 1 ทำหน้าที่หมุนกล่องไปตามแกน X และอีกตัวทำหน้าที่หมุนกล่องไปตามแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 3.54 [29]



รูปที่ 3.54 Servo Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.17 Pan-tilt Bracket for MG90S

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ ทั้ง 2 ตัว เพื่อที่จะนำมาใช้ในการปรับหมุน กล้องโดยเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 จะใช้ในการปรับมุมแนวนอน และเซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 จะใช้ปรับ มุมแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.55 [30]



รูปที่ 3.55 Pan-tilt Bracket for MG90S

3.3.18 DC motor 12 V 6ตัว

ใช้งานกับ L298N Motor Drive shield 3 ชุด เพื่อใช้ขับเคลื่อนโรเวอร์ ดังแสดงในรูป ที่ 3.56 [31]



รูปที่ 3.56 DC motor 12 V

3.3.19 โปรแกรม Arduino IDE

ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด Arduino Mega 2560 และ Arduino Uno R3 ดังแสดงในรูปที่ 3.57 [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

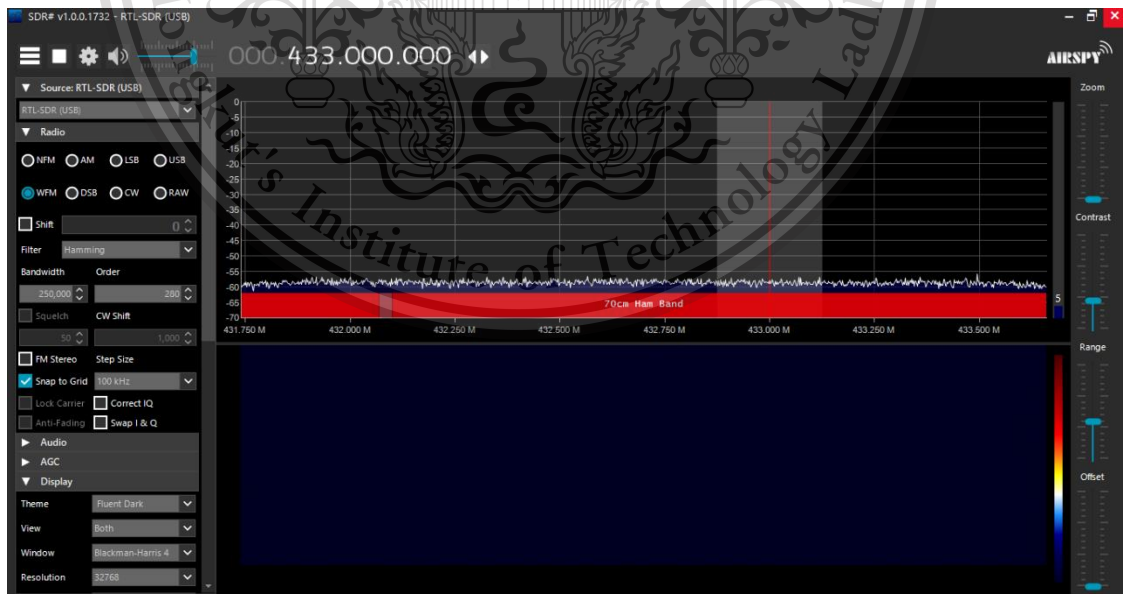
1 // dev Rover Mega2560
2 #include <SPI.h>
3 #include <LoRa.h>
4 #include <Wire.h>
5 #include <DHT.h>
6 #include <SD.h>
7 #include <AFMotor.h>
8 #include <Servo.h>
9
10 Servo name_servo;
11 Servo name_servo2;
12 int servo_position = 0 ;
13
14 File myFile;
15
16 DHT dht; // สร้างออบเจกต์ DHT22 สำหรับติดต่อกับเซนเซอร์
17
18 AF_DCMotor motor1(1, MOTOR12_1KHZ);
19 AF_DCMotor motor2(2, MOTOR12_1KHZ);
20 AF_DCMotor motor3(3, MOTOR34_1KHZ);
21 AF_DCMotor motor4(4, MOTOR34_1KHZ);
22 uint8_t velocity = 200;
23
24 const int trigPin = A9;

```

รูปที่ 3.57 โปรแกรม Arduino IDE

3.3.20 โปรแกรม SDRSharp

โปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับ NEWGEN.RTL2832SDR ที่ใช้ในการศึกษาย่านความถี่หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.58 [33]



รูปที่ 3.58 โปรแกรม SDRSharp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.21 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ใช้ในการวัดแสดงรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ออกมาเป็นภาพ เช่น การวัดแอมป์พลิจูดของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า, การวัดความถี่ของสัญญาณ, การวัดเฟสของสัญญาณ, การวัดสัญญาณความกว้างของสัญญาณพัลส์ เป็นต้น ดังแสดงรูปที่ 3.59 [34]



รูปที่ 3.59 ดิจิตอลออสซิลโลสโคป

3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.4.1 การทดสอบอุปกรณ์ทางการสื่อสาร

ทดสอบกำลังส่งและย่านความถี่ของ SX1276 LoRa module โดยใช้ฟังก์ชันวัดค่า RSSI และ SNR ที่โมดูลฝั่งรับในระยะทางที่ 10 – 500 m

3.4.1.1 ทดสอบประสิทธิภาพของการสื่อสารไร้สายผ่าน LoRa module เทียบกับระยะทาง โดยสมมติให้สถานีภาคพื้นดินอยู่กับที่ และให้โรเวอร์เพิ่มระยะออกห่างจากสถานีภาคพื้นดิน เพื่อทดสอบระยะทางที่ไกลที่สุดที่โมดูลจะสามารถรับสัญญาณได้

3.4.1.2 ทดสอบการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดจากการถูกรบกวนจากการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคอนโวลูชันและถอดรหัสด้วย Viterbi Algorithm และนำมาหา BER เทียบกับ SNR ระหว่างเข้ารหัสและไม่เข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4.2 การทดสอบหาขีดจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้งานในโรเวอร์

3.4.2.1 ทดสอบการใช้งานของกล้องถ่ายภาพด้วย Raspberry Pi Camera

3.4.2.2 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 Module

3.4.2.3 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ DTH22 / AM2302 Module

3.4.2.4 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ HC-SR04 (Ultrasonic sensor)

3.4.2.5 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Voltage Module

3.4.2.6 การทดสอบการทำงานของ Servo motor MG90S

3.4.3 การทดสอบระยะวัดจากกล้อง

3.4.3.1 ทดสอบระยะวัดที่ระยะน้อยกว่า 1 m

3.4.3.2 ทดสอบระยะวัดที่มากกว่า 1 m แต่ไม่เกิน 2 m

3.4.3.1 ทดสอบระยะวัดที่มากกว่า 2 m แต่ไม่เกิน 3 m

3.4.3.1 ทดสอบระยะวัดที่ระยะน้อยกว่า 3 m

3.4.4 ทดสอบการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคอนโวลูชัน

3.4.5 ทดสอบการถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi Algorithm

3.4.6 ผลการทดสอบอัตราความผิดพลาดระหว่างข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสคอนโวลูชัน และข้อมูลที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

3.4.7 ผลการทดสอบระบบโดยรวมของโรเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบอุปกรณ์ทางการสื่อสาร

ประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน LoRa Module ทำการทดสอบที่บริเวณหน้าหอประชุมใหญ่(คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ถึงอาคาร 12 ชั้น เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength indication : RSSI) กับระยะทาง ที่กำลังส่งของ LoRa 100 mW อัตราการแพร่กระจายสัญญาณมีค่าเป็น 12 ที่แกนเสาอากาศ 3 dBi โดยค่าที่วัดได้จากระยะทางจริง แสดงดังตารางที่ 4.1 และ กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณเทียบกับระยะทาง แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่ระยะทาง 420 m จะเริ่มเกิดบิตบางช่วงที่ผิดพลาด

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกข้อมูลค่า RSSI ที่ระยะทางต่าง ๆ

ระยะทาง (m)	ครั้งที่1 (dBm)	ครั้งที่2 (dBm)	ครั้งที่3 (dBm)	ครั้งที่4 (dBm)	ครั้งที่5 (dBm)	ค่าเฉลี่ย RSSI(dBm)
10	-81	-83	-80	-81	-84	-81.8
30	-87	-90	-86	-86	-85	-86.8
50	-92	-91	-92	-92	-91	-91.6
70	-101	-105	-100	-97	-96	-99.8
90	-98	-97	-103	-100	-105	-100.6
110	-105	-105	-105	-108	-104	-105.4
130	-109	-109	-114	-109	-113	-110.8
150	-104	-114	-117	-114	-114	-112.6
170	-114	-113	-118	-114	-108	-113.4
190	-110	-110	-110	-112	-113	-111.0
210	-104	-104	-112	-112	-115	-109.4
230	-111	-115	-114	-116	-117	-114.6
250	-112	-114	-115	-116	-115	-114.4
270	-114	-111	-115	-116	-117	-114.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานอื่น ๆ ที่มิใช่เพื่อการศึกษา หรือการวิจัยทางวิชาการโดยไม่หวังกำไร หรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดที่มิใช่เพื่อการศึกษา หรือการวิจัยทางวิชาการโดยไม่หวังกำไร

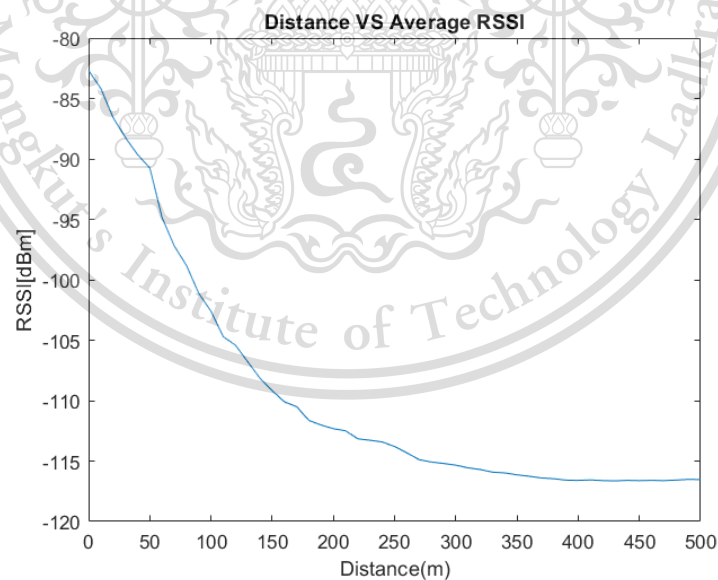
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ตารางบันทึกข้อมูลค่า RSSI ที่ระยะทางต่าง ๆ

ระยะทาง (m)	ครั้งที่1 (dBm)	ครั้งที่2 (dBm)	ครั้งที่3 (dBm)	ครั้งที่4 (dBm)	ครั้งที่5 (dBm)	ค่าเฉลี่ย RSSI(dBm)
290	-113	-115	-115	-116	-115	-114.8
310	-114	-115	-117	-114	-115	-115.0
330	-115	-116	-116	-116	-116	-115.8
350	-116	-117	-117	-117	-116	-116.6
370	-117	-116	-117	-117	-117	-116.8
390	-116	-116	-116	-117	-117	-116.4
410	-116	-116	-117	-117	-116	-116.4
430	-117	-117	-117	-117	-117	-117.0
450	-116	-116	-116	-116	-117	-116.2
470	-117	-117	-117	-117	-117	-117.0
490	-117	-117	-117	-116	-116	-116.6
500	-116	-116	-117	-117	-116	-116.4



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณเทียบกับระยะทาง

4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานในโรเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 ทดสอบการใช้งานของกล้องถ่ายภาพด้วย Raspberry Pi Camera V2 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปภาพที่ได้จากการทดสอบที่ความละเอียด 3280 x 2464 pixel ตารางที่ 4.2 ขนาดของรูปภาพที่ความละเอียดต่างๆ

Resolution(pixel)	Image size(byte)
640 x 480	229,376
800 x 600	335,872
960 x 720	446,464
1024 x 768	630,784
1440 x 1080	954,368
1920 x 1440	1,826,816
3280 x 2464	4,386,816

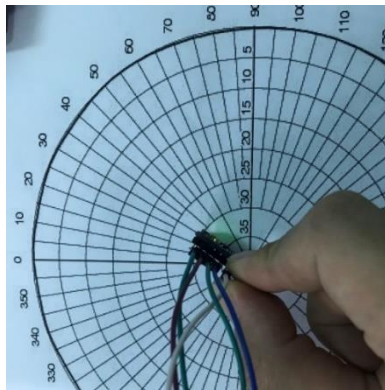
4.2.2 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 Module

เซนเซอร์ GY-87 MPU6050 แสดงค่ามุม Roll และ Pitch เมื่อเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 มีการขยับในแกน x, y และ z โดยค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ Gy-87 MPU6050 คือค่าความเร่งในแนวแกน x, y และ z ซึ่งสามารถนำค่าความเร่งในแต่ละแกนมาคำนวณเพื่อหาค่า Roll (แกน x) และ Pitch (แกน y) ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนทิศเพื่อวัดค่าความเร่งสามแกน ให้ทำมุม 30, 60, 90 และ 180 °C ตามแนวแกน x และ y แสดงดังรูปที่ 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

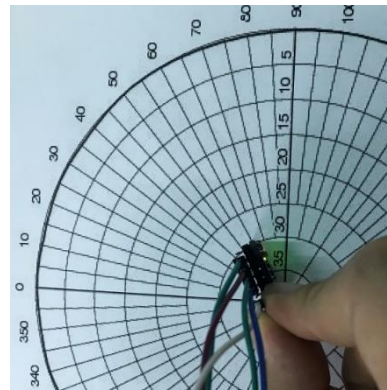
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

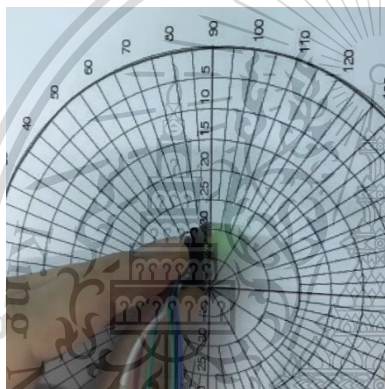
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



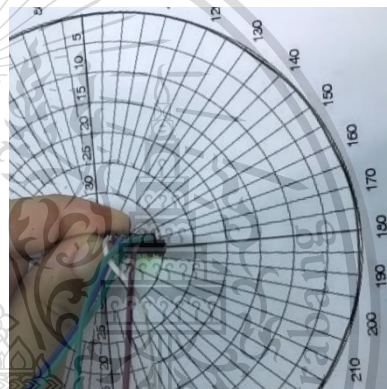
รูปที่ 4.3 วัดมุมแกน x ที่ 30 °C



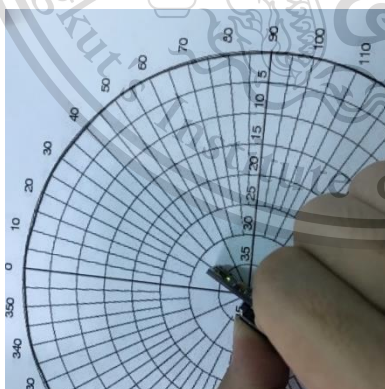
รูปที่ 4.4 วัดมุมแกน x ที่ 60 °C



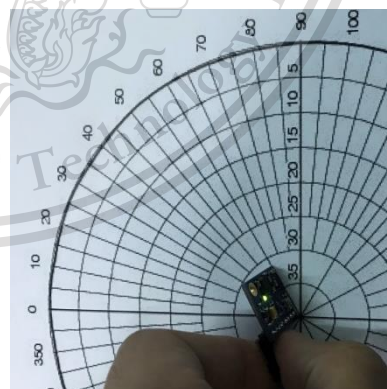
รูปที่ 4.5 วัดมุมแกน x ที่ 90 °C



รูปที่ 4.6 วัดมุมแกน x ที่ 180 °C



รูปที่ 4.7 วัดมุมแกน y ที่ 30 °C

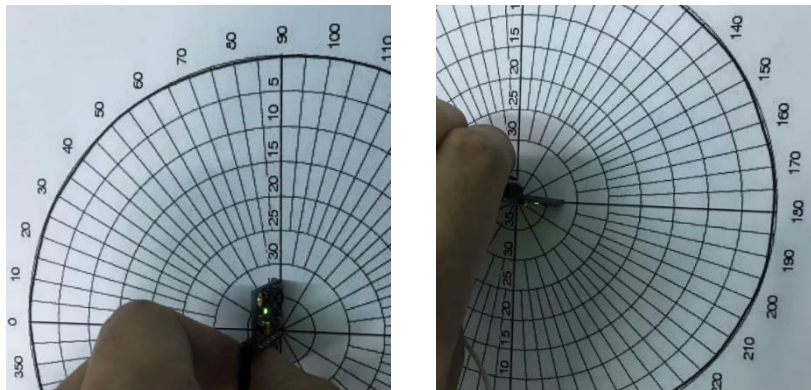


รูปที่ 4.8 วัดมุมแกน y ที่ 60 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 วัดมุมแกน y ที่ 90°C รูปที่ 4.10 วัดมุมแกน y ที่ 180°C

จากรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 แสดงการปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์ GY-87 BMP180 ไปตามค่ามุม 30, 60, 90 และ 180°C ตามลำดับ โดยเปลี่ยนทิศทางให้สอดคล้องกับแนวแกนของการหมุน Roll (แกน x) โดยกำหนดทิศทางให้มุม Pitch (แกน y) คงที่ จะได้ผลการทดลองดังแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่ามุม Roll (แกน x) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050

ครั้งที่	มุม ($^{\circ}\text{C}$)			
	30°C	60°C	90°C	180°C
1	32.83	60.77	94.68	179.10
2	31.42	59.57	95.48	179.17
3	28.25	60.48	93.68	180.33
4	33.01	59.17	95.62	178.13
5	32.97	62.30	88.15	178.63
6	33.97	61.04	91.82	178.19
7	32.00	60.58	88.90	178.06
8	32.77	62.69	95.08	177.48
9	29.04	61.23	86.45	180.15
10	32.67	58.44	92.04	178.50
ค่าเฉลี่ย	31.89	60.63	92.19	178.77
ค่าความคลาดเคลื่อน(%)	5.92	1.04	2.37	0.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าของมุม Roll (แกน x) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 จากการทดลองที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทิศทางให้เป็นมุม 30, 60, 90 และ 180 °C ตามลำดับคิดเป็นมุมเฉลี่ย 31.89, 60.63, 92.19, 178.77 °C ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบกับค่ามุมที่กำหนดและหาความคลาดเคลื่อนจะพบว่าความคลาดเคลื่อนที่สูงที่สุดคือ 5.92 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง 30 °C

จากรูปที่ 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22 แสดงการปรับเปลี่ยนทิศทางของเซนเซอร์ GY-87 BMP180 ไปตามค่ามุม 30,60, 90 และ 180 °C ตามลำดับ โดยเปลี่ยนทิศทางให้สอดคล้องกับแนวแกนของการหามุม Pitch (แกน y) โดยกำหนดทิศทางให้มุม Roll (แกน x) คงที่จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่ามุม Pitch (แกน y) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050

ครั้งที่	มุม (°C)			
	30 °C	60 °C	90 °C	180 °C
1	31.45	60.60	89.64	177.19
2	29.17	59.64	93.68	176.03
3	30.07	61.03	90.03	178.49
4	31.48	60.12	90.27	179.84
5	29.56	59.65	91.26	179.00
6	30.44	61.66	91.86	180.96
7	32.94	60.78	88.39	181.88
8	33.90	60.48	90.73	179.05
9	32.59	58.93	92.26	178.61
10	31.82	60.23	91.82	182.35
ค่าเฉลี่ย	1.34	60.31	90.94	179.34
ค่าความคลาดเคลื่อน(%)	4.27	0.51	1.03	0.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

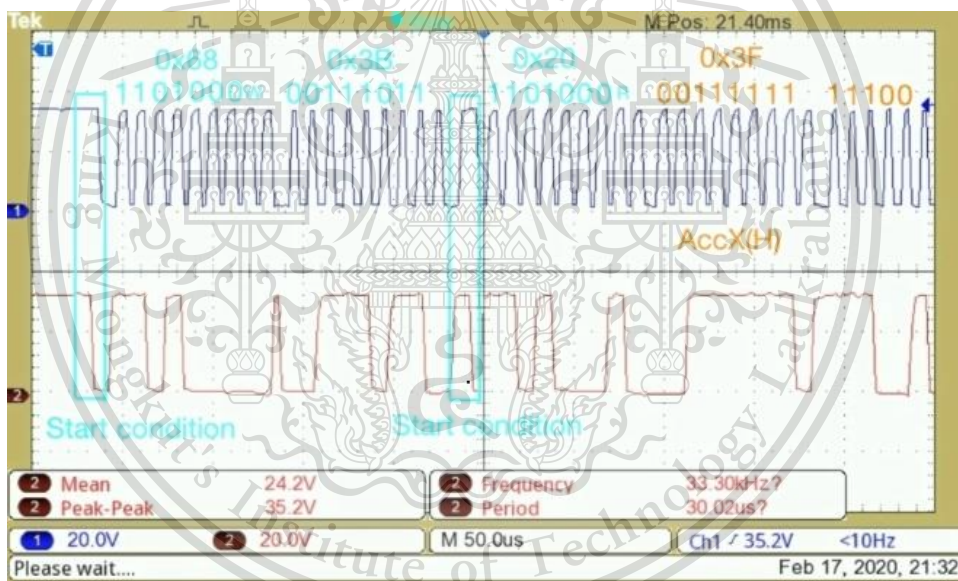
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าของมุม Pitch (แกน y) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 จากการทดลองที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงทิศทางให้เป็นมุม 30, 60, 90 และ 180 °C ตามลำดับคิดเป็นมุมเฉลี่ย 31.34, 0.51, 90.94, 179.34 °C ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามุมที่กำหนด และหาความคลาดเคลื่อนจะพบว่าความคลาดเคลื่อนที่สูงที่สุดคือ 4.27 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง 30 °C

เนื่องจากข้อจำกัดของ accelerometer ค่าของมุม Yaw (แกน z) ที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงจนนำมาใช้ไม่ได้ โดยทั่วไปถ้าใช้แค่ค่าความเร่งที่วัดได้จาก accelerometer เพียงอย่างเดียวมุม yaw (แกน z) จะไม่ถูกนำมาใช้ ดังนั้นในบทความนี้เราจะพูดถึงแค่ Roll (แกน x) และ Pitch (แกน y) เท่านั้น

เมื่อทำการวัดสัญญาณจากเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 ที่ขา SDA ที่เป็นขาส่งสัญญาณข้อมูลเทียบกับขา SCL ที่เป็นขาสัญญาณนาฬิกาผ่านออสซิลโลสโคป ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

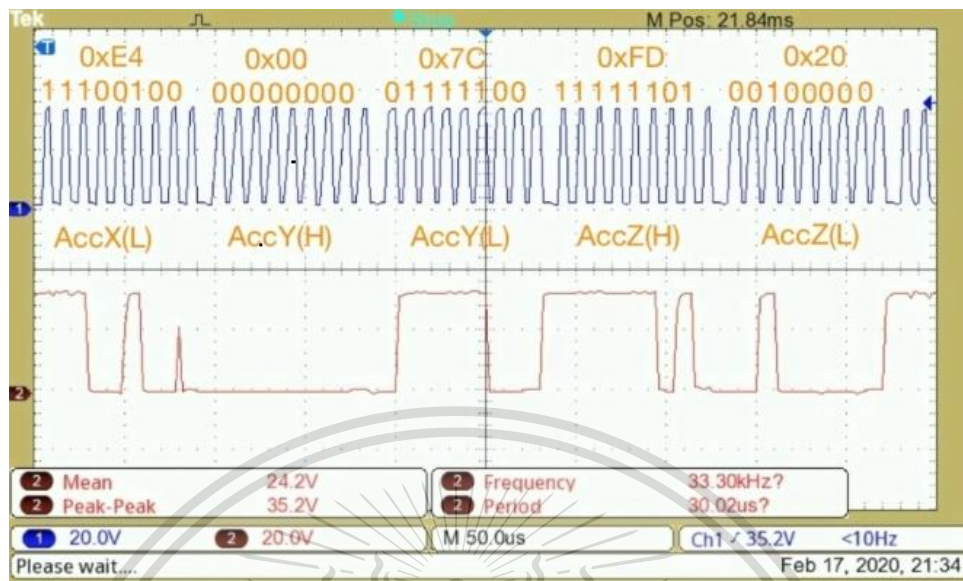


รูปที่ 4.11 สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 1

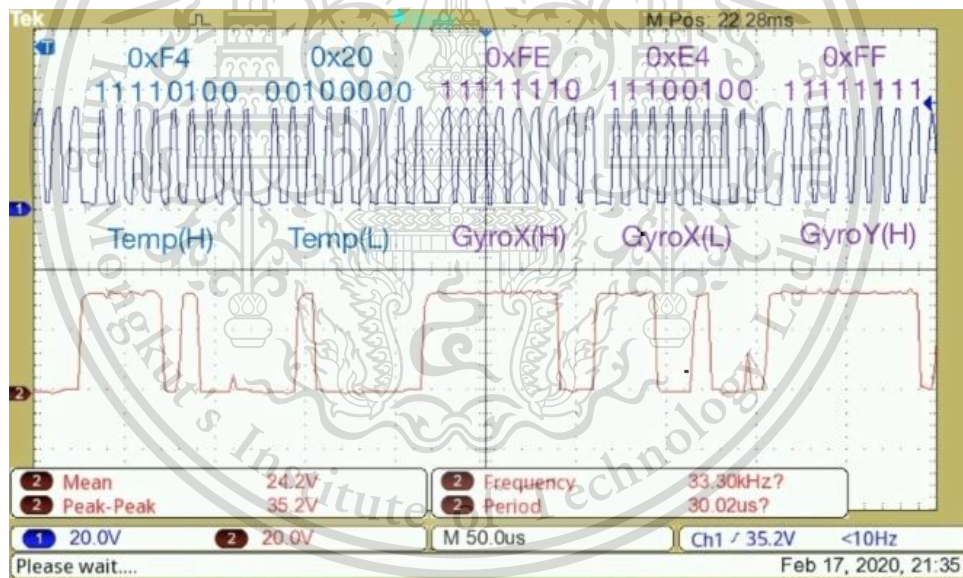
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 2

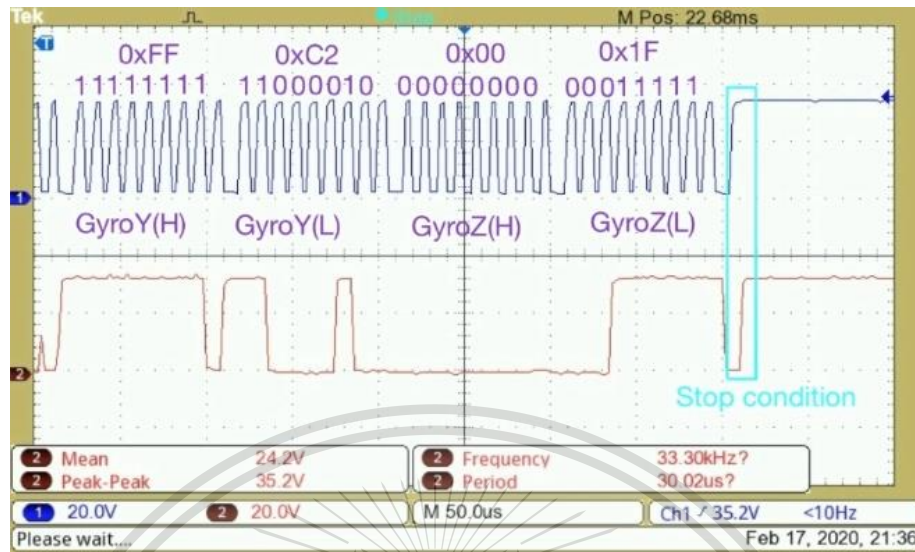


รูปที่ 4.13 สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 สัญญาณข้อมูลของ GY-87 MPU6050 ช่วงที่ 4

จากรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงให้เห็นถึงการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 โดย CH 1 คือ สัญญาณจากขา SDA หรือขาข้อมูลทีเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 ส่งมา และ CH2 คือสัญญาณนาฬิกาหรือขาสัญญาณนาฬิกาที่คอยบอกช่วงเวลาที่มีการรับส่งข้อมูล ช่วงไหน โดยแอดเดรสของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 คือ 0x68 รวมบิตที่ 8 ซึ่งเป็นบิต WRITE จะมีค่าเท่ากับ 0xD0 คือมีการเขียนข้อมูลในรีจิสเตอร์ถัดไปตามด้วยแอดเดรสของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 คือ 0x68 ตามด้วยบิตที่ 8 ซึ่งเป็นบิต READ จะมีค่าเท่ากับ 0xD1 ถัดจากนั้นตามด้วยการอ่านข้อมูลของ GY-87 MPU6050 อีก 14 ไบต์ นับตั้งแต่ 0x3F จนถึง 0x1F ซึ่งจะแยกข้อมูลกันอย่างชัดเจนว่าข้อมูลเป็นของค่าของ ความเร่งในแนวแกน X (High), ความเร่งในแนวแกน X (Low), ความเร่งในแนวแกน Y (High), ความเร่งในแนวแกน Y (Low), ความเร่งในแนวแกน Z (High), ความเร่งในแนวแกน Z (Low), อุณหภูมิ (High), อุณหภูมิ (Low), Gyroscope แกน X (High), Gyroscope แกน X (Low), Gyroscope แกน Y (High), Gyroscope แกน Y (Low), Gyroscope แกน Z (High), Gyroscope แกน Z (High) และตามด้วย Stop บิต

การหาค่าของเซนเซอร์ GY-87 MPU6050 ในแต่ละแกนสามารถหาค่าได้โดยแบ่งเป็น 16 บิต และทำวิธี 2's complement ค่าที่ได้จะเป็นข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการทำให้เป็นข้อมูลที่สามารนำไปใช้งานจริงได้

4.2.3 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ DHT22 / AM2302 Module

ในการทดสอบเซนเซอร์ DHT22 ได้ทดลองโดยการทดสอบวัดอุณหภูมิในแต่ละช่วง อุณหภูมิจำนวน 10 ครั้ง เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ ทำการหาค่าเฉลี่ยค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จาก DHT22 และหาค่าความคลาดเคลื่อนจะได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เทียบกับ
เทอร์โมมิเตอร์

เทอร์โมมิเตอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 ($^{\circ}\text{C}$)										เฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าความ คลาดเคลื่อน เฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10		
26	26.8	26.8	26.7	26.7	26.7	26.8	26.7	26.7	26.8	26.8	26.75	0.75
28	28.9	28.8	28.8	28.7	28.7	28.8	28.8	28.9	28.9	28.9	28.82	0.82
30	30.5	30.6	30.7	30.7	30.6	30.8	30.9	30.9	30.7	30.7	30.71	0.71
32	32.7	32.8	32.8	32.8	32.9	32.9	32.8	32.8	32.9	32.9	32.83	0.83
34	34.5	34.5	34.6	34.7	34.7	34.8	34.8	34.7	34.6	34.7	34.66	0.66
36	36.5	36.5	36.6	36.6	36.8	36.8	36.7	36.7	36.7	36.8	36.67	0.67
38	38.4	38.6	38.8	38.7	38.8	38.8	38.8	38.7	38.7	38.8	38.71	0.71
40	40.8	40.7	40.7	40.8	40.5	40.6	40.7	40.8	40.6	40.6	40.68	0.68
42	42.9	43.0	43.0	43.0	42.9	42.8	42.7	42.5	42.6	42.5	42.79	0.79
44	44.7	44.7	44.8	45.0	45.0	45.1	44.9	44.8	44.8	44.6	44.84	0.84
46	46.8	46.8	46.6	46.7	46.7	46.9	46.8	46.8	47.0	46.9	46.80	0.80
48	48.8	48.9	48.7	48.6	48.9	48.9	48.9	48.8	49.0	48.8	48.83	0.83
50	50.8	50.8	50.7	50.7	50.8	50.7	50.7	50.8	50.8	50.7	50.75	0.75
52	52.7	52.8	52.8	52.7	52.9	52.9	52.8	52.8	52.8	52.9	52.81	0.81
54	54.5	54.5	54.7	54.8	54.8	54.7	54.5	54.7	54.7	54.8	54.67	0.67
56	56.7	56.8	56.8	56.7	56.7	56.6	56.8	56.7	56.6	56.7	56.71	0.71
58	58.5	58.8	58.8	58.7	58.8	58.9	58.9	58.9	58.8	58.7	58.78	0.78
60	60.6	60.6	60.8	60.5	60.8	60.8	60.7	60.6	60.8	60.8	60.70	0.70
62	62.8	62.6	62.6	62.7	62.7	62.7	62.6	62.8	62.8	62.9	62.72	0.72
64	64.9	64.9	64.8	65.0	64.8	64.8	64.7	64.7	64.6	64.8	64.80	0.80
66	66.5	66.7	66.7	66.6	66.8	66.8	66.8	66.5	66.7	66.5	66.66	0.66
68	68.8	69.0	69.0	68.8	68.9	68.7	68.7	68.8	68.8	68.7	68.82	0.82
70	70.6	70.5	70.5	70.7	70.8	70.8	70.8	70.9	70.7	70.8	70.71	0.71

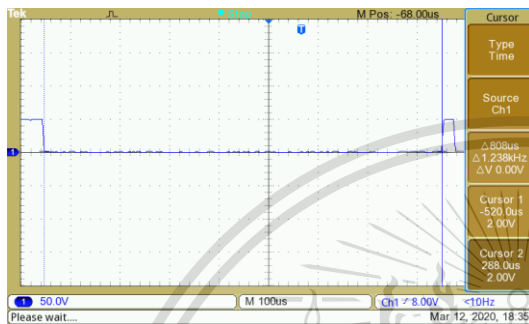
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

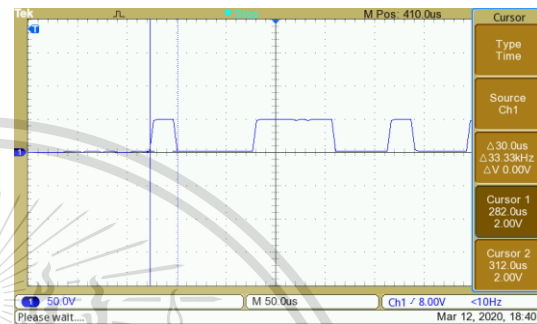
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ DHT22 เปรียบเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิในแต่ละช่วงอุณหภูมิจำนวน 10 ครั้ง พบว่าค่าที่ได้จากอุปกรณ์มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมากกว่าค่าที่เทอร์โมมิเตอร์วัดได้อยู่ 0.74°C

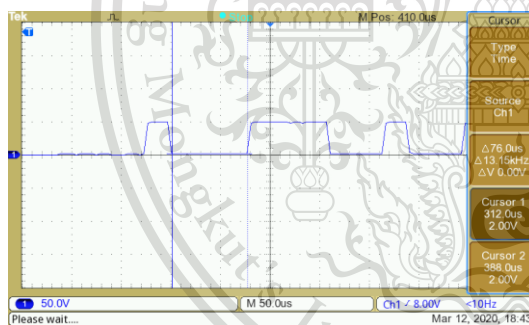
เมื่อทำการวัดเซนเซอร์ DHT22 ที่ขา Pin2 หรือขาที่ส่งข้อมูล ผ่านออสซิลโลสโคปและทำการถอดรหัสชุดข้อมูล ดังรูปที่ 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ



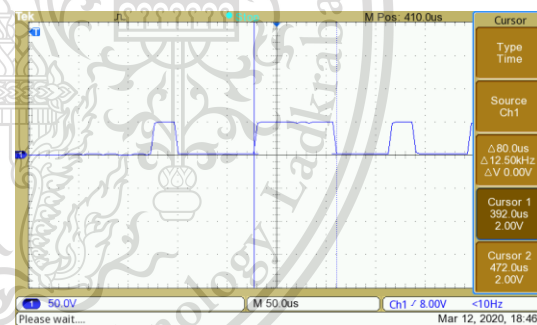
รูปที่ 4.15 เริ่มส่งสัญญาณข้อมูลโดยจะค้างสัญญาณไว้ที่ logic Low อย่างต่ำ 500 Ms



รูปที่ 4.16 DHT22 จะดึงสัญญาณให้เป็น logic High 30 Ms เพื่อรอการตอบกลับจาก sensor



รูปที่ 4.17 DHT22 ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปยัง Host และรออีก 76-80 Ms

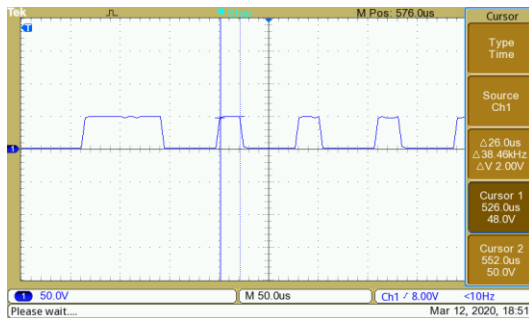


รูปที่ 4.18 DHT22 ดึงสัญญาณขึ้นให้เป็น logic High 80 Ms

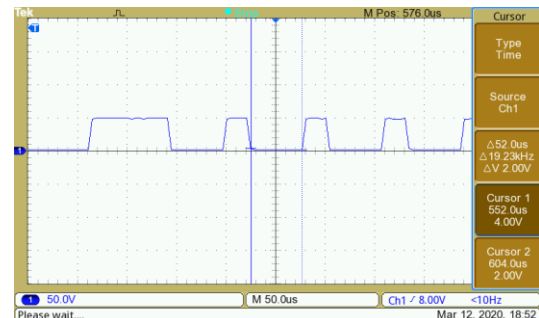
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

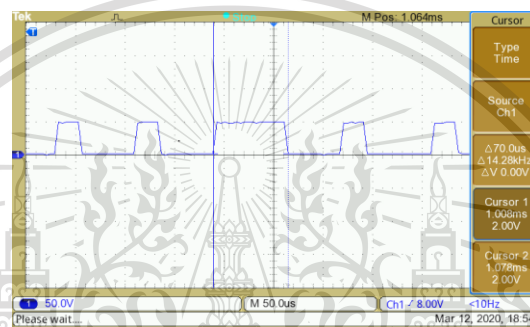
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 บิต 0 จะมีระยะเวลา 26-28 Ms



รูปที่ 4.20 รอ 52 Ms เพื่อส่งบิตถัดไป



รูปที่ 4.21 บิต 1 มีระยะเวลา 70 Ms

การส่งข้อมูลของ DHT 22 จะมีข้อมูลทั้งหมด 40 Bit โดยจะแบ่งเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ 16 Bit ค่าอุณหภูมิ 16 Bit และ Check sum อีก 8 Bit ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ข้อมูลทั้งหมดของ DHT22

การคำนวณหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าอุณหภูมิทำโดยการแปลงบิตจากเลขฐานสองให้เป็นเลขฐานสิบจึงจะได้ข้อมูลตาม Serial monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ HC-SR04 (Ultrasonic sensor)

ในการทดสอบเซนเซอร์ HC-SR04 ทดสอบโดยการวัดระยะวัตถุกับเซนเซอร์เป็นระยะ 300 cm เพิ่มขึ้นทีละ 5 cm เป็นจำนวน 10 ครั้งในแต่ละรอบ แล้วนำค่าที่วัดได้ 10 ครั้งในแต่ละรอบนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงตารางที่ 4.6 เมื่อนำค่าที่ได้มาพร้อมกราฟแสดงระยะทางเฉลี่ยที่ได้จากเซนเซอร์เทียบกับระยะทางจริงแสดงได้ดังรูปที่ 4.23

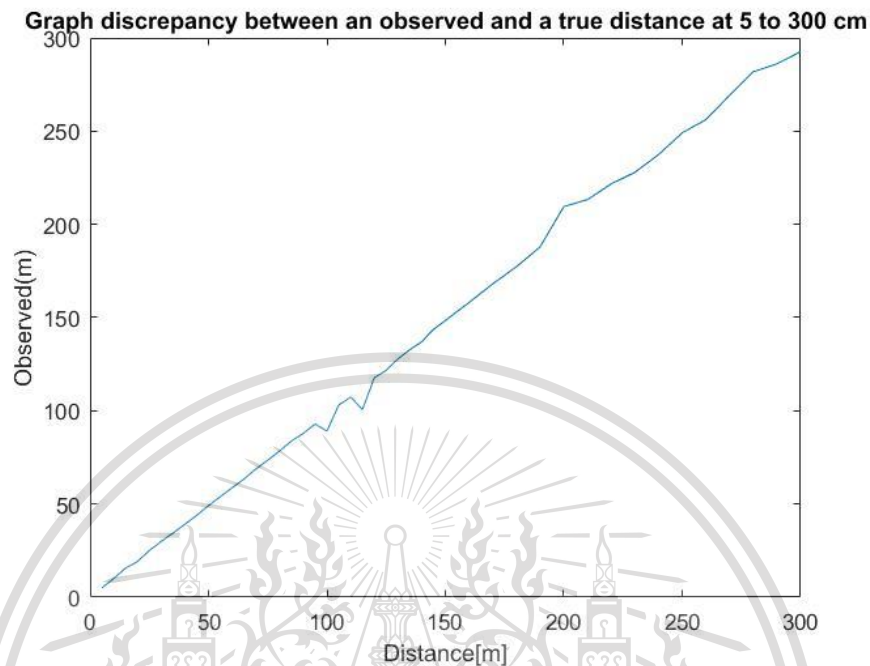
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการวัดระยะของเซนเซอร์ HC-SR04

ระยะทาง (cm)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	ค่าเฉลี่ย (cm)
10.0	10.1	10.2	10.2	10.1	10.7	10.2	10.2	10.1	9.7	9.6	10.1
20.0	20.1	10.2	19.5	19.6	19.4	20.0	20.4	20.5	20.9	20.2	19.1
30.0	29.0	29.8	29.5	30.6	30.7	29.8	30.7	30.2	29.8	29.4	29.9
40.0	38.8	38.8	38.8	39.0	39.5	39.0	39.0	39.1	39.9	39.0	39.1
50.0	49.1	49.0	49.0	49.0	49.0	49.0	49.1	49.4	49.0	49.1	49.1
60.0	58.7	58.6	58.0	59.2	59.1	58.6	58.3	59.0	58.6	59.0	58.7
70.0	69.1	68.2	73.0	67.9	68.6	68.5	68.1	68.6	68.2	68.1	68.8
80.0	78.1	78.7	78.7	78.3	78.7	78.7	78.2	78.3	78.2	78.3	78.4
90.0	89.1	88.9	88.2	85.2	87.7	86.6	88.2	88.7	88.3	88.3	87.9
100.0	98.1	8.2	98.0	98.1	97.9	98.0	98.9	98.1	98.5	97.7	89.1
120.0	118.1	117.6	117.5	117.6	117.4	117.4	117.4	117.9	118.2	117.8	117.7
140.0	137.1	137.4	136.1	137.1	137.2	136.8	137.0	138.1	136.7	136.1	137.0
160.0	158.0	158.0	157.8	158.3	161.4	157.6	157.8	155.5	159.0	157.4	158.1
180.0	177.8	174.2	171.7	177.9	176.6	184.2	177.7	177.6	177.5	178.1	177.3
200.0	200.0	200.0	291.9	199.2	199.7	200.4	201.5	199.9	201.5	200.5	209.5
250.0	252.6	247.2	249.1	249.1	250.3	250.8	251.8	250.3	249.8	240.0	249.1
300.0	296.3	269.9	296.7	299.8	320.2	299.5	280.4	269.7	297.4	296.7	292.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4 23 ระยะทางจริงและระยะทางเฉลี่ยของโมดูลเซนเซอร์อัลตราโซนิค HC-SR04

จากรูปที่ 23 เป็นการแสดงระยะทางจริงและระยะทางเฉลี่ย โดยผู้จัดทำได้ทำการวัดทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยผลที่ได้คือระยะทางเฉลี่ยมีความใกล้เคียงกับระยะจริง ที่สนใจในระยะ 3 m เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบระยะวัตถุในระยะใกล้กับโรเวอร์

คุณลักษณะของเซนเซอร์จะต้องสร้างสัญญาณพัลส์ความกว้างไม่น้อยกว่า 10 ms ป้อนเข้าที่ขา Trig หลังจากนั้นอีกประมาณ 1.4 ms จึงจะเริ่มมีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้นที่ขา Echo มีความกว้างของสัญญาณตั้งแต่ 150 μ s – 25 ms ซึ่งถ้าหากกว้างกว่านี้จะถือว่าตรวจไม่พบวัตถุ หลังจากนั้นควรหน่วงเวลาออกไปอีก 10 ms จึงจะส่งสัญญาณ Trig ออกไปอีกรอบ โดยผลการทดสอบอัลตราโซนิคเซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ

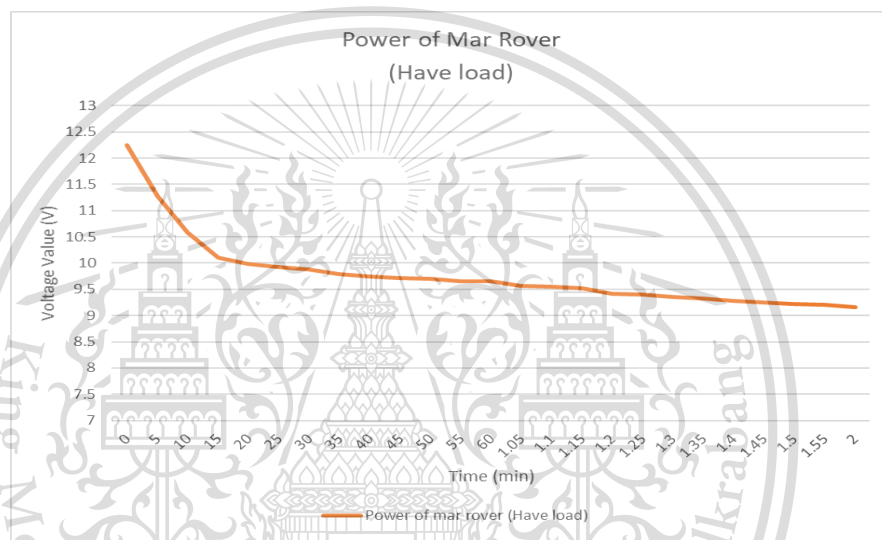
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

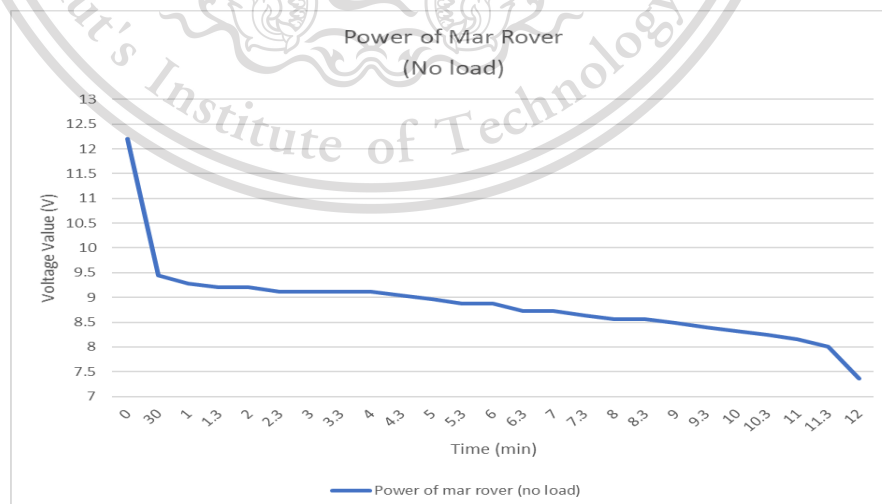
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.5 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Voltage Module

ในการทดสอบเซนเซอร์ Voltage ได้ทดลองโดยทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ 12 V เพื่อที่วัดค่าแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถบอกปริมาณพลังงานของแบตเตอรี่ได้ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ให้คำสั่งโรเวอร์เคลื่อนที่แบบมีน้ำหนัก โดยปล่อยให้โรเวอร์วิ่ง วัดค่าแรงดัน และเก็บผลทุก 5 นาทีจนแบตเตอรี่หมด ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ แบบไม่มีน้ำหนัก โดยปล่อยให้โรเวอร์วิ่งแบบไม่ให้อึดติดพื้น วัดค่าแรงดันและเก็บผลทุก 30 นาที จนแบตเตอรี่หมด ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่แบบมีน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.27 ค่าแรงดันของแบตเตอรี่แบบไม่มีน้ำหนักให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

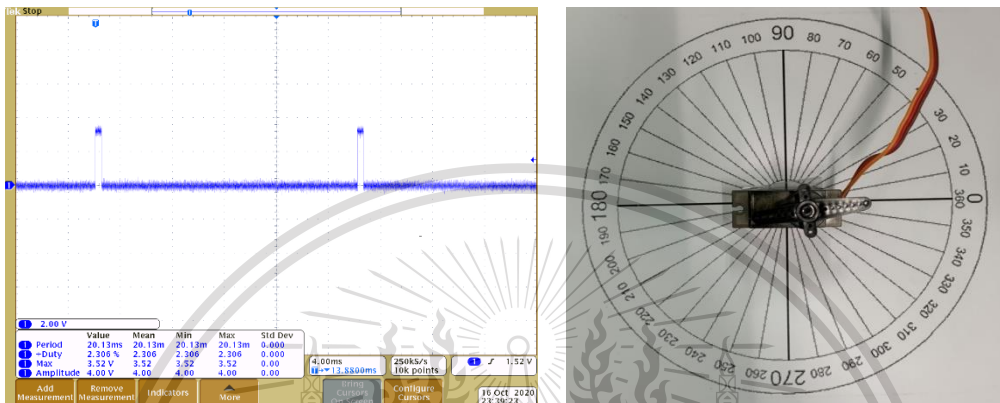
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

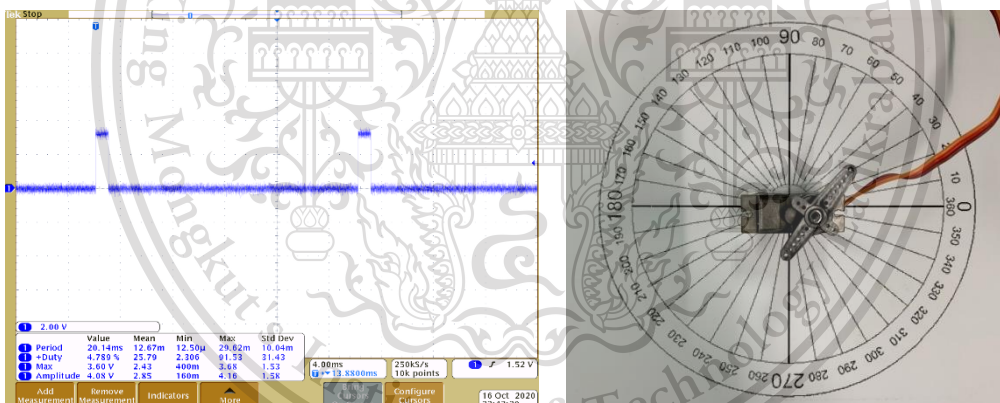
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.6 การทดสอบการทำงานของ Servo motor MG90S

ในการทดสอบ Servo motor ได้ทำการทดสอบที่องศาต่างเทียบกับมุม 0, 45, 90, 135 และ 180 °C เมื่อทำการวัดสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกจากบอร์ดควบคุมสายสัญญาณผ่านออสซิลโลสโคป ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ



รูปที่ 4.28 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 0 °C

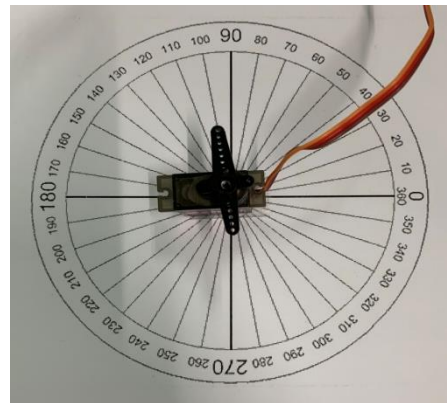
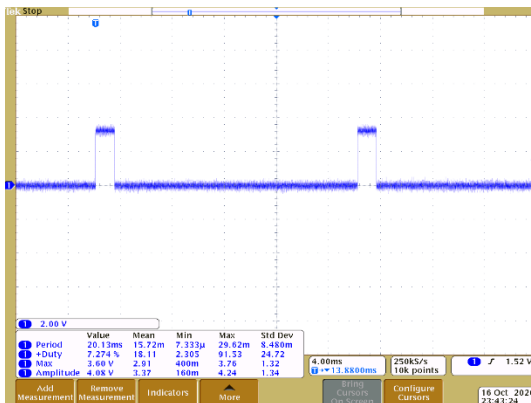


รูปที่ 4.29 สัญญาณพัลส์และเซอร์โวมอเตอร์ที่มุม 45 °C

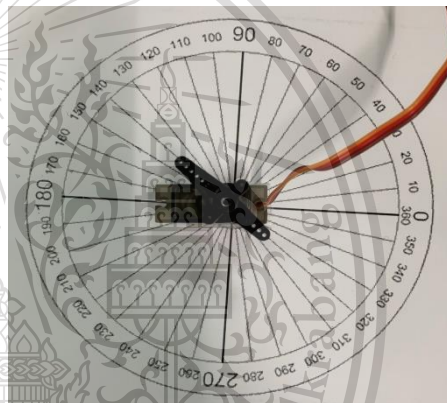
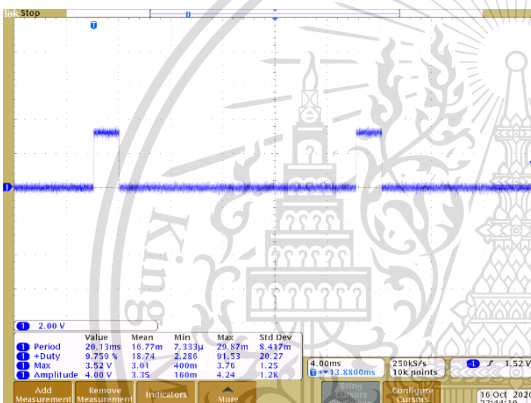
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

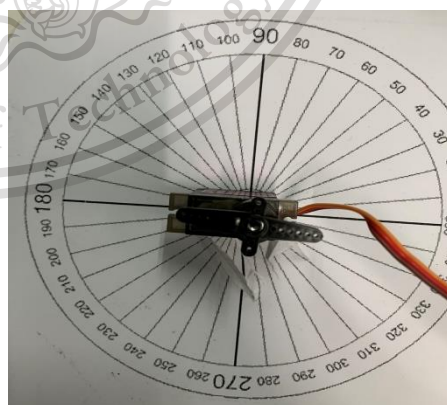
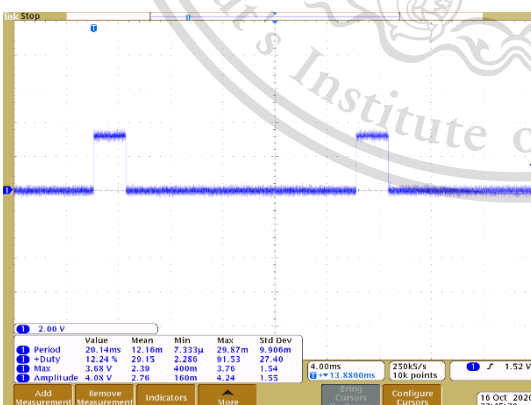
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.30 สัญญาณพัลส์และเซอร์ไวโมเตอร์ที่มุม 60 °C



รูปที่ 4.31 สัญญาณพัลส์และเซอร์ไวโมเตอร์ที่มุม 135 °C



รูปที่ 4.32 สัญญาณพัลส์และเซอร์ไวโมเตอร์ที่มุม 180 °C

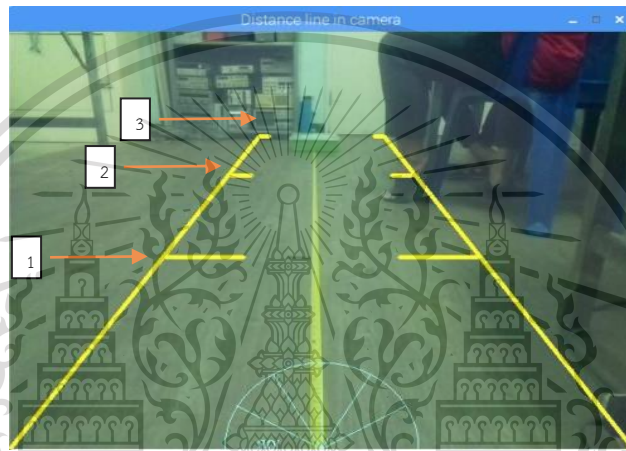
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

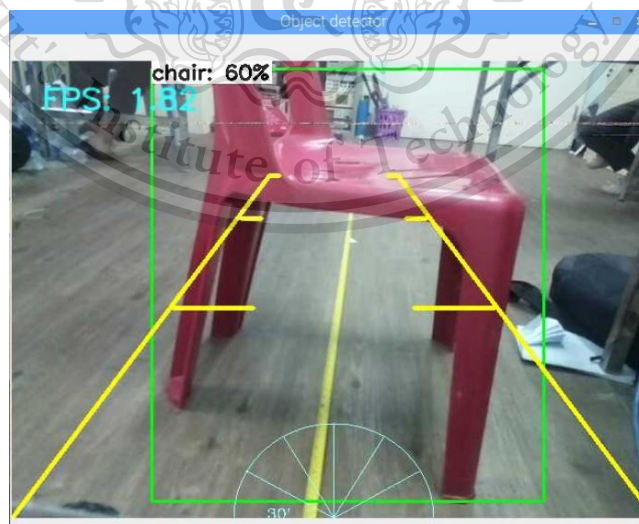
4.3 การทดสอบระยะวัตถุจากกล้อง

การทดสอบวัตถุที่ระยะทางต่างๆ โดยกำหนดมุมก้มของกล้องเทียบกับเส้นขอบฟ้า เป็นมุมก้มประมาณ 45° C โดยเป็นการตรวจจับวัตถุว่าประมาณวัตถุอยู่ในช่วงระยะเท่าไรเทียบกับการวัดจริง โดยในการทดสอบเบื้องต้นจะทำการวัดเส้นที่ได้จากการการวัดที่ระยะ 1, 2 และที่ 3 m ดังรูปที่ 4.33 ในหมายเลขที่ 1 หมายถึงเส้น 1 m หมายเลขที่ 2 หมายถึงเส้น 2 m และหมายเลขเลขที่ 3 หมายถึงเส้น 3 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 และ 4.31 ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 เส้นแสดงบอกช่วงระยะของวัตถุ

4.3.1 การทดสอบระยะวัตถุที่ระยะน้อยกว่า 1 m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4.34 วัตถุที่ระยะ 0.5 m อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

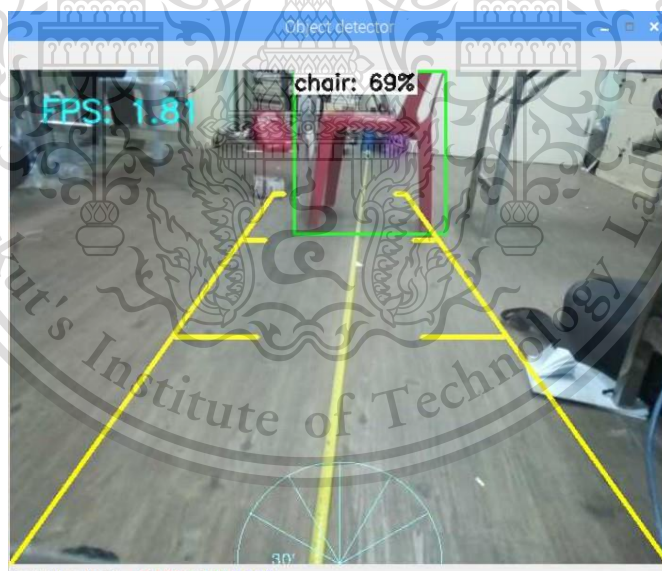

```

pi@raspberrypi: ~/tflite1
File Edit Tabs Help
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.
The distance form camera to object is 1-2 m.

```

รูปที่ 4.37 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 1 m แต่ไม่เกิน 2 m

4.3.3 การทดสอบระยะวัตถุที่มากกว่า 2 m แต่ไม่เกิน 3 m

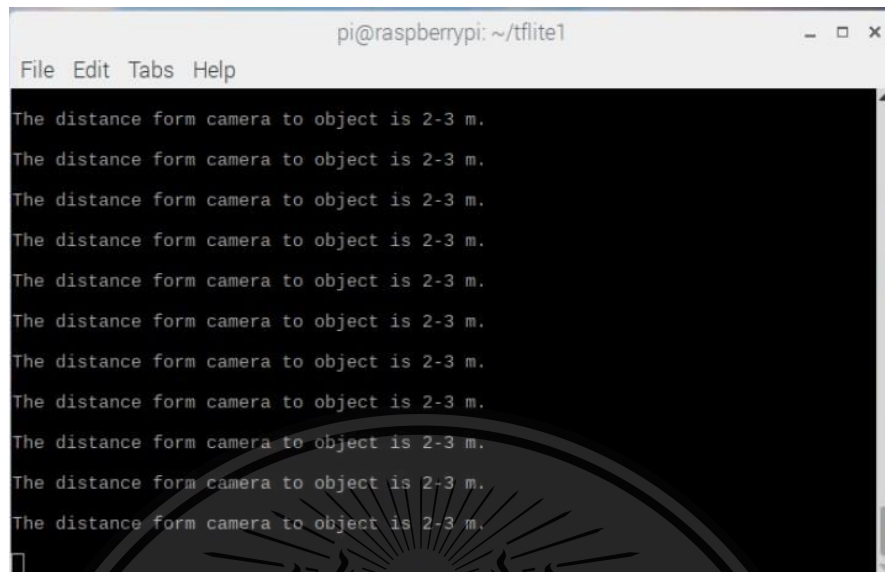


รูปที่ 4.38 วัตถุที่ระยะ 2.5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

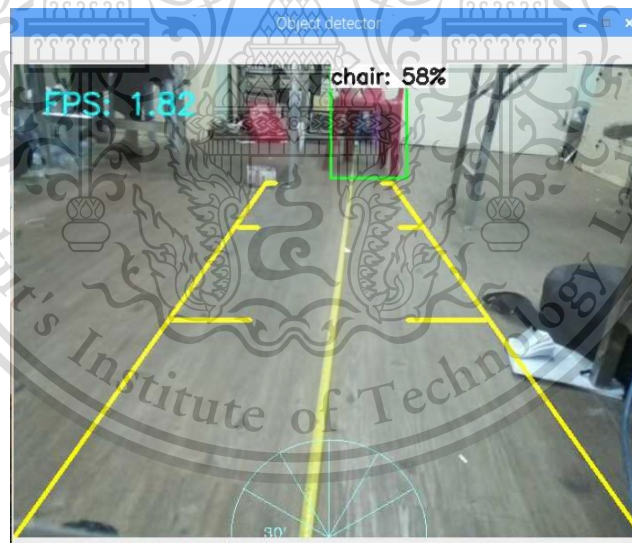
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.39 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 2 m แต่ไม่เกิน 3 m

4.3.4 การทดสอบระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 3 m

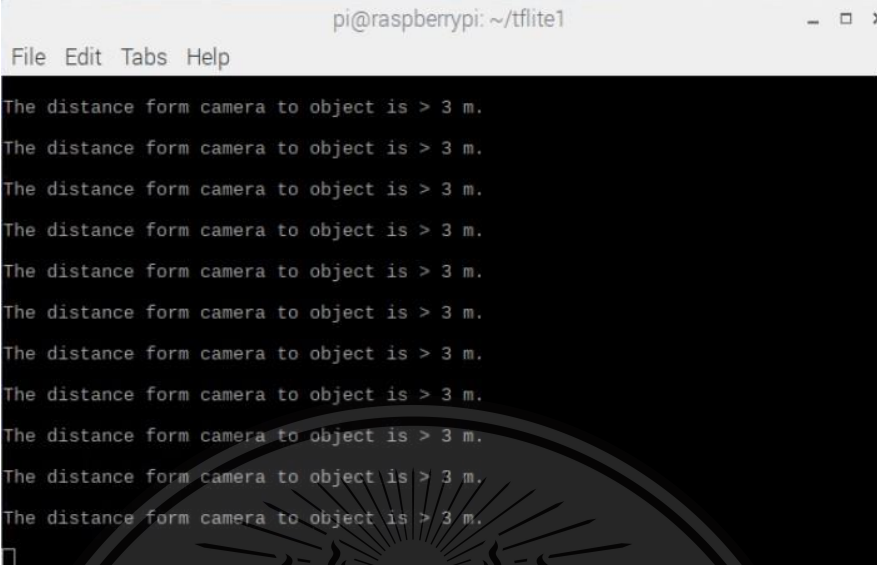


รูปที่ 4.40 วัตถุที่ระยะ 3.5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



```

pi@raspberrypi: ~/tflite1
File Edit Tabs Help
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.
The distance form camera to object is > 3 m.

```

รูปที่ 4.41 หน้าจอแสดงผลที่ระยะวัตถุที่ระยะมากกว่า 2 m แต่ไม่เกิน 3 m

4.4 ทดสอบการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคอนโวลูชัน

ทำการเตรียมข้อมูลตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในการเข้ารหัส โดยจะนำข้อมูลอ่านออกมาให้อยู่ในรูปของบิต ทำการแปลงข้อมูลจากไบต์เป็นข้อมูลที่เป็บิต เพื่อที่หลังจากนั้นจะนำบิตข้อมูลให้อยู่ในรูปของ Array เก็บเข้าไปทีละ 1 บิต ตามลำดับดังรูปที่ 4.42 หลังจากนั้นทำการเข้ารหัสของข้อมูลคอนโวลูชัน ที่มี code rate = 1/2 ทำให้ข้อมูลที่ออกมาเป็น จำนวน 2 บิตต่อ 1 symbol และนำมาจัดเก็บลงใน Array ที่เก็บข้อมูลตัวเข้ารหัสแล้ว ดังรูปที่ 4.43 หลังจากนั้นทำการแบ่งข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือข้อมูล 1000 บิตแรกของรูปภาพ ดังรูปที่ 4.44 ทำการแปลงข้อมูลในรูปของบิตกลับเป็นไบต์ ดังรูปที่ 4.45 และทำการแปลงเป็น Hex String เพื่อใช้ในการส่งต่อไป ดังรูปที่ 4.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.


```
bitsent b' \xda\xaa\xa4\\ \xda\xaa\xa9\xc0\x00\x03\xb0; \xe2\xfb5\xfb\xef\x8b5\xc0\x00\x03\xb0\x0
Qp\x00; \r\r\x00\x08\xb0; \x00; \x00; \x00; \x00\rp8\xb0; \x00; \x00; \x005\xc08\xb08\xb05\xc0\xec\x00\xd4\xb
b3\xbds\xb0\x03 \x8b\x03 \xbds \xbe \xc3 \xb0 \x03 \xbe \xc3 \xbe \xc3 \x8b \x03 \x86sd \xb3'
```

รูปที่ 4.45 แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปข้อ Byte

```
length= 250
Hex_DataImage daaaa45cdaaaa9c0000003b03be2fb35fbef8b35c000003b003b003b0003bec00003bec0000000daaaa451
70003b0d70000038b03b003b003b000d7038b03b003b003b0035c038b038b035c0ec00d4b0ec00ec0036703670ec03b000
e170d700efb0d4b3bd73b0038b03bd73bec3b003bec3bec38b03867364b3
```

รูปที่ 4.46 แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของ Hex String

4.5 ทดสอบการถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi Algorithm

การทดสอบการถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi algorithm จะทำการทดสอบการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวน โดยจะทำการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด เพื่อทดสอบการแก้ไขข้อมูลบิตที่ผิดพลาดจึงเตรียมข้อมูลที่ผิดพลาดไว้ ดังรูปที่ 4.47 เมื่อฝั่งรับได้รับข้อมูลเข้ามาผ่านโมดูลสื่อสารจะนำข้อมูลที่รับมาเป็น Hex String ทำการนำ Hex String แปลงให้อยู่ในรูปของไบนารีตามรูปที่ 4.48 หลังจากนั้นทำการอ่านข้อมูลออกมาเป็นไบนารีบิต และนำไปเก็บเอาไว้ในตัวแปรของ Array หลังจากนั้น Sub String ให้ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 บิตต่อ 1 symbol ดังรูป หลังจากนั้นนำข้อมูลไปถอดรหัสด้วยวิเทอร์บี จากการทดลองนำข้อมูล 1000 บิตแรก ดังรูปที่ 4.49 นำมาแก้ไขบิตที่ 4 ของข้อมูล ดังรูปที่ 4.47 จาก DAAA เป็น DAAB ซึ่งผลการทดลองออกมาจะได้ข้อมูลออกมามีรูปคือข้อมูลจะถูกแก้ไขกลับเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 4.50 แต่เนื่องจากการเข้ารหัสข้อมูลแบบคอนโวลูชันไม่สามารถแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดแบบ Burst error ได้ดีจึงอาจมีการแก้ไขข้อมูลกลับมาได้ไม่ถูกต้องทั้งหมดแต่จะเห็นได้ว่าสามารถแก้ไขข้อมูลแบบ Single bit error ได้ดี

```
data_Error daaab45cdaaaa9c0000003b03be2fb35fbef8b35c000003b003b003b0003bec00003bec0000000daaaa451700
03b0d70000038b03b003b003b000d7038b03b003b003b0035c038b038b035c0ec00d4b0ec00ec0036703670ec03b000e17
0d700efb0d4b3bd73b0038b03bd73bec3b003bec3bec38b03867364b3
```

รูปที่ 4.47 ข้อมูลที่มีการผิดพลาดที่บิตที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6 ผลการทดสอบอัตราความผิดพลาดระหว่างข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสคอนโวลูชัน และ ข้อมูลที่ไม่ได้ทำการเข้ารหัสเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

ทำการกำหนดข้อมูลตัวอย่างขนาด 125 byte เป็นข้อมูลที่ยังไม่ถูกเข้ารหัสและนำไปเข้ารหัส คอนโวลูชันที่ code rate 1/2 ทำให้ข้อมูลที่เข้ารหัสเป็น 250 byte นำข้อมูลมาส่งผ่าน โมดูลสื่อสาร LoRa module บนคลื่นความถี่ 915 MHz ที่กำลังส่งของ LoRa 100 mW อัตราการแพร่กระจายสัญญาณมีค่าเป็น 12 ที่เกนเสาอากาศ 2 dBi และนำข้อมูลที่รับมาหาอัตราความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวน (SNR) จะได้ผลการทดลอง ออกมาดังตารางที่ 4.7 4.8 และ 4.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเทียบกับ อัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวน แสดงดังรูปที่ 4.51

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกข้อมูลค่า SNR ที่ระยะทางต่าง ๆ

ระยะทาง (m)	ครั้งที่1 SNR (dB)	ครั้งที่2 SNR (dB)	ครั้งที่3 SNR (dB)	ครั้งที่4 SNR (dB)	ครั้งที่5 SNR (dB)	ค่าเฉลี่ย SNR (dB)
350	-6.00	-8.7	-6.7	-7.7	-7.7	-7.4
370	-11.5	-14.0	-15.5	-15.5	-10.0	-13.3
390	-10.7	-12.2	-13.2	-12.3	-12.2	-12.1
410	-13.2	-15	-16.2	-20	-13.5	-15.6
430	-23.0	-16.2	-23.0	-15.7	-19.2	-19.4
450	-18.5	-16.5	-16.7	-22	-15.7	-17.9
470	-16.2	-18.2	-16.2	-22.2	-19.0	-18.4
490	-23.7	-22.2	-23.7	-19.2	-16.2	-21.0
500	-21.0	-22.0	-23.5	-18.2	-23.5	-21.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดของข้อมูลเข้ารหัสที่ระยะทางต่าง ๆ

ระยะทาง (m)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าความผิดพลาด
350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
370	0.252	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0504
390	0.196	0.000	0.108	0.000	0.000	0.0608
410	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.0244
430	0.36	0.322	0.333	0.404	0.384	0.3600
450	0.342	0.196	0.000	0.438	0.000	0.1952
470	0.372	0.39	0.432	0.368	0.226	0.3576
490	0.432	0.248	0.438	0.128	0.388	0.3268
500	0.206	0.404	0.37	0.246	0.74	0.3932

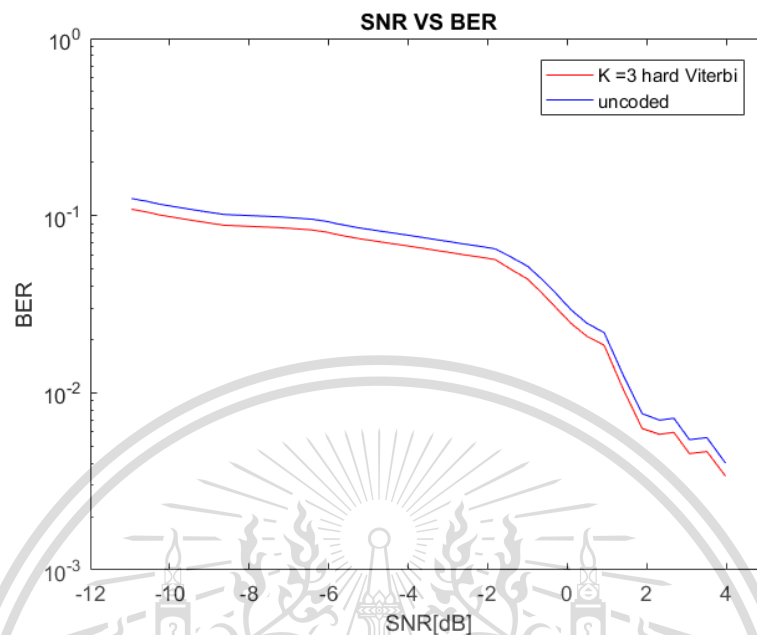
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ไม่เข้ารหัสที่ระยะทางต่าง ๆ

ระยะทาง (m)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ค่าความผิดพลาด
350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000
370	0.311	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0622
390	0.259	0.000	0.109	0.000	0.000	0.0736
410	0.000	0.000	0.162	0.000	0.000	0.0324
430	0.408	0.427	0.392	0.436	0.411	0.4148
450	0.469	0.252	0.000	0.484	0.000	0.2410
470	0.451	0.459	0.447	0.454	0.257	0.4136
490	0.467	0.29	0.458	0.155	0.473	0.3686
500	0.199	0.469	0.484	0.331	0.481	0.3928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

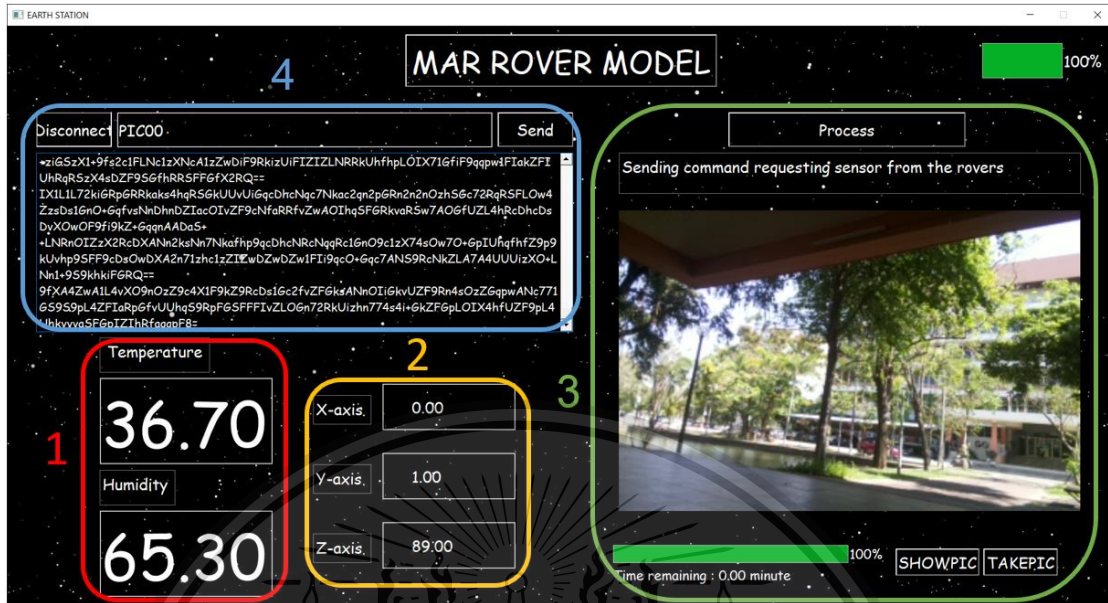
4.7 ผลการทดสอบระบบโดยรวมของโรเวอร์

ทำการทดสอบระบบโดยรวมของโรเวอร์ โดยการส่งชุดคำสั่งผ่านหน้าจอแสดงผล เพื่อให้โรเวอร์เก็บผลการทดสอบของระบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโรเวอร์ เช่น ระบบวัดอุณหภูมิและความชื้น ระบบวัดความเอียงของโรเวอร์ ระบบใส่ชุดคำสั่งให้โรเวอร์ทำงาน ระบบแสดงรูปภาพที่โรเวอร์ถ่าย เป็นต้น และส่งกลับมาแสดงผ่านหน้าจอแสดงผล แสดงดังรูปที่ 4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.52 หน้าจอแสดงผลระบบโดยรวมของโรเวอร์

จากรูปที่ 4.52 หน้าจอแสดงผลระบบโดยรวมของโรเวอร์ มีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ 4 ส่วนดังนี้

1) ส่วนของการแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น

หมายเลข 1 ที่แสดงอยู่ในหน้าจอแสดงผล จากรูปที่ 4.52 คือส่วนของการแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้น

2) ส่วนของการแสดงค่าความเอียงของโรเวอร์

หมายเลข 2 ที่แสดงอยู่ในหน้าจอแสดงผล จากรูปที่ 4.52 คือส่วนของการแสดงค่าความเอียงของโรเวอร์ โดยมีค่าของแกน x แกน y และแกน z

3) ส่วนของการแสดงรูปภาพที่โรเวอร์ถ่าย

หมายเลข 3 ที่แสดงอยู่ในหน้าจอแสดงผล จากรูปที่ 4.52 คือส่วนของการแสดงรูปภาพที่โรเวอร์ถ่าย โดยส่วนนี้มีการแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การส่งรูปภาพที่โรเวอร์ถ่ายไว้ มายังสถานีภาคพื้นดิน มีตัวเลือกคำสั่งให้โรเวอร์ถ่ายรูป และคำสั่งให้แสดงรูปบนหน้าจอหลังถ่ายรูปและส่งรูปเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4) ส่วนของการใส่ชุดคำสั่งและแสดงข้อมูลที่ส่งกลับมาจากรอเวอร์

หมายเลข 4 ที่แสดงอยู่ในหน้าจอแสดงผล จากรูปที่ 4.52 คือส่วนของการใส่ชุดคำสั่งและแสดงข้อมูลที่ส่งกลับมาจากรอเวอร์ โดยมีชุดคำสั่งต่าง ๆ ให้รอเวอร์ทำงานตามความต้องการ เช่น คำสั่งให้รอเวอร์ถ่ายรูปและส่งกลับมาแสดงบนหน้าจอแสดงผล คำสั่งให้รอเวอร์เคลื่อนที่ คำสั่งให้รอเวอร์แสดงค่าอุณหภูมิ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

แบบจำลองโวลเวอร์เพื่อใช้ในการศึกษาร่องดาวอังคารจะเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการสื่อสารในอวกาศ และเป็นสื่อการเรียนรู้ให้กับเด็กรุ่นใหม่ที่มีความสนใจในด้านการสื่อสารในอวกาศ ปริญญาโทฉบับนี้จึงได้ทำการออกแบบระบบจำลองการสื่อสารเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นสถานีภาคพื้นดิน จะมีระบบแยกย่อยอีกมากมายเช่น ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของโวลเวอร์ ระบบการรับ-ส่งข้อมูลและประมวลผลข้อมูลกลับมาเป็นรูปภาพ ระบบแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด โดยการทำให้ Forward Error Correction (FEC) และส่วนที่สองเป็นส่วนของโวลเวอร์ ซึ่งจะใช้ในการทำการกิจต่าง ๆ โดยภายในโวลเวอร์จะประกอบด้วยหลายระบบ เช่น ระบบจัดเก็บข้อมูลทางชีวภาพเพื่อส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ระบบจัดแบ่งข้อมูลรูปภาพที่มีขนาดใหญ่เป็นแพ็คเกจขนาดเล็กก่อนการจัดส่งข้อมูล และระบบการตรวจจับวัตถุขณะสำรวจสภาพแวดล้อมโดยรอบรวมถึงเพื่อค้นหาเส้นทางที่ปลอดภัย

โดยในภาคการศึกษาที่ 1 คณะผู้จัดทำได้ออกแบบคำสั่งพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมโวลเวอร์ผ่านสถานีภาคพื้นดิน รวมถึงการเข้ารหัสข้อมูล Convolution Code และการถอดรหัสข้อมูลด้วย Viterbi Algorithm และส่วนของโวลเวอร์ได้ทำการออกแบบโวลเวอร์ที่สามารถเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่ต่างระดับ การทดสอบขีดจำกัดของเซนเซอร์ คณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบระบบการสื่อสารในเบื้องต้น เช่น การทดสอบการรับส่งข้อมูลรูปภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพจริงของโวลเวอร์ที่ผ่านการรหัส และถอดรหัสโดยสถานีภาคพื้นดิน การควบคุมการเคลื่อนที่ของโวลเวอร์และการส่งข้อมูลเซนเซอร์กลับมายังสถานีภาคพื้นดิน

สำหรับภาคการศึกษาที่ 2 คณะผู้จัดทำจะดำเนินงานในส่วนของการตรวจจับวัตถุ และทำการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของระบบการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดเพื่อให้สามารถรวมกลับมาเป็นรูปภาพได้ ในส่วนของสถานีภาคพื้นดินจะออกแบบหน้า UI Interface เพื่อใช้ในการส่งคำสั่งของโวลเวอร์ และการแสดงผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

โรเวอร์สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ รวมถึงการประยุกต์ใช้งานให้มีความเหมาะสมกับความต้องการได้อย่างมากมายหลายด้าน เช่น การสำรวจพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งระบบของโรเวอร์สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากเดิม โดยการเพิ่มอุปกรณ์ให้โรเวอร์มีความสามารถในการใช้งานเพิ่มขึ้นได้ เช่น ติดระบบโซลาร์เซลล์ เพื่อให้โรเวอร์สามารถชาร์จพลังงานได้จากแสงอาทิตย์ ติดระบบ Lidar Scanner เพื่อสแกนพื้นที่ให้โรเวอร์สามารถสำรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Chottiwatt Jitprasong “ภารกิจสำรวจดาวอังคาร”
<https://spaceth.co/mars-2020-brief-details/>
- [2] NEXTSOFTWAREHOUSE “การประมวลผลภาพดิจิทัล”
<https://nextsoftwares.wordpress.com/> 2014/05/22
- [3] Limarc Ambalina “Image Annotation”
<https://hackernoon.com/what-is-image-annotation-an-intro-to-5-image-annotation-services-yt6n3xfj>
- [4] Janista “Convolutional Neural Network”
<https://janista0506.medium.com/cnn-convolutional-neural-network>
- [5] สมาคมโปรแกรมเมอร์ไทย “TensorFlow”
<https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/ มาทำความรู้จัก-Tensorflow/>
- [6] Keng Surapong “MobileNet”
<https://www.bualabs.com/archives/3439/tensorflow-js-tutorial-build-image-classification-javascript-mobilenet-pretrained-model-tfjs-ep-7/>
- [7] Natthawat Phongchit “Convolution”
<https://medium.com/@natthawatphongchit/ มาลองดูวิธีการคิดของ-cnn-กัน-e3f5d73eebaa>
- [8] ThaiEasyElec.com. “เซนเซอร์ GY-87 MPU6050”
https://www.thaieasyelec.com/downloads/ESEN245/GY87_USG.pdf
- [9] Aimagin “หลักการการทำงานของ Hc-sr04 ”
<http://aimagin.com/blog/-hc-sr04/?lang=th>
- [10] My arguino. “การทำงานของเซนเซอร์ Hc-sr04 ”
<https://www.myarduino.net/article/66/-hc-sr04-hc-sr05-us-100-us-016>.
- [11] Fitrox Electronics “การใช้งาน Voltage Sensor).”
<http://fitrox.lnwshop.com/article/40/tutorial -voltage-sensor- -acs712-current-sensor>
- [12] Solar Smile Knowledge “เช็คปริมาณไฟฟ้าในแบตเตอรี่”
<https://solarsmileknowledge.com/battery>
- [13] Chottiwatt Jitprasong “Deep Space Network”
<https://spaceth.co/deep-space-network/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [14] อุศนา ตัณฑุลเวศม์. รหัส (น็อน) ไบนารีสำหรับการสื่อสารดิจิทัล = (Non) binary codes for digital communications. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2561.
- [15] ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. เทคโนโลยีโทรคมนาคม ทฤษฎีข่าวสารและการเข้ารหัส. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [16] CCSDS “Space packet protocols”
<https://public.ccsds.org/publications/sls.aspx>
- [17] RobotShop. “arduino mega 2560 r3 datasheet”
<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>
- [18] haieasyelec. “Arduino Uno R3.”
<https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/latest-blogs/what-is-arduino-ch1.html>.
- [19] Chutchavan Suksutthi. “Raspberry Pi Model B”
<http://www2.crma.ac.th/itd/Know/RBPI/index.asp>
- [20] Wireless Life Store. “LoRa Module SX1276”
<https://th.aliexpress.com/item/32983370019.html>
- [21] Manual “HC-12 Module”
<https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf>
- [22] aliexpress “NEW GEN RTL2832 SDR.”
<https://www.aliexpress.com/i/4000059319928.html>.
- [23] ioxhop L “สาย USB-A to USB-B.”
<https://www.ioxhop.com/product/601/arduino-usb-cable-A2-usb--arduino->
- [24] TAWUN ALL ELECTRONIC. “โมดูลขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N.”
<http://gamerbloggerport.blogspot.com/2017/09/l298n-motor-drive.html>
- [25] RASPBERRY PI FOUNDATION. “คุณลักษณะกล้อง Raspberry Pi Camera V2(8MP).”
<https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>
- [26] Arduinoall. “micro sd card module datasheet.”
<https://www.arduinoall.com/product/557/-micro-sd-card-micro-sd-card-module-micro-sd-card-module>
- [27] Thomas Liu. “Sensor DHT22 datasheet.”
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [28] batteryups “battery 12v 8ah”
<https://www.batteryups.net/product/211/12v-8ah>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [29] Chatchai. “เซอร์โวมอเตอร์.”
[http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th/-\(Servo-Motor\).html](http://www.advance-electronic.com/blog/detail/86/th/-(Servo-Motor).html).
- [30] .arduitronics “Pan-tilt Bracket for MG90S”
<https://www.arduitronics.com/product/1263/pan-and-tilt-camera-mount-for-fpv-systems-mg90-sg90-mg90s>
- [31] Editorial “dc motor.”
<https://www.inventor.in.th/home/#.XpHxlgzaUk>
- [32] myarduino.net “โปรแกรม Arduino IDE”
<https://www.myarduino.net/article/74/A1--arduino-arduino-ide>
- [33] wattanapon “โปรแกรม SDRSharp.”
<http://www.hamsiam.com/smf/index.php?topic=209663.0>
- [34] thaieasyelec “ดิจิตอลออสซิลอสโคป”
<https://blog.thaieasyelec.com/what-are-you-determining-when-you-choose-an-oscilloscope/>
- [35] รศ.ณรงค์ บวบทอง “การสื่อสารแบบอนุกรม”
<http://narong.ece.engr.tu.ac.th/microlab/document/06-serial.pdf>
- [36] ICHI.PRO “PyQt5 สำหรับการสร้าง GUI”
<https://ichi.pro/th/pyqt5-sahrab-kar-srang-gui-grid-creator-45018695766234>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบการทำงานของโรเวอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการกิจ

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Wire.h>
#include <TimerOne.h>
#include "DHT.h"
/*-----*/
#define echoPin 60 // Echo Pin //A6
#define trigPin 61 // Trigger Pin //A7
#define echoPin2 58 // Echo Pin //A4
#define trigPin2 59 // Trigger Pin //A5

int maximumRange = 200; // Maximum range needed
int minimumRange = 0; // Minimum range needed
long duration, distance; // Duration used to calculate distance
long duration2, distance2; // Duration used to calculate distance

/*-----*/
#define LEDR 7
#define LEDB 6
/*-----*/
/*-----DHT22-----*/
#define DHTPIN 2 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
String roundDHT;
/*-----*/
//String command_array[] = {};
//String command_re = "";
//int n =0;
/*-----*/
/*-----Motor-----*/
int MotorPin22 = 22; //ล้อซ้าย 1
int MotorPin23 = 23;
int MotorPin24 = 24; //ล้อซ้าย 2
int MotorPin25 = 25;
int MotorPin26 = 32; //ล้อซ้าย 3
int MotorPin27 = 33;
int MotorPin28 = 28; //ล้อขวา 1
int MotorPin29 = 29;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามต้น ยี่สิบห้า มิฉะนั้นจะเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

int MotorPin30 = 30; //ล้อขวา 2
int MotorPin31 = 31;
int MotorPin32 = 26; //ล้อขวา 3
int MotorPin33 = 27;
int EN3_A = A15;
int EN3_B = A14;
int EN2_A = A13;
int EN2_B = A12;
int EN_A = A11;
int EN_B = A10;
/*-----MPU6050-----*/
const int MPU_addr=0x68;
int16_t AcX,AcY,AcZ,Tmp,GyX,GyY,GyZ;

int minVal=265;
int maxVal=402;

double x;
double y;
double z;
/*-----*/
/*-----HC-12-----*/
SoftwareSerial HC12(10,11);
String K ;
String Receive;
String temp ;
/*-----*/

void setup()
{
  LoRa.setPins(53, 49, 47); //LoRa.setPins(ss, reset, dio0);
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println(".....Welcom.....");
  Serial.print("Initializing LoRa module...");
  if (!LoRa.begin(433E6))
  {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  LoRa.setTxPower(17);
  Serial.println("initialization done.");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for informational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

LoRa.receive();
pinMode(MotorPin22, OUTPUT);
pinMode(MotorPin23, OUTPUT);
pinMode(MotorPin24, OUTPUT);
pinMode(MotorPin25, OUTPUT);
pinMode(MotorPin26, OUTPUT);
pinMode(MotorPin27, OUTPUT);
pinMode(MotorPin28, OUTPUT);
pinMode(MotorPin29, OUTPUT);
pinMode(MotorPin30, OUTPUT);
pinMode(MotorPin31, OUTPUT);
pinMode(MotorPin32, OUTPUT);
pinMode(MotorPin33, OUTPUT);
pinMode(EN3_A, OUTPUT);
pinMode(EN3_B, OUTPUT);
pinMode(EN2_A, OUTPUT);
pinMode(EN2_B, OUTPUT);
pinMode(EN_A, OUTPUT);
pinMode(EN_B, OUTPUT);

pinMode(LED_R, OUTPUT);
pinMode(LED_B, OUTPUT);
/*-----*/
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(trigPin2, OUTPUT);
pinMode(echoPin2, INPUT);
Timer1.initialize(500000); // 0.5 seconds
Timer1.attachInterrupt(Stop_20);
/*-----*/
dht.begin();
/*-----MPU6050-----*/
Wire.begin();
Wire.beginTransmission(MPU_addr);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission(true);
/*-----*/
/*-----HC-12-----*/
HC12.begin(9600);
/*-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

void loop()
{
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  float f = dht.readTemperature(true);
  float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
  float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
  //String roundDHT;
  String h_string = String(h);
  String t_string = String(t);
  /*-----MPU6050-----*/
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x3B);
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU_addr,14,true);
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read();
  AcY=Wire.read()<<8|Wire.read();
  AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
  int xAng = map(AcX,minVal,maxVal,-90,90);
  int yAng = map(AcY,minVal,maxVal,-90,90);
  int zAng = map(AcZ,minVal,maxVal,-90,90);

  x= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -zAng)+PI);
  y= RAD_TO_DEG * (atan2(-xAng, -zAng)+PI);
  z= RAD_TO_DEG * (atan2(-yAng, -xAng)+PI);

  if (LoRa.parsePacket() > 0)
  {
    Serial.print("Received Command ");
    // read packet
    int n = 0;
    String data = "";
    String command_re = "";
    char command_array[] = {};
    int caltime;
    while (LoRa.available())
    {
      command_array[n] = LoRa.read();
      n++;
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Serial.print(command_array[0]);
Serial.print(command_array[1]);
Serial.print(command_array[2]);
Serial.print(command_array[3]);
Serial.print(command_array[4]);
Serial.println("");
for (int j = 2; j < n; j++)
{
    command_re += command_array[j];
}
caltime = command_re.toInt(); //001
unsigned int delay_motor = 30000;
Serial.println(caltime);
for (int i = 0; i < 4; i++)
{
    digitalWrite(LED_B, HIGH); delay(100);
    digitalWrite(LED_B, LOW); delay(100);
}
if (command_array[0] == 'M' && command_array[1] == 'F')
{
    if ((distance < 50) || (distance2 < 50))
        Stop();
    forward();
    for (int d = 0; d <= caltime; d++)
    {
        delay(delay_motor); // 30 s
        forward();
        if ((distance < 50) || (distance2 < 50)) break;
    }
    Serial.println("Rover Forward test");
    Serial.print("Delay Motor(min) : ");
    Serial.println(caltime);
    //Stop();
    onTxEs("MF001");
    LoRa.receive();
}

else if (command_array[0] == 'M' && command_array[1] == 'L')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    left();
    delay(delay_motor);
    if ((distance < 50) || (distance2 < 50)) break;
}
Serial.println("Rover Left test");
Serial.print("Delay Moter(min) : ");
Serial.println(caltime);
Stop();
onTxEs("ML001");
LoRa.receive();
}
else if (command_array[0] == 'M' && command_array[1] == 'R' )
{
    right();
    for (int d = 0 ; d <= caltime; d++)
    {
        right();
        delay(delay_motor);
        if ((distance < 50) || (distance2 < 50)) break;
    }
    Serial.println("Rover Right test");
    Serial.print("Delay Moter(min) : ");
    Serial.println(caltime);
    Stop();
    onTxEs("MR001");
    LoRa.receive();
}
else if (command_array[0] == 'M' && command_array[1] == 'B' )
{
    back();
    for (int d = 0 ; d <= caltime; d++)
    {
        back();
        delay(delay_motor);
        if ((distance < 50) || (distance2 < 50)) break;
    }
    Serial.println("Rover Back test");
    Serial.print("Delay Moter(min) : ");
    Serial.println(caltime);
    Stop();
    onTxEs("MB001");
    LoRa.receive();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is provided for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

}
else if (command_array[0] == 'S' )
{
  if(command_array[1] == 'D')
  {
    roundDHT = "";
    for (int c=0 ; c < caltime ;c++)
    {
      roundDHT += h_string;
      roundDHT += ",";
      roundDHT += t_string;
      roundDHT += ",";
      Serial.println(roundDHT);
      delay(50);
    }
    onTxEs(roundDHT);
  }
  else if(command_array[1] == 'G')
  {

  }
}
else if (command_array[0] == 'P' && command_array[1] == 'I')
{
  Serial.println("TEST");
  delay(1000);
  LoRa.receive();
}
}
}
void onTxEs(String commands)
{
  LoRa.setFrequency(433E6);
  LoRa.beginPacket();          // start packet
  LoRa.print(commands);        // add payload
  LoRa.endPacket();           // finish packet and send it
}
void forward()
{
  digitalWrite(MotorPin22, LOW);
  digitalWrite(MotorPin23, HIGH);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

digitalWrite(MotorPin24, LOW);
digitalWrite(MotorPin25, HIGH);
digitalWrite(MotorPin26, LOW);
digitalWrite(MotorPin27, HIGH);
digitalWrite(MotorPin28, LOW);
digitalWrite(MotorPin29, HIGH);
digitalWrite(MotorPin30, LOW);
digitalWrite(MotorPin31, HIGH);
digitalWrite(MotorPin32, LOW);
digitalWrite(MotorPin33, HIGH);
analogWrite(EN3_A, 255);
analogWrite(EN3_B, 255);
analogWrite(EN2_A, 255);
analogWrite(EN2_B, 255);
analogWrite(EN_A, 255);
analogWrite(EN_B, 255);
}
void left()
{
  analogWrite(EN3_A, 180);
  analogWrite(EN3_B, 180);
  analogWrite(EN2_A, 180);
  analogWrite(EN2_B, 180);
  analogWrite(EN_A, 255);
  analogWrite(EN_B, 255);
  digitalWrite(MotorPin22, LOW);
  digitalWrite(MotorPin23, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin24, LOW);
  digitalWrite(MotorPin25, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin26, LOW);
  digitalWrite(MotorPin27, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin28, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin29, LOW);
  digitalWrite(MotorPin30, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin31, LOW);
  digitalWrite(MotorPin32, HIGH);
  digitalWrite(MotorPin33, LOW);
  Serial.println("Motor Left");
}
void right()
{
  analogWrite(EN3_A, 180);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

analogWrite(EN3_B, 180);
analogWrite(EN2_A, 180);
analogWrite(EN2_B, 180);
analogWrite(EN_A, 255);
analogWrite(EN_B, 255);
digitalWrite(MotorPin22, HIGH);
digitalWrite(MotorPin23, LOW);
digitalWrite(MotorPin24, HIGH);
digitalWrite(MotorPin25, LOW);
digitalWrite(MotorPin26, HIGH);
digitalWrite(MotorPin27, LOW);
digitalWrite(MotorPin28, LOW);
digitalWrite(MotorPin29, HIGH);
digitalWrite(MotorPin30, LOW);
digitalWrite(MotorPin31, HIGH);
digitalWrite(MotorPin32, LOW);
digitalWrite(MotorPin33, HIGH);
Serial.println("Motor RIGHT");
}
void back()
{
digitalWrite(MotorPin22, HIGH);
digitalWrite(MotorPin23, LOW);
digitalWrite(MotorPin24, HIGH);
digitalWrite(MotorPin25, LOW);
digitalWrite(MotorPin26, HIGH);
digitalWrite(MotorPin27, LOW);
digitalWrite(MotorPin28, HIGH);
digitalWrite(MotorPin29, LOW);
digitalWrite(MotorPin30, HIGH);
digitalWrite(MotorPin31, LOW);
digitalWrite(MotorPin32, HIGH);
digitalWrite(MotorPin33, LOW);
}
void Stop()
{
digitalWrite(MotorPin22, LOW);
digitalWrite(MotorPin23, LOW);
digitalWrite(MotorPin24, LOW);
digitalWrite(MotorPin25, LOW);
digitalWrite(MotorPin26, LOW);
digitalWrite(MotorPin27, LOW);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุพิเศษเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

digitalWrite(MotorPin28, LOW);
digitalWrite(MotorPin29, LOW);
digitalWrite(MotorPin30, LOW);
digitalWrite(MotorPin31, LOW);
digitalWrite(MotorPin32, LOW);
digitalWrite(MotorPin33, LOW);
analogWrite(EN3_A, 0);
analogWrite(EN3_B, 0);
analogWrite(EN2_A, 0);
analogWrite(EN2_B, 0);
analogWrite(EN_A, 0);
analogWrite(EN_B, 0);
}

void Stop_20()
{ HC_SR04();
  if ((distance < 50) || (distance2 < 50))
  { Serial.println("Error Rover ");
    Stop();
    return;
  }
}
void HC_SR04()
{
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  digitalWrite(trigPin2, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin2, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin2, LOW);
  duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <SoftwareSerial.h>

/*-----HC-12-----*/
String K ;
String Receive;
String temp ;
SoftwareSerial HC12(10, 11);
/*-----*/

void onReceiveOrder(int packetSize2);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  HC12.begin(9600);

  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(433E6))
  {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

void loop()
{
  while (HC12.available())
  {
    Serial.write(HC12.read());    // Send the data to Serial monitor
  }

  if(Serial.available() > 0)
  {
    Serial.read();
  }

  /*-----Motor-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

String check = Serial.readString();
//Serial.println(check);
int str_len = check.length() +1;
char char_array[str_len];
check.toCharArray(char_array, str_len);
String command_str;
String minut_str;
int caltime;
/*-----HC-SR04-----*/
Serial.print("Command to Rover : ");

if(char_array[5] == '\n' )
{
  //Serial.println("OK Enter");
  //cdcommand("M0F0");
  if(char_array[0]== 'M')
  {
    for(int p=0;p<str_len-2;p++ )
    {
      command_str +=char_array[p];
    }
    Serial.println(command_str);
    cdcommand(command_str);
    for(int q=2;q<str_len-1;q++ )
    {
      minut_str +=char_array[q];
    }
    caltime = minut_str.toInt();
    Serial.print("Time spent performing missions : ");
    Serial.print(caltime);
    Serial.println(" minutes");
    Serial.println("-----");
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

{
  for(int p=0;p<str_len-2;p++ )
  {
    command_str +=char_array[p];
  }
  Serial.println(command_str);
  cdcommand(command_str);
}
if(char_array[1]=='G')
{
  for(int p=0;p<str_len-2;p++ )
  {
    command_str +=char_array[p];
  }
  Serial.println(command_str);
  cdcommand(command_str);
}
else if(char_array[0]=='P' && char_array[1]=='I'&& char_array[2]=='C' )
{
  for(int p=0;p<str_len-2;p++ )
  {
    command_str +=char_array[p];
  }
  Serial.println(command_str);
  cdcommand(command_str);
}
}
}
}
onReceiveOrder(LoRa.parsePacket());
}

void cdcommand(String outgoing)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

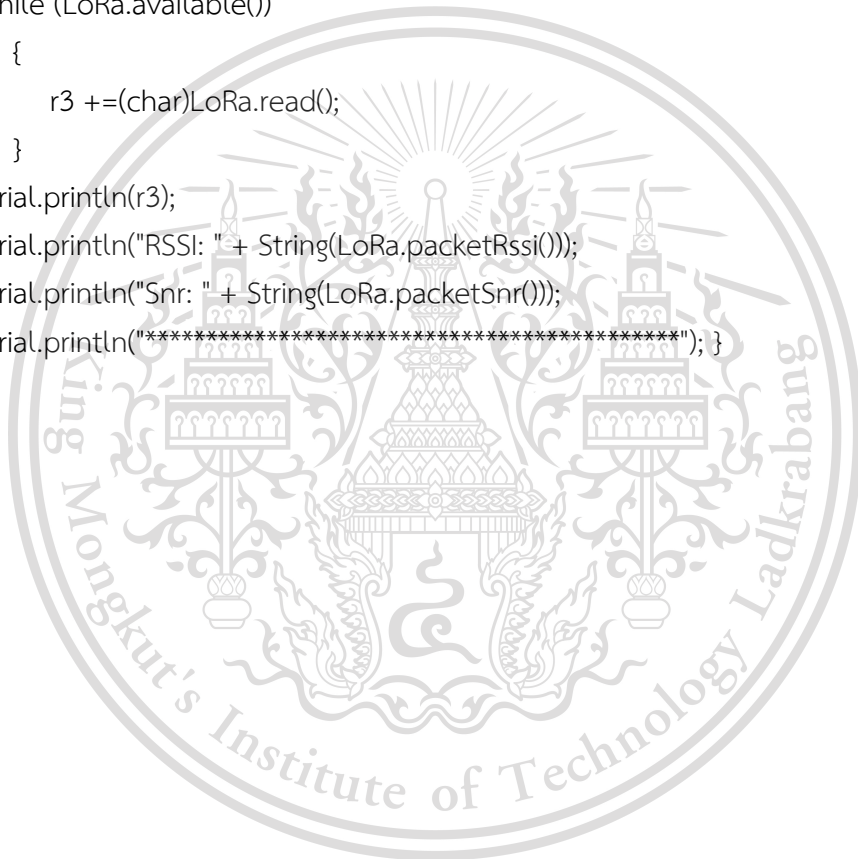
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

Serial.println(outgoing);
LoRa.endPacket();
delay(1000);
}
void onReceiveOrder(int packetSize2)
{
  if(packetSize2 == 0) return;
  String r3 = "";
  while (LoRa.available())
  {
    r3 +=(char)LoRa.read();
  }
  Serial.println(r3);
  Serial.println("RSSI: " + String(LoRa.packetRssi()));
  Serial.println("Snr: " + String(LoRa.packetSnr()));
  Serial.println("*****");
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

import numpy as np
import random
inputs = ("0","1","1","1","0")
def rand_key2(e):
    random.seed(30)
    B = (np.random.randint(0,2,10))
    return(tuple(B))
def BER_calc(a, b):
    num_ber = np.sum(np.abs(a - b))
    ber = np.mean(np.abs(a - b))
    return int(num_ber), ber
def rand_key(p):
    key1 = []
    key2 = ""
    for i in range(p):
        temp = str(np.random.randint(0,2))
        key1.append(temp)
        print(temp)
        key2 = ""
    return(tuple(key1))
def v_xor(bit0,bit1):
    if(bit0==bit1):
        return "0"
def viterbi_encoder(inputs):
    s_reg = ["0","0","0"]
    obs = []
    for t in range (0,len(inputs)):
        s_reg[2]=s_reg[1]
        s_reg[1]=s_reg[0]
        s_reg[0]= inputs[t]
        state = s_reg[0]+ s_reg[1]
        obs.append([])
        obs[t] = v_xor(v_xor(s_reg[0],s_reg[1]),s_reg[2])+
        v_xor(s_reg[0],s_reg[2]))
    return(obs)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

import numpy as np
import math as ms
import random as rd
obs = ['10', '10', '10', '10', '10', '10', '10', '10']
start_metric = {'zero':0,'one': 0, 'two': 0,'three':0}
state_machine = {
    'zero': {'b1': {'out_b':"11",'prev_st': 'one','input_b':0},
            'b2': {'out_b':"00",'prev_st': 'zero','input_b':0}},
    'one': {'b1': {'out_b': "01", 'prev_st': 'three', 'input_b': 0},
            'b2': {'out_b': "10", 'prev_st': 'two', 'input_b': 0}},
    'two': {'b1': {'out_b': "11", 'prev_st': 'zero', 'input_b': 1},
            'b2': {'out_b': "00", 'prev_st': 'one', 'input_b': 1}},
    'three': {'b1': {'out_b': "10", 'prev_st': 'three', 'input_b': 1},
              'b2': {'out_b': "01", 'prev_st': 'two', 'input_b': 1}},
}
def rand_key(p):
    key1 = []
    key2 = ""
    for i in range(p):
        for j in range(2):
            temp = str(np.random.randint(0,2))
            key2 += temp
        key1.append(key2)
        #print(key2)
        key2 = ""
    return(tuple(key1))
def bits_diff_num(num_1,num_2):
    count=0
    for i in range(0,len(num_1),1):
        if num_1[i]!=num_2[i]:
            count=count+1
    return count
def viterbi(obs, start_metric, state_machine):
    V = [[]]
    for st in state_machine:
        V[0][st] = {"metric": start_metric[st]}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

print(V)
for t in range(1, len(obs)+1):
    V.append({})
    for st in state_machine:
        prev_st = state_machine[st]['b1']['prev_st']
        first_b_metric = V[(t-1)][prev_st]["metric"] +
bits_diff_num(state_machine[st]['b1']['out_b'], obs[t - 1])
        prev_st = state_machine[st]['b2']['prev_st']
        second_b_metric = V[(t - 1)][prev_st]["metric"] +
bits_diff_num(state_machine[st]['b2']['out_b'], obs[t - 1])
        if first_b_metric > second_b_metric:
            V[t][st] = {"metric" : second_b_metric, "branch": 'b2'}
        else:
            V[t][st] = {"metric": first_b_metric, "branch": 'b1'}
    smaller = min(V[t][st]["metric"] for st in state_machine)
    print("smaller", smaller)
    for st in state_machine:
        if V[len(obs)-1][st]["metric"] == smaller:
            source_state = st
            kq = []
            for t in range(len(obs),0,-1):
                branch = V[t][source_state]["branch"]
                kq += str(state_machine[source_state][branch]['input_b'])
                source_state = state_machine[source_state][branch]['prev_st']
    print("Finish")
    return (tuple(kq))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.