รถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพ

Self-driving car using image processing

วรรธน์จิรัฐ วรรธนะวิโรจน์

Watjirat Watthanawirot

ศิรดา ปานทับ

Sirada Panthab

อนพัทย์ ทรัพย์ศรี

Anaphat Suphayasri

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.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.

รถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพ

Self-driving car using image processing

โดย

วรรธน์จิรัฐ วรรธนะวิโรจน์

ศิรดา ปานทับ

อนพัทย์ ทรัพย์ศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.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.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพ

Self-driving car using image processing

ผู้จัดทำ นายวรรธน์จิรัฐ วรรธนะวิโรจน์ รหัสประจำตัว 60010898

นางสาวศิรดา ปานทับ รหัสประจำตัว 60010973

นายอนพัทย์ ทรัพย์ศรี รหัสประจำตัว 60011135

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

Seangrawee

(ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

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.

หัวข้อโครงงาน	รถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพ	
นักศึกษา	นายวรรธน์จิรัฐ วรรธนะวิโรจน์	รหัสประจำตัว 60010898
	นางสาวศิรดา ปานทับ	รหัสประจำตัว 60010973
	นายอนพัทย์ ทรัพย์ศรี	รหัสประจำตัว 60011135
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอรถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพ (Self-driving car using image processing) มีจุดประสงค์เพื่อนำเอาการประมวลผลด้วยภาพ (image processing) มาประยุกต์เพื่อใช้เพื่อการควบคุมรถไร้คนขับ โดยนำภาพมาประมวณผลแล้วสั่งงานมอเตอร์ไฟตรงและเซอร์โวมอเตอร์ให้เลี้ยวตามทางเมื่อจะออกนอกเส้นเลน โดยใช้สีในการตัดสินใจว่าควรเลี้ยวหรือไม่ โดยระบบการเลี้ยวแต่ละฝั่งประกอบไปด้วย 3 ช่วง ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของระบบ และเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ในช่วงระยะที่กำหนดจากหน้ารถ เซนเซอร์จะตรวจจับวัตถุได้ ทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน รถจะหยุดการเคลื่อนที่จนกว่าสิ่งกีดขวางขั้นจะออกไป จากการทดลองโดยภาพรวมรถสามารถเคลื่อนที่ได้และไม่ออกนอกเส้นเลน รวมทั้งรถสามารถหยุดเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ในช่วงระยะที่กำหนดได้ ซึ่งเป็นไปตามที่คณะผู้จัดทำคาดหวัง

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.

Project Title	Self-driving car using image processing	
Student	Mr.Watjirat Watthanawirot	Student ID 60010898
	Miss Sirada Panthab	Student ID 60010973
	Mr.Anaphat Suphayasri	Student ID 60011135
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2020	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Sangrawee Buakaew	

ABSTRACT

This project presents a Self- driving car based on image processing. The purpose of this project is to apply the image principle in a Self-driving car. The dc motor, as well as the servo motor of this car, are controlled by data processing. The moving car can be determined by the color line that has a direct line and a curve line. In addition, a turning system in this work consists of three parts and depends on the decision of the system. Whenever an obstacle within a specified distance the sensor will detect the object resulting in the stopping motor. After the obstacle already has passed, the car moves again. Base on the experimental results, it can confirm that the car in this project can move along the line including stopping rapidly as well.

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

โครงงานรถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพประกอบด้วยการดำเนินงานหลายขั้นตอน นับตั้งแต่การศึกษาหาข้อมูล การจัดซื้อหาอุปกรณ์ การเขียนโค้ด การประกอบโครงรถ การจัดทำรูปเล่มโครงงาน จนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดระยะเวลาดังกล่าวคณะผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ตลอดจนได้รับกำลังใจจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำตระหนักและซาบซึ้งใจในความกรุณาจากทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณทุกท่าน ดังนี้

ขอบพระคุณอาจารณ์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.แสงระวี บัวแก้ว ที่ได้สนับสนุน ให้ความรู้ คำแนะนำ รวมทั้งช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนโครงงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพ่อแม่ของคณะผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจหลัก และเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนหลักในการทำโครงงาน อีกทั้งยังเป็นกำลังใจในการทำโครงงานนี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ผู้เป็นกำลังหลักคอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยกันในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงงานนี้ทั้งหมดทำให้ผลของโครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงงานนี้จะเป็นประโยชน์ สำเร็จผู้สนใจและผู้นำผลงานนี้ไปใช้งานได้

คณะผู้จัดทำ

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

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญภาพ..... VII
สารบัญตาราง..... XI
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1
1.3 สมมุติฐานของโครงงาน..... 1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา..... 1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน..... 2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง..... 3
2.1 Raspberry Pi..... 3
2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด..... 3
2.1.2 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)..... 6
2.2 ทฤษฎีของการประมวลผลภาพ..... 8
2.2.1 รูปร่างของภาพ..... 9
2.2.2 มาตรฐานของสี..... 9
2.2.3 การจับขอบของรูปภาพ (Edge Detection)..... 12
2.2.4 Canny Edge Detection Algorithm..... 13
2.2.5 การปรับปรุงภาพ (Image enhancement)..... 14
2.2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing)..... 14
2.2.7 OpenCV (CV : Computer Vision)..... 16

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

2.3 เซอร์โซมอเตอร์ (Servo Motor)..... 16
2.3.1 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์..... 17
2.3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของเซอร์โวมอเตอร์..... 18
2.3.3 การทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดแอนะล็อก..... 19
2.3.4 วัสดุของเฟืองในเซอร์โวมอเตอร์..... 20
2.3.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์..... 21
2.4 มอเตอร์ไฟตรง (DC Motor)..... 21
2.4.1 การทำงานของมอเตอร์ไฟตรง..... 22
2.4.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยสวิตช์..... 23
2.4.3 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยรีเลย์..... 24
2.4.4 วงจรขับมอเตอร์แบบบ H-Bridge..... 25
2.4.5 ควบคุมความเร็วของมอเตอร์..... 27
2.4.6 ตัวอย่างวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์..... 27
2.5 เว็บแคม (Webcam)..... 30
2.5.1 ประเภทของเว็บแคม..... 30
2.6 อัลตร้าโซนิค เซนเซอร์ (Ultrasonic sensor)..... 31
2.6.1 หลักการทำงานของอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์..... 32
2.6.2 การจัดวางตำแหน่งของเซนเซอร์..... 33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน..... 35
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 35
3.2 แผนผังระบบการทำงาน..... 35
3.3 โค้ดการทำงาน..... 39
บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 40
4.1 ผลการวัดระยะห่างระหว่างรถกับสิ่งกีดขวาง..... 40
4.2 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่างต่าง ๆ ของเซนเซอร์และสิ่งกีดขวาง..... 42

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

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการเลี้ยวของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ 50
4.4 ผลการวัด pulse ของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ 51
4.5 ผลการประมวลผลในแต่ละช่วง 56
4.5.1 ทางตรง 57
4.5.2 เลี้ยวซ้าย 57
4.5.3 เลี้ยวขวา 59
4.5.4 เมื่อเจอสิ่งกีดขวาง 60
4.6 ผลการวัดระยะเวลาในการประมวลผลของระบบ 61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 62
5.1 สรุปผลการทดลอง 62
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 62
5.3 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา 62
เอกสารอ้างอิง 63
ภาคผนวก 64

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

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างบอร์ด Raspberry Pi Model A และ Model B..... 5
2.2 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)..... 6
2.3 Raspberry Pi Model A & B..... 6
2.4 จุดแสดงสถานะบอร์ด..... 7
2.5 Raspberry Pi Camera Module..... 7
2.6 ตัวอย่างภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ..... 8
2.7 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสี RGB..... 10
2.8 ระบบสี RGB..... 10
2.9 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสี HSV..... 11
2.10 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสีแบบ HLS..... 11
2.11 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสีแบบ CMY..... 12
2.12 กราฟแสดงการหาขอบด้วยวิธี Gradient method..... 13
2.13 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล..... 15
2.14 ภาพรวมของไลบรารี่ OpenCV..... 16
2.15 ไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์..... 17
2.16 การจัดสายสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์..... 18
2.17 ลักษณะ connector ของเซอร์โวมอเตอร์..... 18
2.18 ไดอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดแอนะล็อก..... 19
2.19 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์..... 20
2.20 มอเตอร์ไฟตรงที่มีชุดเฟืองขับในแบบต่าง ๆ..... 22
2.21 ส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรง..... 22
2.22 ส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรงแบบขดลวด 3 ขั้ว
ซึ่งเป็นแบบที่มีการผลิตใช้งานจริง..... 23
2.23 หลักการของวงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว..... 23
2.24 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิตช์ 4 ตัว..... 24
2.25 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์..... 25
2.26 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงโดยใช้ไอซี L293D..... 26

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

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2.27 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM..... 27
2.28 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยสัญญาณ PWM อย่างง่าย..... 28
2.29 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไอซีออปแอมป์..... 28
2.30 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเกิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100%..... 29
2.31 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณ PWM..... 30
2.32 ไดอะแกรมภายในอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์..... 32
2.33 การเว้นระยะห่างของเซนเซอร์..... 33
2.34 การจัดวางแนวระนาบของสิ่งของ..... 34
3.1 โครงรถที่ทำการประกอบขึ้นมา.....35
3.2 ถนนจำลอง..... 36
3.3 แผนผังระบบการทำงานโดยภาพรวม.....37
3.4 แผนผังระบบการเลี้ยวด้วยเซอร์โวมอเตอร์..... 38
4.1 การทดลองวัดระยะห่างระหว่างรถกับสิ่งกีดขวางที่ระยะ 3 cm..... 40
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรถและสิ่งกีดขวางของระยะจริงและระยะจากการวัด.....41
4.3 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 3 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....42
4.4 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 5 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....43
4.5 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 7 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....43
4.6 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 10 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....44
4.7 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 13 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....44
4.8 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 15 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....45
4.9 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ ระยะห่าง 17 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง.....45

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

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.10 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 20 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 46
4.11 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 21 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 46
4.12 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 22 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 47
4.13 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 23 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 47
4.14 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 24 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 48
4.15 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 25 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 48
4.16 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 30 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง..... 49
4.17 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.5 (มุม -20 องศา)..... 51
4.18 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.8 (มุม -18 องศา)..... 51
4.19 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.0 (มุม -15 องศา)..... 52
4.20 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.80 (มุม 0 องศา)..... 52
4.21 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.6 (มุม 15 องศา)..... 53
4.22 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.8 (มุม 18 องศา)..... 53
4.23 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 5.1 (มุม 20 องศา)..... 54
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซอร์โวมอเตอร์และความกว้าง pulse..... 55
4.25 ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องและภาพที่แปลงเป็นขาวดำ ซึ่งจะแสดงค่า Curve เป็นตัวเลขสีชมพู..... 56
4.26 การแสดงผลเมื่อเป็นทางตรง..... 57
4.27 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.25 ≤ Curve ‹ -0.15..... 57
4.28 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.50 ≤ Curve ‹ -0.25..... 58
4.29 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.50 ‹ Curve..... 58
4.30 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย 0.15 ‹ Curve ≤ 0.25..... 59

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

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.31 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย 0.25 ‹ Curve ≤ 0.50 59
4.32 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย Curve ‹ 0.50 60
4.33 การแสดงผลเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง 60
4.34 ระยะเวลาในการประมวลผลของระบบในแต่ละครั้ง 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.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน..... 2
2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด Raspberry Pi โมเดล A และโมเดล B..... 3
4.1 ผลการวัดระยะห่างระหว่างรถและสิ่งกีดขวาง..... 41
4.2 เปรียบเทียบระยะห่างจริงกับระยะห่างจากการคำนวณค่า pulse ของ sensor..... 50
4.3 ผลการเลี้ยวของเซอร์โวมอเตอร์ทีมุมต่าง ๆ..... 50
4.4 ผลการวัดค่าความกว้าง pulse และ Duty cycle ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่ามุมต่าง ๆ..... 54
4.5 เปรียบเทียบความกว้าง pulse จากการวัดค่า pulse กับความกว้าง pulse จากการคำนวณตาม
สมการเส้นตรง..... 55

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 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันในอุตสาหกรรมได้มีการขนส่งและเคลื่อนย้ายสินค้า เอกสาร รวมทั้งมนุษย์เป็นจำนวนมาก ทั้งภายในโรงงานและระหว่างโรงงาน ซึ่งการขนส่งเป็นจำนวนมากจะทำให้ต้องใช้ทรัพยากรมนุษย์มากและมีความล่าช้าในการขนส่ง โดยถ้าการขนส่งโดยใช้มนุษย์อาจจะความผิดพลาดหรือเกิดอุบัติเหตุได้ จากหลายสาเหตุ เช่น ความเหนื่อยล้า ความประมาท เป็นต้น และอีกปัจจัยหนึ่งคือการทำงานโดยมนุษย์จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนเกินมาก เพื่อลดงบประมาณในการจ้างงานมนุษย์ลง ทำให้ต้นทุนขององค์กรลดลงไปไม่มากก็น้อย

ดังนั้น ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะทำรถขับอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วยภาพขึ้น เพื่อเป็นศึกษาระบบการทำงานของรถขับอัตโนมัติ และการประมวลผลด้วยภาพ เพื่อนำไปพัฒนาต่อในการช่วยให้การขนส่งมีความสะดวกสบาย ความรวดเร็วยิ่งขึ้น เพิ่มความปลอดภัย และยังช่วยลดอุบัติเหตุที่เกิดจากตัวบุคคลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการและการทำงานของรถขับอัตโนมัติ

1.2.2 สามารถออกแบบรถขับอัตโนมัติได้

1.2.3 สามารถนำการประมวลผลด้วยภาพมาประมวลผลด้วยภาพมาใช้ร่วมกับเซนเซอร์ได้

1.3 สมมุติฐานของโครงงาน

รถจำลองไร้คนขับสามารถขับเคลื่อนไปตามเส้นทางจำลองเองได้ โดยไม่ออกนอกเส้นทาง และเมื่อมีวัตถุมากีดขวางเส้นทางในการวิ่งในระยะที่กำหนด รถจะสามารถหยุดได้โดยอัตโนมัติ

1.4 ขอบเขตของการศึกษาโครงงาน

1.4.1 ระบบที่ใช้ในการตรวจจับเส้นถนน จะใช้กล้อง Webcam

1.4.2 ถนนที่ใช้จะเป็นการจำลองขึ้นมาเท่านั้น

1.4.3 หน่วยประมวลผลที่ใช้ คือ Raspberry Pi 4 และภาษาที่ใช้ คือ ภาษา Python

1.4.4 รถจำลองไร้คนขับสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงไปข้างหน้าและเลี้ยวโค้งตามทางที่กำหนดขึ้นเท่านั้น

1.4.5 รถจะสามารถหยุดได้เมื่อมีอุปสรรคมากีดขวางในระยะที่กำหนดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 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.

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจการทำงานของรถขับอัตโนมัติ

1.5.2 ได้เรียนรู้การใช้ Raspberry Pi และการใช้ภาษา Python

1.5.3 สามารถสร้าง model ที่จะนำไปต่อยอดหรือประยุกต์ต่อในอนาคตได้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงาน : ตั้งแต่วันที่ 8 มกราคม 2564 ถึง 27 พฤษภาคม 2564

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

รายละเอียด	สัปดาห์ที่																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1. สั่งซื้อของและศึกษาข้อมูลการทำงานเบื้องต้น	←	→															
2. ศึกษาและเขียนโค้ดของส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วน		←	→														
3. ทดสอบระบบและทำการพัฒนาและแก้ไข				สอบกลางภาค			←	→						สอบปลายภาค			
4. จัดทำรูปเล่มและสอบโปรเจค										←	→						
5. แก้ไขรูปเล่มฉบับสมบูรณ์																	↔

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

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi คือ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single-Board Computer) ถูกพัฒนาขึ้นในสหราชอาณาจักร (UK) โดย Raspberry Pi Foundation สามารถเชื่อมต่อกับเมาส์ คีย์บอร์ด และจอมอนิเตอร์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงานการประมวลผลคำ การใช้เพื่องานเอกสาร ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็น Web Server ได้อีกด้วย

บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ โดยระบบปฏิบัติการที่นิยมใช้กันคือ ระบบปฏิบัติการ Raspbian เพราะเป็นระบบที่ถูกสนับสนุนโดยตรงจากทาง Raspberry Pi Foundation บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้อีกด้วย

2.1.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด

บอร์ด Raspberry Pi ปัจจุบันมีด้วยกัน 2 โมเดล คือ โมเดล A และโมเดล B ซึ่งทั้ง 2 โมเดลมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงบางส่วน รายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด Raspberry Pi โมเดล A และโมเดล B

	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
System on a chip (SoC)	Broadcom BCM2835(CPU, GPU, DSP, SDRAMandSingle USB Port)	
CPU	700MHz ARM1176JZF-S core(ARM11 family, ARMv6 instruction set)	
GPU	Broadcom VideoCore IV @ 250 MHzOpenGL ES 2.0 (24 GFLOPS)MPEG-2 and VC-1, 1080p 30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder andencoder	

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 2.1 (ต่อ) คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด Raspberry Pi โมเดล A และโมเดล B

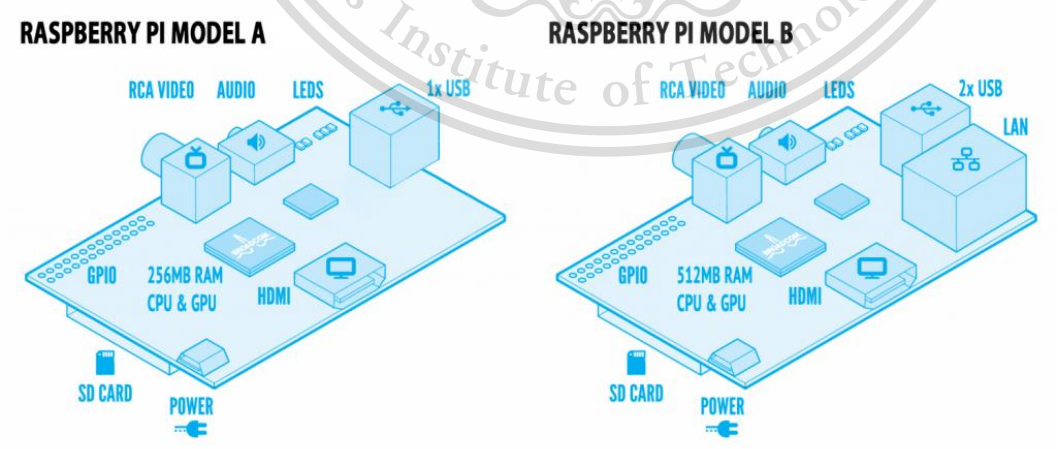
	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
Memory (SDRAM)	256 MB (Shared with GPU)	512 MB (Shared with GPU)
USB 2.0 Ports	1(direct form BCM2835)	2 (via the build in integrated 3-port USB hub)
Video Input	A CSI input connector allows for the connection of RPF designed camera module (ออกแบบมาให้เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi Camera Module โดยเฉพาะ)	
Video Outputs	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), raw LCD Panels via DSI 14 HDMI resolutions from 640×350 to 1920×1200 plus various PAL and NTSC standards.(มีทั้งสองแบบ คือ แบบ RCA และ แบบ HDMI)	
Audio Outputs	3.5 mm jack, HDMI, and as of revision 2 boards, I^2S audio (also potentially for audio input)	
Onboard storage	SD/ MMC/ SDIO card slot (3.3V card power support only)	

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 2.1 (ต่อ) คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด Raspberry Pi โมเดล A และโมเดล B

	โมเดล A	โมเดล B (Revision 2)
Onboard network	None	10/100 Ethernet (8P8C) USB adapter on the third port of the USB hub
Low-level peripheralsLow-level peripherals	8 x GPIO, UART, I^2C Bus, SPI Bus with two chip selects, I^2S audio +3.3V, +5V, Ground	
Power ratings	300 mA (1.5 W)	700 mA (3.5 W)
Power source	5 Volt via Micro USB or GPIO header	
Size	85.60 mm x 53. Mm (3.370 inch x 2.125 inch)	
Weight	45 g. (1.6 oz.)	

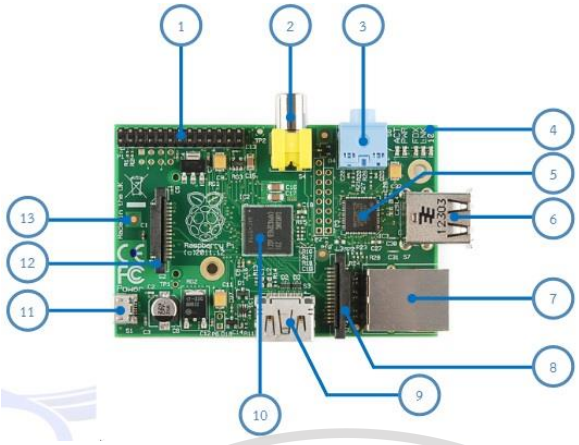
ตัวอย่างโครงสร้างบอร์ด Raspberry Pi ทั้ง 2 โมเดล



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างบอร์ด Raspberry Pi Model A และ Model B
(ที่มา : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html)

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.

2.1.2 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)

(ที่มา : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html)

1) พอร์ต GPIO ซึ่งในโมเดล A และ B (Revision 1) ทุก Pin จะเหมือนกัน แต่โมเดล B (Revision 2) จะแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 2.3 (ก) และ 2.3 (ข)

3.3V	1	2	5V
I2C0 SDA	3	4	DNC
I2C0 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
DNC	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 21	13	14	DNC
GPIO 22	15	16	GPIO 23
DNC	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	DNC
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
DNC	25	26	SP10 CE1 N

(ก) Revision 1

3.3V	1	2	5V
I2C1 SDA	3	4	5V
I2C1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND		10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	GROUND
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
GROUND	25	26	SP10 CE1 N

(ข) Revision 2

ภาพที่ 2.3 Raspberry Pi Model A & B

(ที่มา : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html)

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) พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณภาพออกแบบ RCA

3) จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร

4) LED แสดงสถานะของบอร์ด อยู่ภายในบริเวณกรอบสีแดง ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 จุดแสดงสถานะของบอร์ด

(ที่มา : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html)

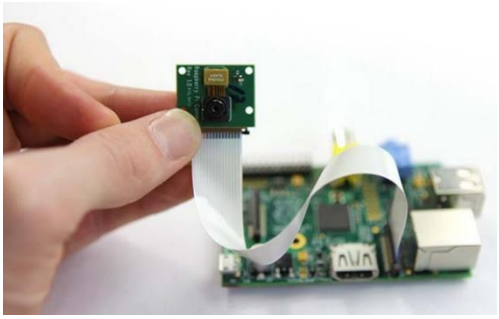
- ACT คือ ไฟสถานะ SD Card Access (สีเขียว)
- PWR คือ ไฟสถานะ 3.3V Power (สีแดง)
- FDX คือ ไฟสถานะ Full Duplex LAN Model B (สีเขียว)
- LNK คือ ไฟสถานะ Link/Activity LAN Model B (สีเขียว)
- 100 คือ ไฟสถานะ 10/100Mbps LAN Model B (สีเหลือง)

5) ชิปควบคุม LAN (LAN Controller)

6) พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต

7) พอร์ต RJ-45 Ethernet LAN 10/100Mbps

8) พอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้อง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 Raspberry Pi Camera Module

(ที่มา : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html)

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.

9) พอร์ต HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง

10) ชิพ Broadcom BCM2835 ARM11 700MHz

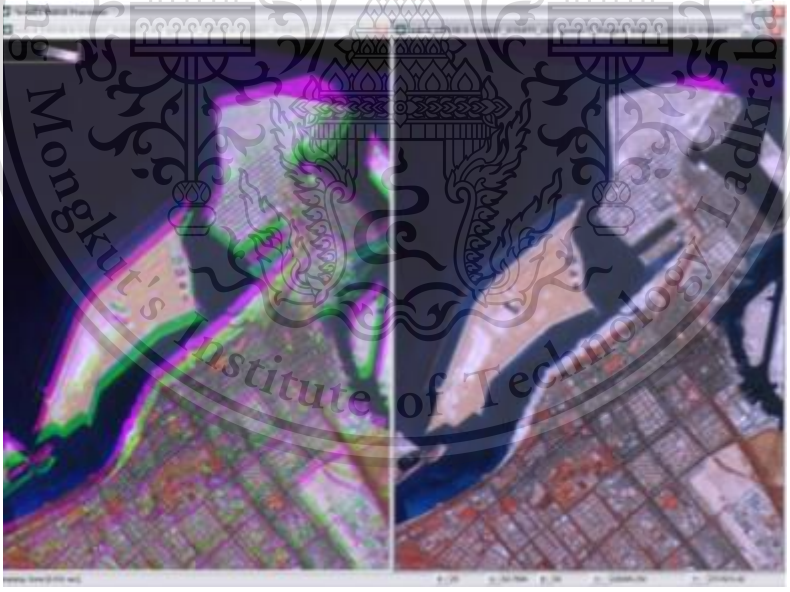
11) พอร์ต Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจรบอร์ด Raspberry Pi

12) พอร์ต DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น

13) ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

2.2 ทฤษฎีของการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง กระบวนการจัดการและวิเคราะห์รูปภาพให้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการหรือสนใจทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่สำคัญ เช่น ปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) การกรองหรือกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ (Image Filters) การแบ่งส่วนของภาพ (Image Segmentation) ที่เราสนใจออกมาจากภาพเพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่น ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเทคโนโลยีทางการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

ซึ่งการประมวลผลภาพที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัล ภาพในที่นี้รวมความหมายถึง สัญญาณวีดิโอ (Video) หรือภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะเป็นชุดของภาพนิ่ง เรียกว่า เฟรม (frame) หลาย ๆ ภาพต่อกันไปตามเวลา ซึ่งก็คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา 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.

สัญญาณ 3 มิติ เมื่อนับเวลาเป็นมิติที่ 3 หรืออาจจะครอบคลุมถึงสัญญาณ 3 มิติ อื่น ๆ เช่น ภาพ 3 มิติทางการแพทย์ เป็นต้น

2.2.1 รูปร่างของภาพ

รูปร่าง คือ คุณลักษณะหรือรูปทรงของวัตถุ ทั้งที่เป็นทรงเรขาคณิตหรือไม่เป็นทรงเรขาคณิต ซึ่งก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ละวัสดุนั้น ๆ ซึ่งในกระบวนการการประมวลผลภาพนั้น การอ่านภาพ การจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ และการแสดงภาพออกทางอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การกำหนดขอบเขตภาพทุกภาพให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular image model)

ในการจัดเก็บข้อมูลภาพลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จะต้องทำการจองหน่วยความจำไว้ในรูปของตัวแปร array โดยค่าในแต่ละช่องของ array จะบ่งบอกคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และแต่ละตำแหน่งของช่อง array ก็จะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ

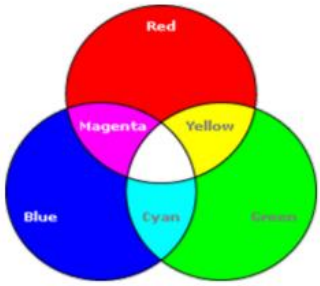
2.2.2 มาตรฐานของสี

ในปัจจุบันมาตรฐานของสีที่ใช้มีอยู่หลายระบบด้วยกัน แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกัน คือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปซ 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปซ ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสี คือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

1) ระบบสี RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันแบบ additive color model ของสีแดง เขียว และน้ำเงิน เข้าด้วยกันในหลายๆวิธีเพื่อสร้างสีที่หลากหลาย ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT, Plasma, LCD, OLED ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RGB_{CIE} และ RGB_{NTSC} ระบบสีแบบ RGB ของ CIE เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l 'Eclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 nm สีเขียวเท่ากับ 546.1 nm และสีน้ำเงิน 435.8 nm ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 2.7

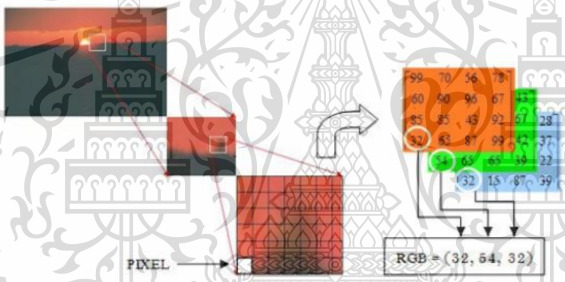
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสี RGB

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

และระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากแม่สีหลัก 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จะมีค่าสีแดงเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) สีเขียวมีค่าเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) สีน้ำเงินมีค่าเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้นก็จะมีค่าสีแต่ละพิกเซลอยู่ แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ระบบสี RGB

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

2) ระบบสี HSV (Hue Saturation Value)

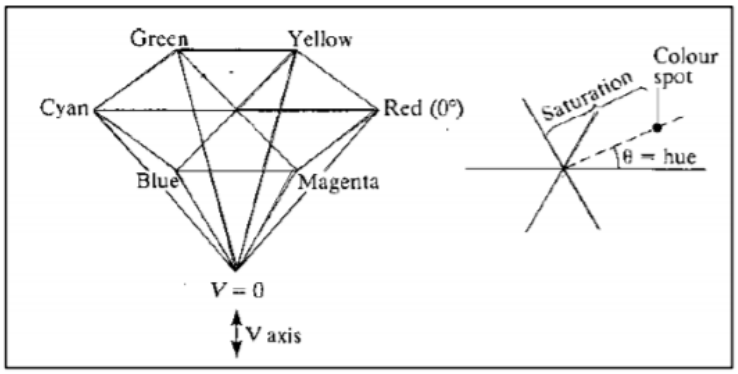
ระบบสี HSV ประกอบด้วย Hue Saturation และ Value โดย H คือค่าของแม่สีหลัก (แดง เขียว และน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดง และเมื่อค่าเพิ่มขึ้นจะแสดงค่าสีต่าง ๆ กัน เปลี่ยนไปตามสเปกตรัมของสีจนค่าที่ 255 ก็จะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า H $\in$ [0°, 360°] ซึ่งค่า H สามารถคำนวณจากระบบสี RGB ได้ดังนี้

$$R_H = R - min(R,G,B) \quad (2.1)$$

$$G_H = G - min(R,G,B) \quad (2.2)$$

ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดง และเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ดังนี้ สีแดงเท่ากับ 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา และสีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศาHue

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



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสี HSV

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

ค่า S คือค่าความบริสุทธิ์ของสี ซึ่งถ้าค่า S มีค่าเป็น 0 จะแทนเป็นสีเทา (ไม่มีค่า H) หากค่า S เท่ากับ 255 จะได้ค่าสีเท่ากับ H อาจกล่าวได้ว่า ค่า $S_{HSV} \in [0, 1]$ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{\boldsymbol{max(R,G,B) - min(R,G,B)}}{\boldsymbol{max(R,G,B)}} \quad (2.3)$$

ค่า V คือค่าความสว่างของสี ณ จุด (Pixel) นั้น ๆ ซึ่งสามารถวัดโดยวัดค่าความเข้มของแสงสว่างของสีที่ประกอบกัน โดยค่า $V \in [0, 1]$ โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$V = max(R,G,B) \quad (2.4)$$

3) ระบบสีแบบ HLS

ระบบสีแบบ HLS (Hue lightness saturation) พัฒนาโดย Teletromix Incorporated จะมีลักษณะคล้ายกับ HSV ดังนี้คือสีของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับ Hue Lightness และ Saturation Hue คือค่าของสีหลักซึ่งมีสีน้ำเงินอยู่ที่ 0 องศา สีเขียวอยู่ที่ 120 องศา และสีแดงอยู่ที่ 240 องศา Lightness คือค่าความสว่าง ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแนวแกน L โดยที่ L เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ และ L เท่ากับ 1 จะเป็นสีขาว

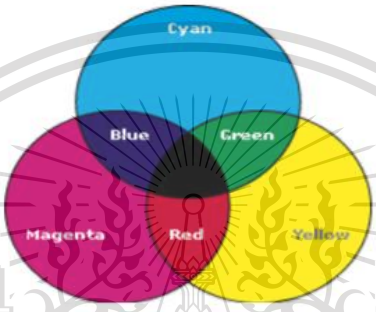
ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสีแบบ HLS

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

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) ระบบสีแบบ CMYK

CMYK (Cyan Magenta Yellow Black) เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับการพิมพ์ภาพสี โดยมีสีหลักคือสี Cyan Magenta Yellow และ Black เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษหรือวัสดุผิวเรียบอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วยสีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) หลักการเกิดสีของระบบนี้ คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบสี RGB ดังภาพที่ 2.11

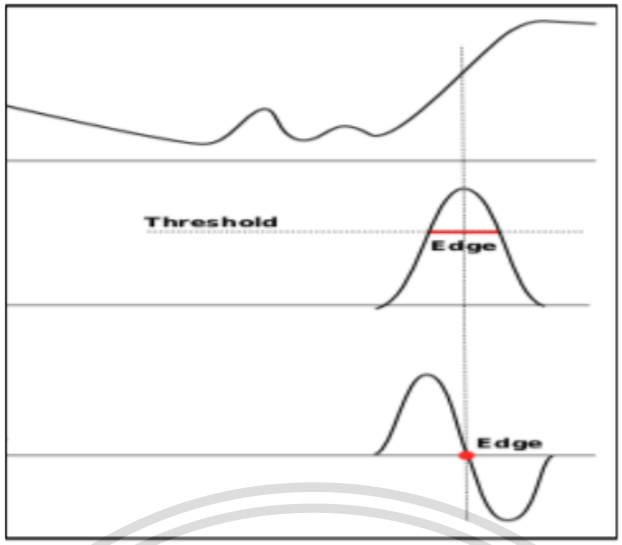


ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างภาพแสดงระบบสีแบบ CMY
(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

2.2.3 การจับขอบของรูปภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ ทำงานโดยตรวจจับความไม่ต่อเนื่องของความสว่าง เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุจะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรู้ประเภทของวัตถุนั้นได้ การหาขอบภาพที่ถูกต้องไม่ใช่เรื่องง่าย โดยเฉพาะการหาขอบภาพที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้าและพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ ขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากมีค่ามาก ขอบภาพก็จะเห็นได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีน้อย ขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน

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



ภาพที่ 2.12 กราฟแสดงการหาขอบด้วยวิธี Gradient method
(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

การหาเส้นขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพหาได้จาก การใช้หลักการหาความชันของค่า intensity หากรูปนั้นไม่มีขอบภาพ ค่า intensity ของแต่ละ pixel ก็จะใกล้เคียงกัน ทำให้ไม่เกิดความชัน ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ Gradient method และ Laplacian method

1) Gradient method

วิธีนี้จะหาขอบโดยการหาจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดในรูปของอนุพันธ์อันดับหนึ่งของภาพ โดยจุดที่เป็นขอบจะอยู่ในส่วนที่เหนือค่า threshold จึงอาจทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะหนา ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Roberts, Prewitt, Sobel และ Canny เป็นต้น

2) Laplacian method

วิธีนี้หาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง โดยใช้จุดที่ค่า y เป็น 0 (Zero crossing) โดยใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า Gradient method ตัวอย่างวิธีการหาขอบของกลุ่มนี้ เช่น Laplacian of Gaussian และ Marrs-Hildreth เป็นต้น

2.2.4 Canny Edge Detection Algorithm

เป็นตัวดำเนินการตรวจจับขอบของภาพที่ใช้อัลกอริทึมหลายขั้นตอนเพื่อตรวจจับขอบที่หลากหลายในภาพ การทำงานของ Canny edge detection นั้นเริ่มต้นจากการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองเกาเซียน (Gaussian filter) หลังจากนั้นคำนวณค่าขนาด (magnitude) และทิศทาง (orientation) ของ gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์ อันดับหนึ่ง ในถัดมาจึงใช้ nonmaxima suppression กับ gradient

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.

magnitude เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้ Hysteresis Thresholding เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ

2.2.5 การปรับปรุงภาพ (Image enhancement)

การปรับปรุงภาพเป็นกระบวนการปรับภาพดิจิทัลเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับการแสดงผลมากยิ่งขึ้น โดยจะสร้างภาพที่เน้นรายละเอียดที่ต้องการหรือปรับพิสัยของโทนแสงที่ต้องการของภาพเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลหรือรายละเอียดอื่น ๆ ของภาพ โดยมีการเน้นสารสนเทศในข้อมูลบางส่วน และอาจจะไปลดสารสนเทศในข้อมูลอีกส่วนหนึ่ง เช่น การลบnoise, การเพิ่มความคมชัด และการปรับความสว่าง โดยผู้ใช้อาจจะต้องตัดสินใช้วิธีการปรับปรุงภาพหลาย ๆ แบบในการทำงานครั้งหนึ่ง ซึ่งการปรับปรุงภาพแต่ละวิธีจะช่วยในการแปลภาพในแง่มุมที่แตกต่างกัน

วิธีปรับปรุงภาพที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ การปรับปรุงภาพเชิงรังสี (radiometric enhancement) เชิงช่วงคลื่น (spectral enhancement) และเชิงพื้นที่ (spatial enhancement) ซึ่งโปรแกรมการปรับปรุงภาพที่มีอยู่ในระบบประมวลผลภาพในเชิงพาณิชย์ จะมีโปรแกรมย่อยทั้งหมดดังกล่าวนี้อยู่ ผู้ที่ใช้โปรแกรมเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องรู้รายละเอียดทางด้านหลักคณิตศาสตร์และสถิติมาก

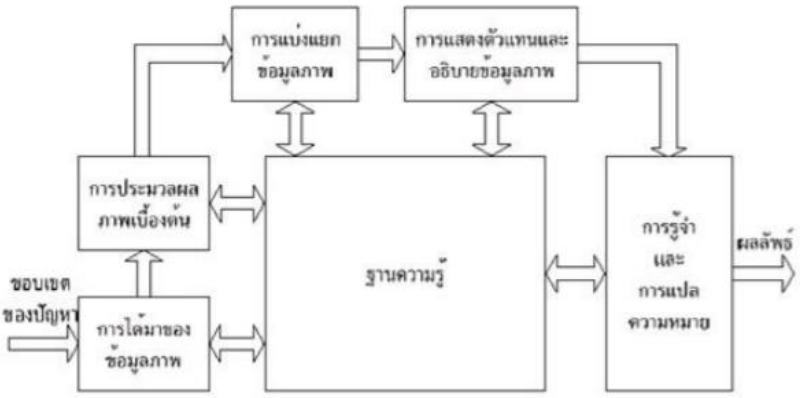
2.2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพผ่านอัลกอริทึม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการหรือสนใจทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่สำคัญ เช่น การปรับภาพให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพเพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาดรูปร่างและทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ในงานด้านอื่น ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเทคโนโลยีทางด้านเกษตร ด้านอุตสาหกรรม

1) ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล

ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล สามารถทำงานตามหลักทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลได้หลายวิธี หลัก ๆ จะมีการทำงานตามขั้นตอนดังภาพที่ 2.13

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.



ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

2) การได้มาของภาพ (Image Acquisition) เป็นการนำข้อมูลภาพ โดยสามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบภาพดิจิทัล โดยทั่วไปการได้มาของภาพจะเกี่ยวข้องกับการ preprocessing เช่นการปรับขนาดของภาพ เป็นต้น

3) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Processing) ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นการเตรียมภาพให้มีความเหมาะสมสำหรับกรประมวลผลขั้นถัดไป ได้แก่ การตัดแยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลังหรือการเน้นคุณลักษณะบางอย่างที่น่าสนใจในภาพ ตัวอย่าง เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวน การปรับความสว่างภาพ การปรับความคมชัด เป็นต้น

4) การตัดแยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลัง (Image segmentation) เป็นกระบวนการแบ่งภาพดิจิทัลออกเป็นหลายๆส่วน เพื่อลดความซับซ้อนและสามารถนำภาพที่ถูกแบ่งนำมาวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น

5) การแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูลภาพ (Representation and Description) หลังจากภาพได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วนแล้ว นำเข้ากระบวนการ represent และ descript เพื่อให้เห็นลักษณะเด่นและอธิบายข้อมูลภาพในบริเวณต่าง ๆ ของภาพ

6) การสกัดลักษณะเด่น ขั้นตอนการสกัดลักษณะเด่นจะทำการคำนวณลักษณะเด่นของภาพที่ได้มาจากขั้นตอนการตัดแยกภาพวัตถุออกจากพื้นหลัง ตัวอย่างของลักษณะเด่นได้แก่ ขนาดของภาพ สีของภาพ เป็นต้น

7) การจำแนกประเภท ขั้นตอนการจำแนกประเภทเป็นขั้นตอนการจำแนกของภาพว่าเป็นชนิดไหนจากลักษณะเด่นที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่แล้ว

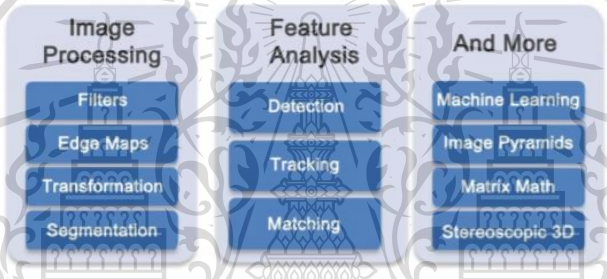
8) การรู้และแปลความหมาย (Recognition and Interpretation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพดิจิทัล หลังจากขั้นตอนการแสดงตัวแทนและอธิบายข้อมูล คือ การรู้จำภาพ (Image Recognition) โดยทำการกำหนดป้ายกำกับให้กับวัตถุนั้นๆ(Label object) เพื่อการให้คำตอบว่าแบบภาพที่

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.

นำเข้ามีความคล้ายคลึงกับรูปแบบของภาพแต่ละภาพอ้างอิงใดมากที่สุดและแปลความหมายนำไปสู่การกำหนดความหมายของชุดข้อมูลรู้จำวัตถุ

2.2.7 OpenCV (CV : Computer Vision)

OpenCV พัฒนาขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจาก Intel Corporation จำกัด เป็นซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยรหัส (Library Open Source) สำหรับใช้ในการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อให้สามารถนำไปต่อยอดพัฒนาโปรแกรมต่าง ๆ ได้ง่าย ใช้ได้บนระบบปฏิบัติการที่เป็น Linux และ Microsoft Windows คือสามารถประมวลผลภาพดิจิทัลได้ทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เช่น ภาพจากกล้อง VDO หรือ VDO File เป็นไปได้อย่างสะดวก มีฟังก์ชันสำเร็จรูปสำหรับการจัดการข้อมูลภาพและการประมวลผลภาพพื้นฐาน เช่น การหาขอบภาพ การรองรับข้อมูลภาพ ฟังก์ชันต่าง ๆ ของ OpenCV จะสามารถเรียกใช้งานได้จะต้องมีการเรียกไฟล์ส่วนหัว (Header file) และลิงค์ (Link) ไลบรารี่ต่าง ๆ รวมถึง DLL (Dynamic Link Library) ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ภาพรวมของไลบรารี่ OpenCV

(ที่มา : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html)

2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor) เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการหมุนตัวขับ (actuator) ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยความแม่นยำโดยใช้สัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่งในการหมุน มักนิยมใช้ในรถบังคับวิทยุ เครื่องบินบังคับวิทยุ หรือใช้ควบคุมแขนขาของหุ่นยนต์ ส่วนใหญ่จะรู้จักกันภายใต้ชื่อว่า RC เซอร์โวมอเตอร์ โดยคำว่า RC มาจาก Radio Control หรือการบังคับด้วยวิทยุ เนื่องจากในยุคแรก ๆ ของการพัฒนาเซอร์โวมอเตอร์ จะถูกนำมาใช้ในงานวิทยุบังคับเป็นหลัก ปกติแล้วเซอร์โวมอเตอร์ที่ยังไม่ได้รับการปรับแต่งใด ๆ นั้นจะใช้ในการควบคุมตำแหน่งของอุปกรณ์ เช่น การบังคับเลี้ยวของรถบังคับวิทยุ หรือใช้สำหรับปรับหางเสือของเรือหรือเครื่องบิน ซึ่งงานเหล่านี้ต้องการแรงบิดของมอเตอร์ที่สูงพอสมควร ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์จึงต้องมีอัตราทดที่มากพอ เพื่อให้สามารถรองรับงานดังกล่าวได้ เซอร์โวมอเตอร์มาตรฐานจะมีมุมในการหมุนอยู่ระหว่าง 90 ถึง 180 องศา แล้วแต่ผู้ผลิต แต่ที่นิยมมากที่สุดคือ 0 ถึง 180 องศา และในบางรุ่นของบางผู้ผลิตจะสามารถดัดแปลง ให้หมุนได้ครบ 360 องศาด้วย

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.

ปัจจุบันเซอร์โวมอเตอร์มีด้วยกัน 2 ชนิดหลัก ๆ คือ ชนิดแอนะล็อกและดิจิตอลรูปร่างภายนอกของเซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองชนิดจะคล้ายกันมาก ความแตกต่างจะอยู่ที่วงจรควบคุมที่อยู่ภายใน โดยในชนิดแอนะล็อกจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวกทรานซิสเตอร์ ไอซีออปแอมป์ หรือมอสเฟตเป็นหลัก ในขณะที่ชนิดดิจิตอลจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมหลัก

2.3.1 โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์

ภายในเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็ก, ชุดเฟืองทด, แผงวงจรควบคุม และตัวต้านทานปรับค่าได้ (POT : Potentiometer) โดยแผงวงจรควบคุมจะมีวงจรป้อนกลับ เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์รับรู้ตำแหน่งของตัวเองได้ โดยผู้ใช้งานเพียงส่งสัญญาณพัลส์ออกไปควบคุมเท่านั้น ดังแสดงไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ในภาพที่ 2.15 แกนของมอเตอร์ไฟตรงจะต่อเข้ากับ ชุดเฟืองเพื่อลดความเร็วรอบลงส่งผลให้แรงบิดที่แกนหมุนมากขึ้น ทั้งหมดทำงานร่วมกันภายใต้ความสัมพันธ์

ภาพที่ 2.15 ไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html)

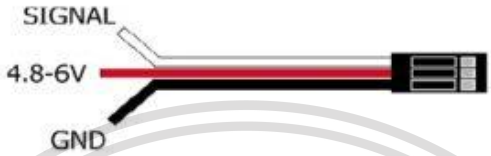
$$P = kwg \qquad (2.5)$$

โดย P คือ พลังงานที่ป้อนให้แก่มอเตอร์
k คือ ค่าคงที่
w คือ ความเร็วรอบ ในหน่วย รอบต่อนาที (rpm : round per minute)
g คือ แรงบิดหรือทอร์ค (torque)

ถ้าหากพลังงานที่จ่ายให้คงที่ เมื่อลดความเร็วรอบลงนั่นย่อมทำให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้น การหมุนของมอเตอร์ได้รับการควบคุมจากวงจรควบคุม โดยมีตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวกำหนดขอบเขตของแกนหมุน ซึ่งหากไม่มีการปรับแต่งใด ๆ แกนหมุนของมอเตอร์จะสามารถหมุนได้ในขอบเขต 0 ถึง 180 องศา

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(หรือน้อยกว่าขึ้นกับผู้ผลิต) ดังนั้นในการปรับแต่งให้เซอร์โวมอเตอร์สามารถขับแกนหมุนได้รอบตัวจึงมักจะใช้วิธีการถอดตัวต้านทานปรับค่าได้ออก แล้วแทนที่ด้วยตัวต้านทานค่าคงที่ 2 ตัว หรือดัดแปลงให้แกนหมุนของตัวต้านทานปรับค่าได้สามารถหมุนได้รอบตัว แกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะมีส่วนปลายเป็นร่องเฟือง (spline) เพื่อให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงไปยังตัวขับหรือกลไกอื่นๆ อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมโยงนั้นเรียกว่า ฮอร์น (horn) ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบทั้งแบบเป็นแขน, เป็นแท่ง, กากบาท, แผ่นกลม เป็นต้น สำหรับร่องเฟืองของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละยี่ห้อก็มีจำนวนไม่เท่ากัน



ภาพที่ 2.16 การจัดสายสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html)

ภาพที่ 2.17 ลักษณะ connector ของเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html)

2.3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของเซอร์โวมอเตอร์

มี 2 ค่าคือ ความเร็ว (speed) และแรงบิดหรือทอร์ค (torque) ความเร็ว หมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้แกนหมุนของมอเตอร์เคลื่อนที่สู่ตำแหน่งมุมที่กำหนด อาทิ เซอร์โวมอเตอร์ตัวหนึ่งมีความเร็ว 0.15 วินาทีสำหรับ 60 องศา หมายถึง เซอร์โวมอเตอร์ตัวนี้สามารถขับให้แกนหมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งมุม 60 องศาภายในเวลา 0.15 วินาที ส่วนแรงบิดมักจะปรากฏในหน่วยของออนซ์-นิ้ว (ounce-inches : oz-in) หรือกิโลกรัม-เซนติเมตร (kg-cm) เป็นคุณสมบัติที่จะบอกต่อผู้ใช้งาน ว่าเซอร์โวมอเตอร์ตัวนี้มีแรงในการขับโหลดที่มีน้ำหนักในหน่วยออนซ์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ 1 นิ้ว หรือน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัมให้เคลื่อนที่ไปได้ 1 เซนติเมตร (น้ำหนัก 1 ออนซ์เท่ากับ 0.028 กิโลกรัมโดยประมาณ หรือ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 35.274 ออนซ์)

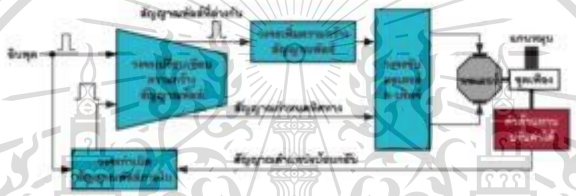
อย่างไรก็ตาม ค่าของความเร็วและแรงบิด ต้องสัมพันธ์กับแรงดันไฟเลี้ยงที่จ่ายให้แก่เซอร์โวมอเตอร์ด้วย ซึ่งมักจะแรงดัน 4.8 หรือ 6V นอกจากนั้นยังมีปัจจัยเกี่ยวกับแรง เสียดทานในระบบเฟืองภายใน

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.

เซอร์โวมอเตอร์ การหล่อลื่นการเชื่อมโยงระหว่างเฟืองต่อเฟืองในชุดเฟืองทด ที่ส่งผลให้ความเร็วและแรงบิดของ เซอร์โวมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปได้

2.3.3 การทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดแอนะล็อก

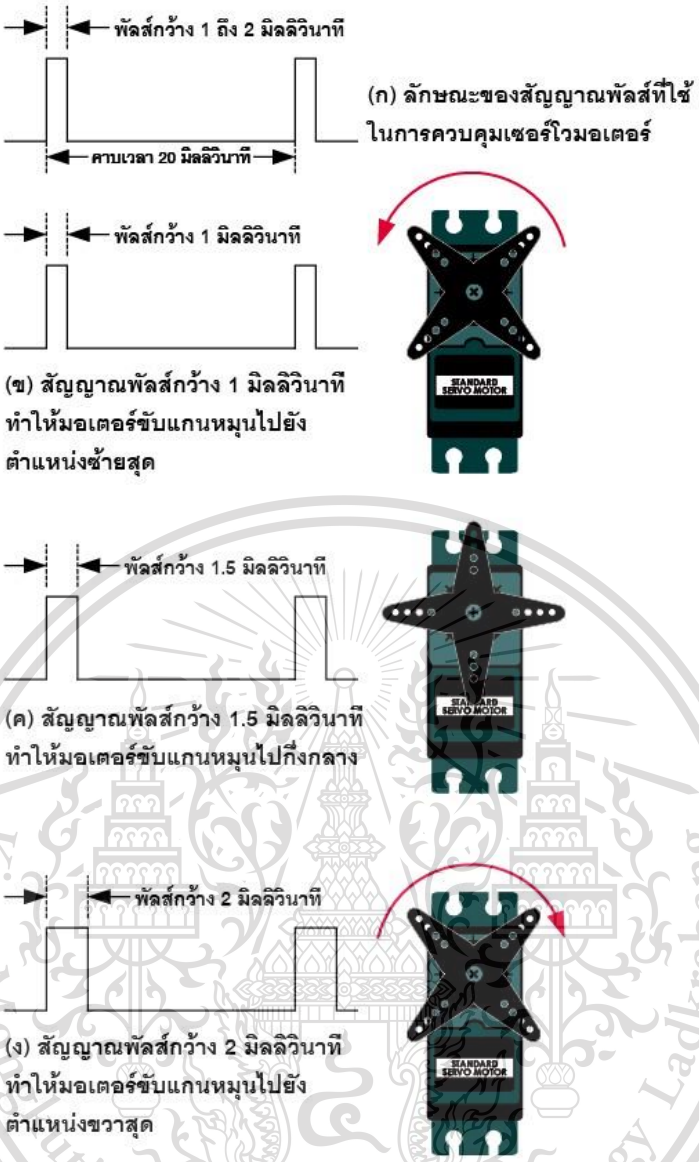
การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะไม่ได้หมุนเป็นอิสระเหมือนมอเตอร์ทั่ว ๆ ไปโดยช่วงระยะการหมุนปกติจะอยู่ระหว่าง 90 ถึง 180 องศา ตำแหน่งการหมุนของแกนมอเตอร์ในเซอร์โวมอเตอร์นี้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากภายในเซอร์โวมอเตอร์มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์อยู่ตลอดเวลา ลักษณะการตรวจสอบจะใช้การป้อนกลับค่าตำแหน่งจากตัวต้านทานปรับค่าได้แล้วนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับค่าพัลส์ที่ป้อนเข้าทางขาควบคุม ค่าของผลต่างที่ได้จะไปปรับตำแหน่งของมอเตอร์ ค่าผลต่างก็จะได้ตำแหน่งของมอเตอร์ที่แม่นยำ



ภาพที่ 2.18 ไดอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดแอนะล็อก
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html)

ในภาพที่ 2.18 แสดงไดอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดแอนะล็อก สัญญาณพัลส์ควบคุมที่ส่งเข้ามาทางอินพุตจะถูกส่งไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ภายในด้วย โดยมีความกว้างที่เป็นสัดส่วนกับตำแหน่งของแกนหมุนในปัจจุบัน ทั้งสัญญาณพัลส์ที่กำเนิดขึ้นภายในกับสัญญาณพัลส์ควบคุมจะถูกส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบเพื่อทำการหักล้างสัญญาณ โดยทิศทางของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับว่า ระหว่างสัญญาณพัลส์ควบคุมทางอินพุตกับสัญญาณพัลส์ภายใน สัญญาณพัลส์ใดมีความกว้างมากกว่า โดยเอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณลอจิก “0” หรือ “1” แล้วส่งไปยังวงจรขับมอเตอร์แบบ H-บริดจ์ เพื่อกำหนดทิศทางการหมุน ทางด้านค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างพัลส์ทั้งสองสัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรเพิ่มความกว้างพัลส์ เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับส่งไปขับมอเตอร์ ผ่านวงจรขับมอเตอร์แบบ H-บริดจ์ โดยความแตกต่างของความกว้างพัลส์ 1% ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์สำหรับขับมอเตอร์ในระดับ 50% และความเร็วนี้จะลดลงเมื่อแกนหมุนของมอเตอร์เคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนด อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของความกว้างสัญญาณพัลส์เริ่มลดลง และหยุดลงเมื่อสัญญาณพัลส์ที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าความกว้างเท่ากัน

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



ภาพที่ 2.19 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html)

2.3.4 วัสดุของเฟืองในเซอร์โวมอเตอร์

ชุดเฟืองในเซอร์โวมอเตอร์โดยส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุ 3 ชนิด คือ

1) ไนล่อน : เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ผลิตเฟืองมากที่สุด เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและมีเสียงรบกวนน้อยเมื่อทำงาน ความทนทานพอสมควรมักพบในเซอร์โวมอเตอร์ขนาดเล็กและราคาถูก **2) โลหะ** : เฟืองที่ผลิตด้วยโลหะจะมีความทน ทานสูง แข็งแรง สามารถทนแรงเสียดทานเมื่อเฟืองขบกันได้สูงมาก ทำให้สามารถนำมาสร้าง เซอร์โวมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงมากได้ โลหะที่พบมากที่สุดในการนำมาผลิตเฟืองคือ ทองเหลือง และถ้าหากมีงบประมาณมากเพียงพอ ควรเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้เฟืองที่ผลิตจากไทเทเนียม

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) คาร์บอไนต์ (Karbonite) : เป็นวัสดุพิเศษที่ทำมาจากคาร์บอน แล้วแปรรูปมาเป็นวัสดุที่คล้ายพลาสติก โดยคาร์บอไนต์จะมีความแข็งแรงและทนทานมากกว่าเฟืองไนลอน ในขณะที่มีน้ำหนักเบา ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์สมัยใหม่จึงนิยมใช้เฟืองที่ผลิตจากวัสดุชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดดิจิตอลที่ใช้หุ่นยนต์ Humanoid

2.3.5 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดยสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีคาบเวลา 20 มิลลิวินาทีป้อนให้กับวงจรควบคุมภายในเซอร์โวมอเตอร์ดังภาพที่ 2.19 แล้วปรับความกว้างของพัลส์ช่วงบวก ที่พัลส์กว้าง 1 มิลลิวินาที มอเตอร์จะหมุนไปตำแหน่งซ้ายมือสุด ถ้าส่งพัลส์กว้าง 1.5 มิลลิวินาที แกนหมุนของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งกึ่งกลาง และถ้าส่งพัลส์กว้าง 2 มิลลิวินาที แกนหมุนของมอเตอร์จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งขวามือสุด การป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีคาบเวลาช่วงบวกตั้งแต่ 1.5 ถึง 2 มิลลิวินาทีจะทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา โดยถ้าค่าความกว้างพัลส์ยิ่งห่างจาก 1.5 มิลลิวินาที มากเท่าใด ความเร็วในการหมุนก็จะมากขึ้นเท่านั้น นั่นคือ ความเร็วสูงสุดของการหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณพัลส์ควบคุมมีความกว้าง 2 มิลลิวินาที การป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีคาบเวลาช่วงบวกตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 1.5 มิลลิวินาที ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งถ้าค่าความกว้างพัลส์เข้าใกล้ 1 มิลลิวินาทีความเร็วในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ก็จะมาก นั่นคือ ความเร็วสูงสุดของการหมุนตามเข็มนาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณพัลส์ควบคุมมีความกว้าง 1 มิลลิวินาที

2.4 มอเตอร์ไฟตรง (DC Motor)

มอเตอร์ไฟตรง (DC motor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยเมื่อจ่ายไฟให้แก่มอเตอร์ จะทำให้แกนของมอเตอร์หมุน จึงสามารถนำการหมุนของแกนมอเตอร์ไปใช้ในการขับเคลื่อนวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่

มอเตอร์ไฟตรงมีขนาดและพิกัดแรงดันให้เลือกใช้มากมาย ในบทความนี้จะเน้นไปที่มอเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้แรงดันในย่าน +1.5 ถึง +12V ซึ่งมีการใช้งานในหุ่นยนต์หรือสิ่งประดิษฐ์ที่มีกลไกเคลื่อนไหว ในภาพที่ 2.20 แสดงหน้าตาของมอเตอร์ไฟตรงในแบบต่าง ๆ

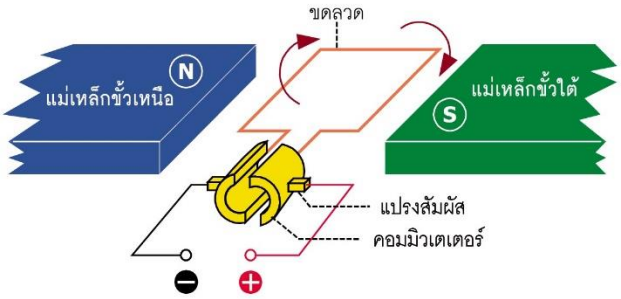
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

ภาพที่ 2.20 มอเตอร์ไฟตรงที่มีชุดเฟืองขับในแบบต่าง ๆ
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

โดยปกติมอเตอร์ไฟตรงจะถูกสร้างขึ้นให้สามารถหมุนแกนด้วยความเร็วสูงมาก ตั้งแต่ 1,000 รอบขึ้นไป แต่แรงบิดที่ความเร็วรอบสูงมีน้อยมาก จนไม่สามารถนำไปขับกลไกเคลื่อนไหวได้ จึงต้องมีการทดจำนวนรอบด้วยการใช้เฟือง เพื่อให้เกิดแรงบิดมากขึ้น นั่นคือ ยิ่งมีอัตราทดสูงเท่าใด ความเร็วรอบของแกนมอเตอร์จะลดลง แต่จะมีแรงบิดมากขึ้น ดังนั้นการกำหนดอัตราทดที่เหมาะสมจะทำให้สามารถใช้งานมอเตอร์ไฟตรงเพื่อขับเคลื่อนกลไกเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 การทำงานของมอเตอร์ไฟตรง

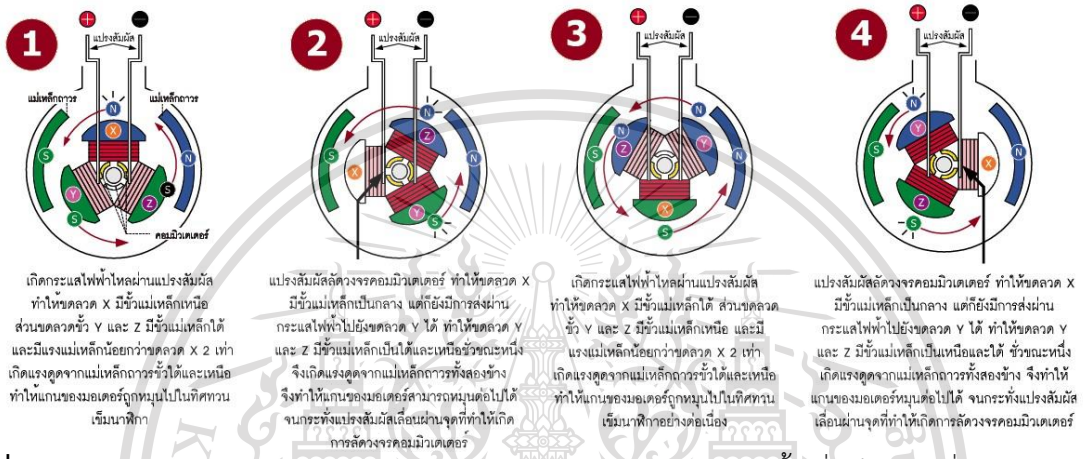
การขับหรือทำให้มอเตอร์ไฟตรงทำงานเพื่อหมุนแกนนั้นง่ายมาก เพียงจ่ายไฟเข้าที่ขั้วของมอเตอร์เท่านั้น และเมื่อกลับขั้วของการจ่ายไฟมอเตอร์ก็จะหมุนกลับทิศทาง สำหรับการอธิบายการทำงานของมอเตอร์โดยทั่วไปจะอ้างถึงมอเตอร์แบบ 2 ขั้ว ดังในภาพที่ 2.21 เมื่อจ่ายไฟให้แก่มอเตอร์ผ่านทางแปรงสัมผัสซึ่งต่ออยู่กับคอมมิวเตเตอร์และขดลวด เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น และเกิดแรงดูดจากแม่เหล็กถาวร ทำให้ขดลวดสามารถหมุนได้ แต่ด้วยการใช้ขดลวดเพียง 2 ขั้ว การหมุนของมอเตอร์จะขาดเสถียรภาพ เพราะในความเป็นจริงเมื่อคอมมิวเตเตอร์หมุนไป 90 องศาจะทำให้เกิดการลัดวงจรคอมมิวเตอร์ทั้ง 2 ชิ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าหยุดไหล แต่แกนของมอเตอร์ยังหมุนไปได้ด้วยแรงเฉื่อย ทำให้จังหวะการทำงานนั้นไม่ต่อเนื่อง และทำให้อัตราเร็วในการหมุนไม่คงที่ ซึ่งทางแก้ไขนั้นจะใช้มอเตอร์แบบมีขดลวด 3 ขั้ว ที่มีการพันในทิศทางที่สลับกัน



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

ภาพที่ 2.21 ส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรง
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

ในมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้งานจริงนั้น จะเป็นมอเตอร์แบบขดลวด 3 ขั้ว ดังนั้นคอมมิวเตเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการจ่ายกระแสให้แก่ขดลวดจะมี 3 ชิ้น ดังแสดงโครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรงแบบ 3 ขั้ว ในภาพที่ 2.22 ด้วยการใช้ขดลวด 3 ชุดนี้ช่วยให้การหมุนของมอเตอร์มีเสถียรภาพมากขึ้น เพราะแม้ว่าจะเกิดจังหวะที่คอมมิวเตเตอร์ 2 ชิ้นจะถูกลัดวงจร ดังในขั้นตอนที่ 2 และ 4 ของภาพที่ 2.22 แต่เนื่องจากมีคอมมิวเตเตอร์ 3 ชิ้น เมื่อลัดวงจร 2 ชิ้น ก็เสมือนกับรวมกันเป็นคอมมิวเตเตอร์ 1 ชิ้น จึงสามารถทำงานกับคอมมิวเตเตอร์อีก 1 ชิ้นที่เหลือ เพื่อกำหนดจังหวะการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไปได้ ทำให้ไม่เกิดภาวะกระแสไฟฟ้าหยุดไหลดังที่เกิดในมอเตอร์แบบขดลวด 2 ขั้ว

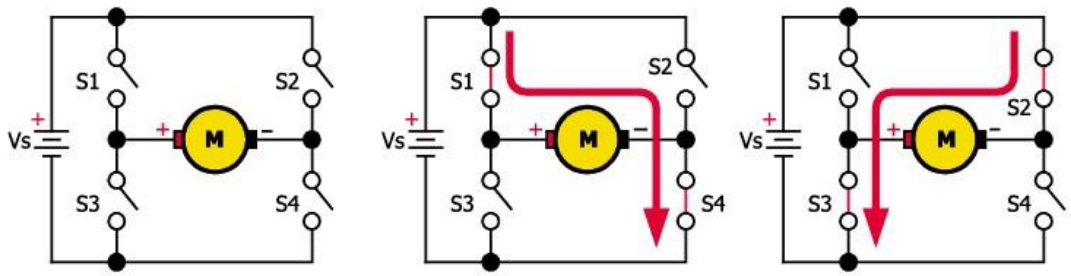


ภาพที่ 2.22 ส่วนประกอบและการทำงานของมอเตอร์ไฟตรงแบบขดลวด 3 ขั้ว ซึ่งเป็นแบบที่มีการผลิตใช้งานจริง

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

2.4.2 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยสวิตช์

แสดงวงจรในภาพที่ 2.23 ประกอบไปด้วย สวิตช์ 4 ตัว นั่นก็คือ S1, S2, S3 และ S4 ซึ่งในรูปตัวอย่างมอเตอร์จะเคลื่อนที่ทิศทางใด ขึ้นอยู่กับการต่อ สวิตช์ทั้ง 4 ตัวนั่นเอง ในสภาวะเริ่มต้น ยังไม่มีการเปิดสวิตช์ที่ตัวใดเลย มอเตอร์จึงไม่ทำงาน



ภาพที่ 2.23 หลักการของวงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้สวิตช์ 4 ตัว

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

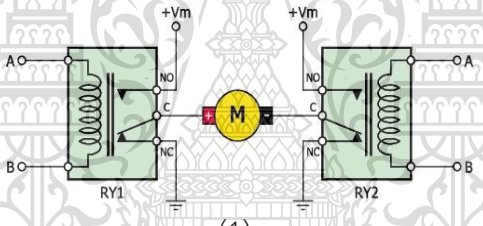
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ให้ทำการต่อวงจร S1 และ S4 ตามภาพที่ 2.23 (2) จะเห็นว่า แรงดัน +V จากแหล่งจ่ายไฟจะถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของมอเตอร์ และขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟต่อเข้ากับขั้วลบของมอเตอร์ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านมอเตอร์ มอเตอร์จึงหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW : Clock wise)

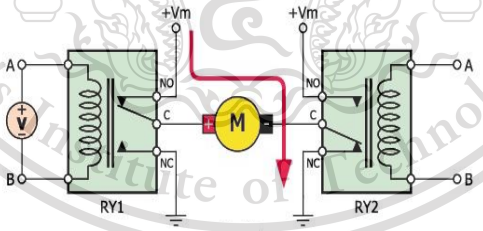
เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางหรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW : Counterclockwise) ให้ทำการต่อสวิตช์ S2 และ S3 แทน ในขณะที่ S1 และ S4 เปิดวงจร มอเตอร์ก็จะได้รับแรงดันกลับขั้ว ทำให้กระแสไหลในทิศทางตรงข้าม มอเตอร์จึงหมุนกลับทิศทางกับในตอนแรก

2.4.3 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงอย่างง่ายด้วยรีเลย์

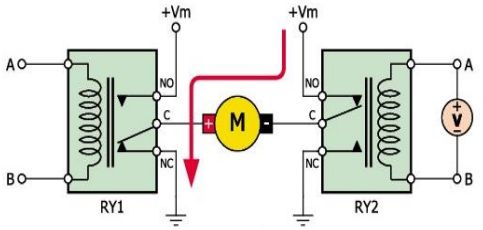
จากวงจรในภาพที่ 2.23 เปลี่ยนสวิตช์เป็นรีเลย์ 2 ตัว คือ RY1 และ RY2 โดยขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY1 และขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ต่อกับขาร่วมของรีเลย์ RY2 ส่วนที่ขา NO ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่ออยู่กับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ $+V_m$ ที่จะจ่ายให้มอเตอร์ และขา NC ของทั้งรีเลย์ RY1 และ RY2 ต่อลงกราวด์ จะได้เป็นวงจรขับมอเตอร์ตามภาพที่ 2.24 (1)



(1)



(2)



(3)

ภาพที่ 2.24 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้รีเลย์ 2 ตัวแทนสวิตช์ 4 ตัว

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

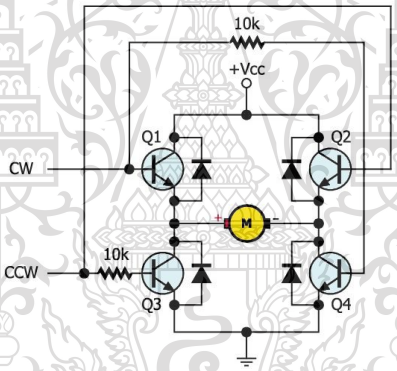
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY1 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY1 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก $+V_m$ เข้าสู่ขั้วบวก (+) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY2 ต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ดังในภาพที่ 2.24 (2)

พิจารณาภาพที่ 2.24 (3) เมื่อจ่ายไฟเพื่อกระตุ้นให้รีเลย์ RY2 ทำงาน จะทำให้หน้าสัมผัสที่ขา NO และ C ของรีเลย์ RY2 ต่อกัน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก $+V_m$ เข้าสู่ขั้วลบ (-) ของมอเตอร์ผ่านไปยังขาร่วม (C) ของรีเลย์ RY1 ซึ่งต่อกับขา NC และลงกราวด์ ทำให้ครบวงจร มอเตอร์จึงทำงานและหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา

2.4.4 วงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

ลักษณะของวงจรขับมอเตอร์ทั้งในภาพที่ 2.23 และ 2.24 มีชื่อเรียกว่า วงจรขับแบบ H-Bridge เนื่องจากลักษณะของวงจรคล้ายกับตัวอักษร H ในภาษาอังกฤษ และมีการใช้อุปกรณ์ควบคุม 4 ตัว นอกจากนั้นยังสามารถใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ มาทดแทนรีเลย์ ดังแสดงวงจรในภาพที่ 2.25 ด้วย การใช้ทรานซิสเตอร์จะทำให้ขนาดของวงจรเล็กลง



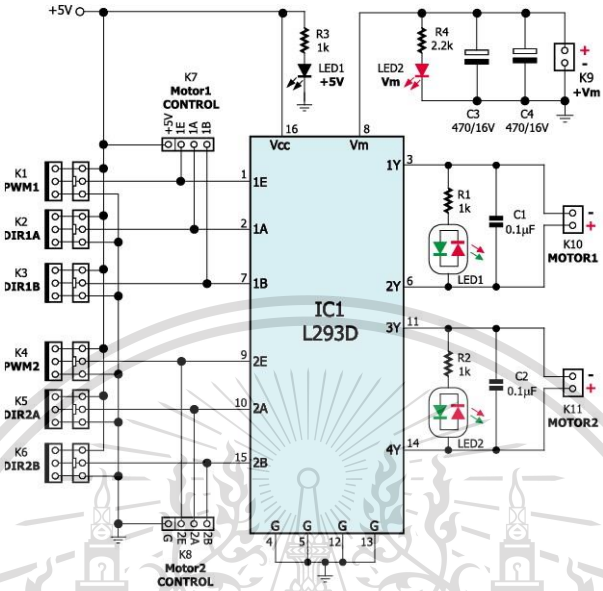
ภาพที่ 2.25 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงแบบ H-Bridge ใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ทำงานแทนสวิตช์และรีเลย์ (ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

เมื่อส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงาน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ถ้าหากส่งสัญญาณลอจิก “1” มาที่อินพุต CCW จะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงานแทน เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ในอีกทิศทางหนึ่ง ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

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.

นอกจากนั้นยังมีการใช้ไอซีขับมอเตอร์โดยเฉพาะ นั่นคือ ไอซีเบอร์ L293D ซึ่งภายในบรรจุวงจรขับแบบ H-Bridge 2 ชุด จึงทำให้สามารถขับมอเตอร์ไฟตรงได้ 2 ตัว ในภาพที่ 2.26 เป็นวงจรขับมอเตอร์ที่ใช้ไอซี L293D



ภาพที่ 2.26 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงโดยใช้ไอซี L293D

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

การขับมอเตอร์แต่ละตัวใช้สายสัญญาณ 3 เส้น เนื่องจากต้องการ ควบคุมทิศทางของมอเตอร์ไปพร้อม ๆ กับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ช่องที่ 1 จะใช้อินพุต DIR1A และ DIR1B ในการกำหนดทิศทางการหมุน ส่วนอินพุตรับสัญญาณเพื่อควบคุมความเร็วจะเป็นขา 1E ส่วนมอเตอร์ช่องที่ 2 ใช้อินพุต DIR2A และ DIR2B ส่วนอินพุตควบคุมความเร็วคือขา 2E

การกำหนดเงื่อนไขในการขับมอเตอร์ของ L293D เป็นดังนี้

DIRxA = 0, DIRxB = 1 มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา

DIRxA = 1, DIRxB = 0 มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา

x คือ 1 หรือ 2

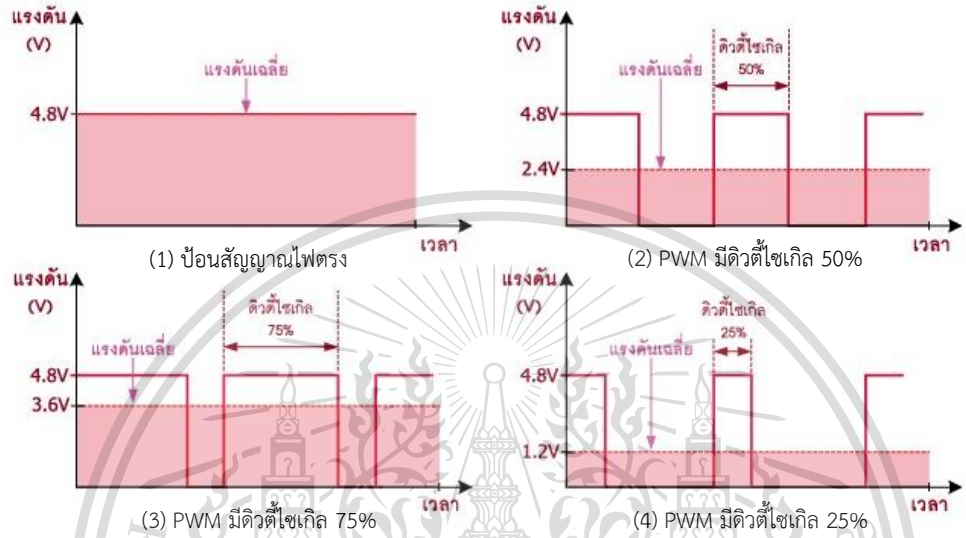
โดยไอซี L293D จะสามารถทำงานได้เมื่อมีสัญญาณลอจิก “1” ส่งมาที่อินพุต 1E สำหรับมอเตอร์ช่อง 1 และ 2E สำหรับมอเตอร์ช่อง 2

ที่เอาต์พุตของวงจรขับมอเตอร์มี LED สองสีแสดงขั้วแรงดันที่จ่าย ให้กับมอเตอร์ ถ้า LED ติดเป็นสีเขียว หมายถึงการจ่ายแรงดันตรงขั้วให้กับมอเตอร์ ถ้าแรงดันที่จ่ายให้กลับขั้ว LED จะติดเป็นสีแดง

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.

2.4.5 ควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ในการขับมอเตอร์โดยปกติจะป้อนแรงดันไฟตรงให้โดยตรง มอเตอร์จะทำงานเต็มกำลัง ซึ่งอาจมีความเร็วมากเกินไป ดังนั้นการปรับความเร็วของมอเตอร์จึงใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ วิธีที่นิยมคือ การป้อนพัลส์ไปขับมอเตอร์แทน แล้วปรับความกว้างพัลส์ช่วงบวก เพื่อให้ได้ค่าแรงดันเฉลี่ยตามต้องการ วิธีการนี้เรียกว่า พัลส์วิดธ์มอดูเลเตอร์ (PWM)



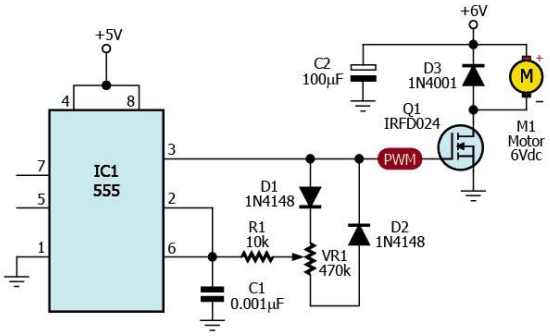
ภาพที่ 2.27 การเปรียบเทียบค่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PWM
(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

โดยความกว้างพัลส์ช่วงบวกเมื่อเทียบกับความกว้างพัลส์ทั้งหมดเรียกว่า ดิวตี้ไซเกิล (duty cycle)โดยจะคิดค่าดิวตี้ไซเกิลเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความกว้างพัลส์ทั้งหมด ตัวอย่างจากภาพที่ (2) มีค่าดิวตี้ไซเกิล 50% หมายถึง ความกว้างของพัลส์ช่วงบวกมีความกว้างเป็น 50% ของความกว้างทั้งหมด ดังนั้นแรงดันเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ (50 x 4.8) /100 = 2.4V สำหรับภาพที่ (3) และ (4) เป็นการกำหนดค่าดิวตี้ไซเกิล 75% และ 25% ตามลำดับ

2.4.6 ตัวอย่างวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์

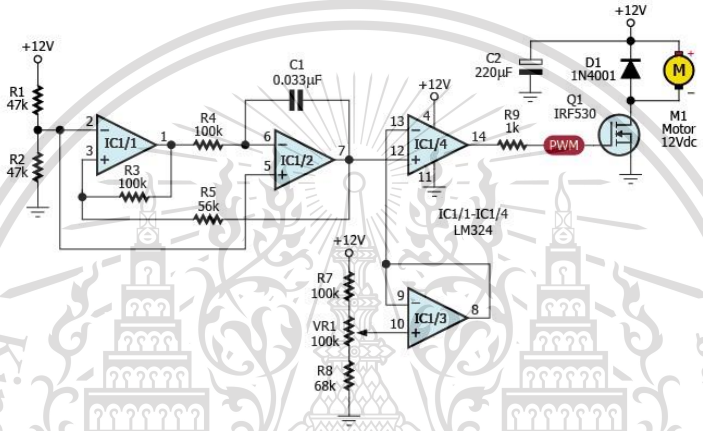
วงจรสำหรับสร้างสัญญาณพัลส์ PWM เพื่อนำไปขับมอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็กนั้นมีตัวอย่างแสดงในภาพที่ 2.28, 2.29 และ 2.30 โดยในภาพที่ 2.28 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ PWM ที่ง่ายที่สุดใช้ไอซี 555 โดยความถี่ของสัญญาณ PWM จะถูกกำหนดด้วยค่าของตัวเก็บประจุ C1 สามารถเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลหรือความกว้างของพัลส์ได้ด้วยการปรับ VR1 สัญญาณ PWM จะถูกส่งไปยังมอสเฟต Q1 เพื่อขับให้มอเตอร์ไฟตรงหมุน ด้วยการปรับค่าของ VR1 ทำให้แรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าพัลส์มีความกว้างมาก แรงดันที่ส่งไปขับมอเตอร์ก็จะมากตาม ส่งผลให้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าพัลส์มีความกว้างน้อยลง แรงดันเฉลี่ยที่เอาต์พุตก็จะลดลง ความเร็วของมอเตอร์ก็ลดลงตาม

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



ภาพที่ 2.28 วงจรขับมอเตอร์ไฟตรงด้วยสัญญาณ PWM อย่างง่าย

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

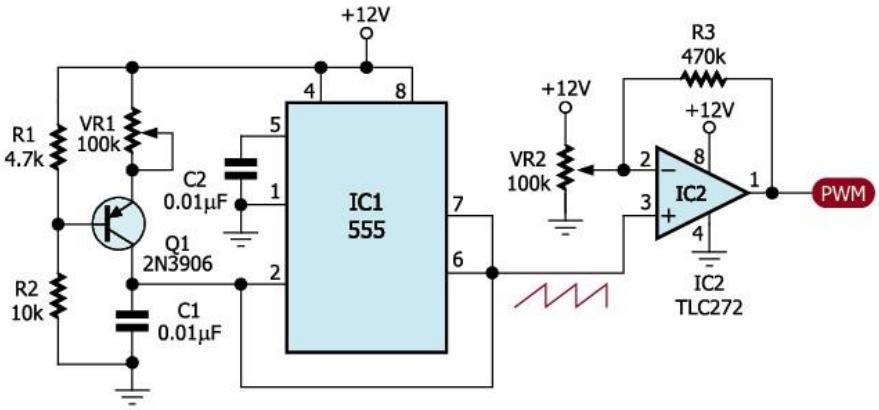


ภาพที่ 2.29 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไอซีออปแอมป์

(ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

ภาพที่ 2.29 เป็นวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรง ซึ่งใช้วงจรกำเนิดพัลส์ PWM ที่สร้างขึ้นจากไอซีออปแอมป์ โดย IC1/1 และ IC1/2 ต่อร่วมกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อทำงานเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยม แล้วส่งมาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากการปรับค่า VR1 ที่ IC1/4 โดยแรงดันจาก VR1 จะผ่านวงจรบัฟเฟอร์ IC1/3 แล้วส่งไปยังอินพุตกลับเฟสของ IC1/4 ส่วนอินพุตไม่กลับเฟสได้รับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมมาจาก IC1/2 สัญญาณ PWM จะเกิดจากการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับแรงดันที่กำหนดโดยค่า VR1 นั่นคือความกว้างของสัญญาณหรือ ดิวตี้ไซเกิลจะขึ้นการปรับแรงดันที VR1 ส่วนความถี่ของสัญญาณจะขึ้นกับค่าของตัวเก็บประจ C1 สัญญาณ PWM เอาต์พุตจะถูกส่งไปยังมอสเฟต Q1 เพื่อขับมอเตอร์ไฟตรงต่อไป ด้วยวงจร นี้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้จากการปรับค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ VR1

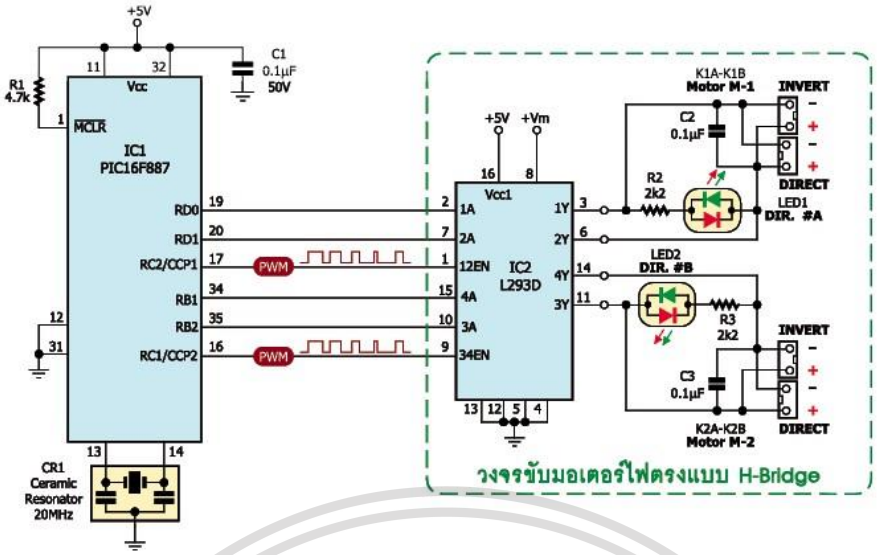
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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



ภาพที่ 2.30 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเกิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100% (ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

จากวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ในภาพที่ 2.28 และ 2.29 จะมีข้อจำกัดที่คล้ายกันข้อหนึ่งคือ ไม่สามารถปรับค่าติวตี้ไซเกิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100% แต่นั่นไม่ได้หมายความว่า วงจรนั้นไม่ดี หากแต่การนำวงจรดังกล่าวไปใช้งานไม่มีความจำเป็นต้องปรับค่าติวดี้ไซเกิลให้ได้เต็มย่าน ยกตัวอย่าง วงจรในภาพที่ 2.29 เป็นวงจรที่ใช้ปรับความเร็วของมอเตอร์ในรถสกู๊ตเตอร์ ซึ่งในการใช้งานจริงค่าดิวตี้ไซเกิลต่ำมากๆ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ วงจรในภาพที่ 2.30 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณ PWM ที่สามารถปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์หรือค่าดิวตี้ไซเกิลได้เต็มย่าน 0 ถึง 100% หัวใจหลักคือวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยหรือ Sawtooth generator ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ LM555 สัญญาณรูปฟันเลื่อยจะถูกส่งไปเปรียบเทียบที่ออปแอมป์คล้ายกับวงจรในภาพที่ 2.29 ด้วยการใช้สัญญาณรูปฟันเลื่อยเป็นสัญญาณอ้างอิงทำให้ สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเกิลได้ 0 ถึง 100% ความถี่ของสัญญาณได้รับการกำหนดจากการปรับค่า VR1 ร่วมกับค่าของตัวเก็บประจุ C2 ส่วนการปรับค่าดิวตี้ไซเกิลปรับได้ที่VR2 สัญญาณ PWM เอาต์พุตสามารถนำไปต่อเข้ากับมอสเฟตเหมือนกับวงจรในภาพที่ 2.28 และ 2.29 หรือต่อเข้ากับขา EN ของไอซี L293 เพื่อใช้กับวงจรขับมอเตอร์แบบ H-Bridge

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



ภาพที่ 2.31 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างสัญญาณ PWM (ที่มา : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html)

นอกจากนั้นในวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟตรงสมัยใหม่จะใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และใช้ขาพอร์ตอีก 1 ถึง 2 ขาในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ดังแสดงวงจรตัวอย่างในภาพที่ 2.31 ด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์มีขนาดเล็กและลดความซับซ้อนลงอย่างมาก ทั้งยังสามารถกำหนดความกว้างและความถี่ของสัญญาณ PWM ได้ละเอียดมากขึ้น

2.5 เว็บแคม (Webcam)

เว็บแคม (Webcam) หรือ ชื่อเรียกเต็ม ๆ ว่า Web Camera แต่ในบางครั้งก็มีคนเรียกว่า Video Camera หรือ Video Conference ก็แล้วแค่ความเข้าใจแต่ละคน เว็บแคมเป็นอุปกรณ์อินพุตที่ สามารถจับภาพเคลื่อนไหวของเราไปปรากฏในหน้าจอมอนิเตอร์ และสามารถส่งภาพเคลื่อนไหวนี้ผ่านระบบเครือข่ายเพื่อให้คนอีกฟากหนึ่งสามารถเห็นตัวเราเคลื่อนไหว ได้เหมือนอยู่ต่อหน้า ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อีกตัวหนึ่ง และเริ่มมีความจำเป็นมากขึ้นเรื่อย ๆ

2.5.1 ประเภทของเว็บแคม

อุปกรณ์อย่างกล้องเว็บแคมไม่ใช่ว่าจะเหมือนกันหมดทุกตัว แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อจะมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่ผู้ผลิตจะคิดค้นและออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งานอย่างไร ซึ่งสามารถแบบประเภทของเว็บแคมได้ดังนี้

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) แบ่งตามรูปทรงของกล้อง

โดยปกติกล้องเว็บแคมส่วนใหญ่จะเป็นทรงกลม เนื่องจากเป็นรูปทรงต้นแบบที่ทำกันมานานและก็ทำให้รู้ได้ทันทีว่านี้คืออุปกรณ์ เว็บแคม แต่ไม่จำเป็นที่กล้องเว็บแคมต้องเป็นทรงกลมเสมอไป เพราะบางครั้ง กล้องเว็บแคม ก็จำเป็นต้องมีรูปทรงอื่นๆ เพื่อให้เข้ากับการใช้งานในบางลักษณะ ดังนั้น การเลือกรูปทรงให้เหมาะสมนั้น ก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของเรามากกว่า

2) แบ่งตามประเภทของขาตั้งกล้อง

โดยส่วนใหญ่ลักษณะของฐานตั้งกล้องจะเป็นแบบตั้งพื้นเสียส่วนใหญ่ โดยแบบแรก คือ แบบมีขาสำหรับวางบนพื้น อาจจะมีขา 3 ขา หรือ 4 ขา ก็แล้วแต่การออกแบบ แต่ฐานแบบ 3 ขา จะมี ปัญหาตรงที่ วางแล้วยังไม่มั่นคงดีนัก และไม่สามารถหมุนตัวกล้องได้สะดวกนัด ดังนั้น ถ้าต้องการเว็บแคมที่มีฐานมั่นคงและสามารถหมุนได้ง่ายๆ ก็ต้องเลือกแบบฐานทรงกลมขนาดใหญ่ ซึ่งแบบนี้จะมีข้อดีตรงที่ วางได้มั่นคงและยังสามารถหมุนแกน ของตัวกล้องได้ไม่จำเป็นต้องยกตัวกล้องหมุนไปมาให้เสียเวลา

3) แบ่งตามชนิดของเซนเซอร์

สำหรับเซนเซอร์ที่กล้องเว็บแคมใช้นั้นจะมีหลักๆอยู่ 2 ชนิด คือ CCD และ CMOS แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในตอนนี้ก็คือ CMOS เนื่องจากเหตุผลหลายๆประการและตัวเซนเซอร์ แบบ CMOS เองก็สามารถแบบออกได้ถึง 2 ชนิดด้วยกันคือ

CLF Color CMOS Censor ที่มีความละเอียดของพิกเซลแค่ 110,000 พิกเซล (367 x 291) เท่านั้น ในขณะที่ VGA Color CMOS Censor ให้ความละเอียดที่สูงกว่าที่ 350,000 พิกเซล (655 x 493) ดังนั้น เวลาเลือกซื้อกล้องเว็บแคมก็ดูได้ทั้งความละเอียดที่ระบุไว้ หรือชนิดของ CMOS สำหรับเซนเซอร์แบบ CCD จะเป็นเซนเซอร์ที่นิยมใช้ในกล้องดิจิตอล เพราะให้ความละเอียดที่สูงกว่าและก็มี noise ไม่มากเหมือนกับเซนเซอร์แบบ CMOS

4) แบ่งตามรูปแบบการเชื่อมต่อ

สำหรับการเชื่อมต่อของกล้องเว็บแคมในปัจจุบันส่วนใหญ่ จะเป็นอินเทอร์เฟซแบบ USB แทบทั้งสิ้นโดย USB ที่ใช้ก็จะเป็นเวอร์ชัน 1.1 เสียส่วนมาก แต่ก็จะมีเวอร์ชัน 2.0 ในบางรุ่นกล้องเว็บแคมแบบไร้สายจะใช้การเชื่อมต่อในแบบ WiFi หรือ Wireless lan นั่นเองทำให้สามารถเคลื่อนย้ายไปได้ทุกที่โดยไม่ต้องคำนึงถึงสายให้วุ่นวาย แต่เว็บแคมที่เป็น Wireless ตอนนี้ก็ยังมีราคาค่อนข้างแพงอยู่

2.6 อัลตร้าโซนิค เซนเซอร์ (Ultrasonic sensor)

คือ เซนเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับวัดถุต่างๆ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นความถี่เสียง และคำนวณหาค่าระยะทางได้จากการเดินทางของคลื่นและนำมาเทียบกับเวลา ด้วยกลไกดังกล่าวทำให้เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆได้อย่างมากมาย เช่น งานวัดระดับน้ำ งานตรวจจับชิ้นงาน งานตรวจจับความหนาของวัตถุ

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.

คลื่นความถี่ที่ใช้ในตัว Ultrasonic Sensor คือ คลื่นความถี่เสียงในช่วง Ultrasound ซึ่งเป็นคลื่นความถี่เสียงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน โดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 20 KHz ขึ้นไป ซึ่งข้อดีของการใช้ Ultrasonic

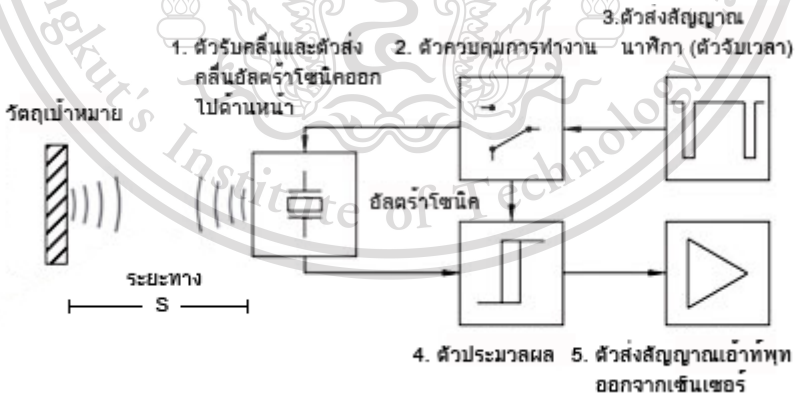
Sensor ในการตรวจจับวัตถุนั้น คือ เรื่องของการเดินทางของคลื่น Ultrasound ที่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางเช่น อากาศ ก๊าซ ของเหลว หรือ ของแข็งได้ ยกเว้นในสภาวะสูญญากาศ ทำให้สามารถใช้งานตรวจจับวัตถุได้หลากหลาย และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี

คลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิค นั้นเป็นคลื่นที่มีทิศทางที่แน่นอน ทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยการทำให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล โดยความถี่ที่นำมาใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวกลาง เช่น ถ้าคลื่นเสียงที่ต้องเดินทางผ่านอากาศความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz

2.6.1 หลักการทำงานของอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์

อัลตร้าโซนิคเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ โดยส่วนประกอบของตัวเซนเซอร์จะประกอบด้วย

1) ตัวส่งคลื่นอัลตร้าโซนิคและตัวรับคลื่นอัลตร้าโซนิค (อัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์)
2) ตัวควบคุมการทำงาน
3) ตัวส่งสัญญาณนาฬิกา
4) ตัวประมวลผล
5) ตัวส่งสัญญาณเอ้าท์พุท



ภาพที่ 2.32 ไดอะแกรมภายในอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์
(ที่มา : https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้-2090-อัลตราโซนิค-เซนเซอร์-ultrasonic-sensors.html)

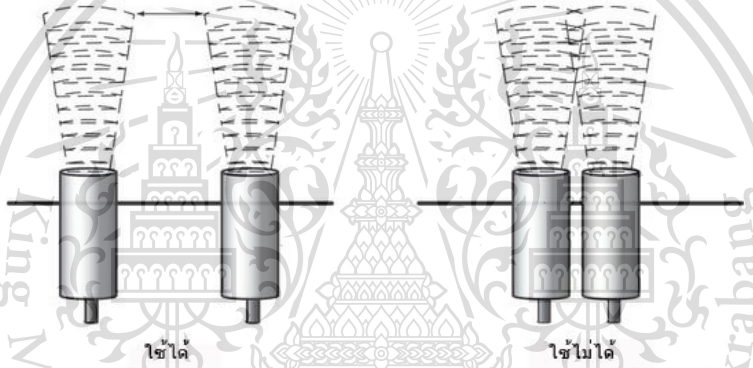
โดยตัวเซนเซอร์จะทำงานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปต่อที่ตัวอัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตร้าโซนิคออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลต้าโซนิคไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่ตัวรับคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล ตัวประมวลผลจะทำการคำนวนค่าระยะห่างจากระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทางไปและเดินทางกลับอย่างแม่นยำ และส่งค่าที่คำนวนได้ไปให้ตัวส่งสัญญาณเอ้าท์พุท เพื่อส่งสัญญาณเอ้าท์พุทไปให้อุปกรณ์อื่นต่อไป

2.6.2. การจัดวางตำแหน่งของเซนเซอร์

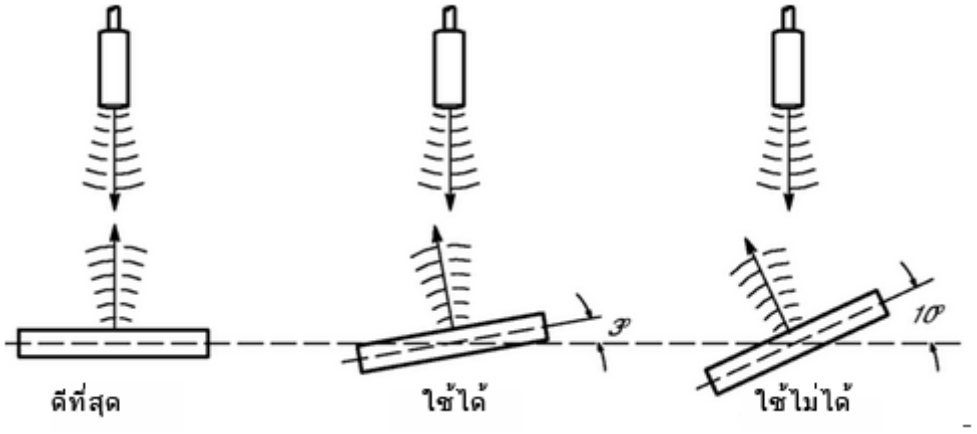
การเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ อัลตร้าโซนิคเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้การส่งคลื่นเสียงในการทำงานทำให้ต้องมีการเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ ดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 การเว้นระยะห่างของเซนเซอร์
(ที่มา : https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้-2090-อัลตราโซนิค-เซนเซอร์-ultrasonic-sensors.html)

จะเห็นว่าเราควรเว้นระยะห่างของเซนเซอร์ เพื่อไม่ให้คลื่นเสียงที่ส่งออกไปมีการรบกวนกัน เพื่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจจับของตัวเซนเซอร์ การวางสิ่งของที่จะทำการตรวจจับ ควรจัดวางสิ่งของที่จะทำการตรวจจับให้มีระนาบที่จะสามารถสะท้อนคลื่นเสียงที่ส่งไปกลับมาได้ ตามคุณสมบัติของคลื่นเสียงที่ว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ดังภาพที่ 2.34

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



ภาพที่ 2.34 การจัดวางแนวระนาบของสิ่งของ

(ที่มา : https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้-2090-อัลตราโซนิค-เซนเซอร์-ultrasonic-sensors.html)

วัตถุที่จะทำการสะท้อนนั้น ควรจะมีลักษณะเป็นแนวราบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการตรวจจับดีที่สุด ถ้าวัตถุที่ทำการตรวจจับเป็นชิ้นเล็กๆหรือมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน จะทำให้ความสามารถในการตรวจจับและความแม่นยำลดลง

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

วิธีการดำเนินงาน

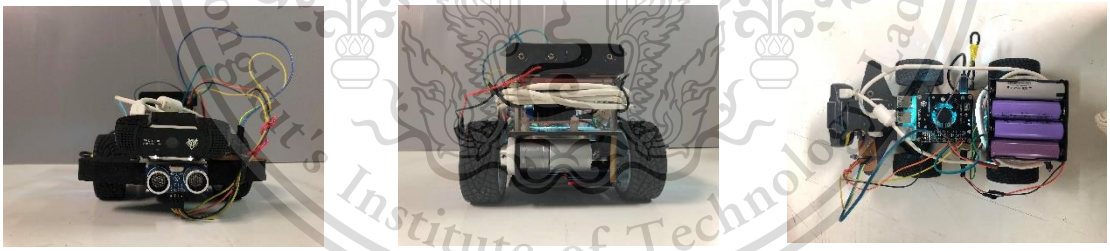
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่ใช้หลาย ๆ รูปแบบ รวมทั้งศึกษาและทำความเข้าใจภาษาที่ใช้ในการเขียนโค้ด หลังจากนั้นทำการเลือกหน่วยประมวลผล ระบบการขับเคลื่อน และระบบการเลี้ยว โดยเลือกใช้ Raspberry Pi 4 เป็นหน่วยประมวลผล ใช้ DC Motor 1 ตัว เป็นตัวขับเคลื่อนล้อหลังทั้ง 2 ล้อ และใช้ Servo Motor 1 ตัว เป็นตัวควบคุมการเลี้ยวที่ล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ และใช้ Ultra sonic sensor 1 ตัว เป็นตัวตรวจจับระยะห่างระหว่างรถและวัตถุที่กีดขวาง เมื่อเลือกได้แล้ว จึงทำการประกอบโครงรถขึ้นมา ดังภาพที่ 3.1

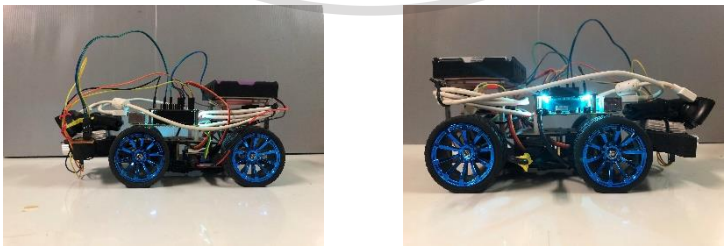
2) ศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลด้วยภาพ ควบคู่ไปกับโค้ดในส่วนการเคลื่อนที่ บังคับทิศทาง และวัดระยะ พร้อมทั้งสร้างถนนจำลองขึ้นมาแสดงดังภาพที่ 3.2

3) นำโค้ดในส่วนต่าง ๆ มาทดลองประมวลผลกับตัวรถและถนนจำลอง โดยเริ่มจากการนำรถมาทดลองวิ่งบนถนนจำลอง จากนั้นปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้ระบบสามารถประมวลผลได้ถูกต้องมากที่สุด

4) นำโค้ดทุกส่วนมาประมวลผลรวมกันทั้งหมด ทดสอบ ปรับปรุงและพัฒนาโค้ดในสามารถประมวลผลได้สอดคล้องกัน



(a) Front View (b) Rear View (C) Top View



(D) Left-Side View (E) Right-Side View

ภาพที่ 3.1 โครงรถที่ทำการประกอบขึ้นมา

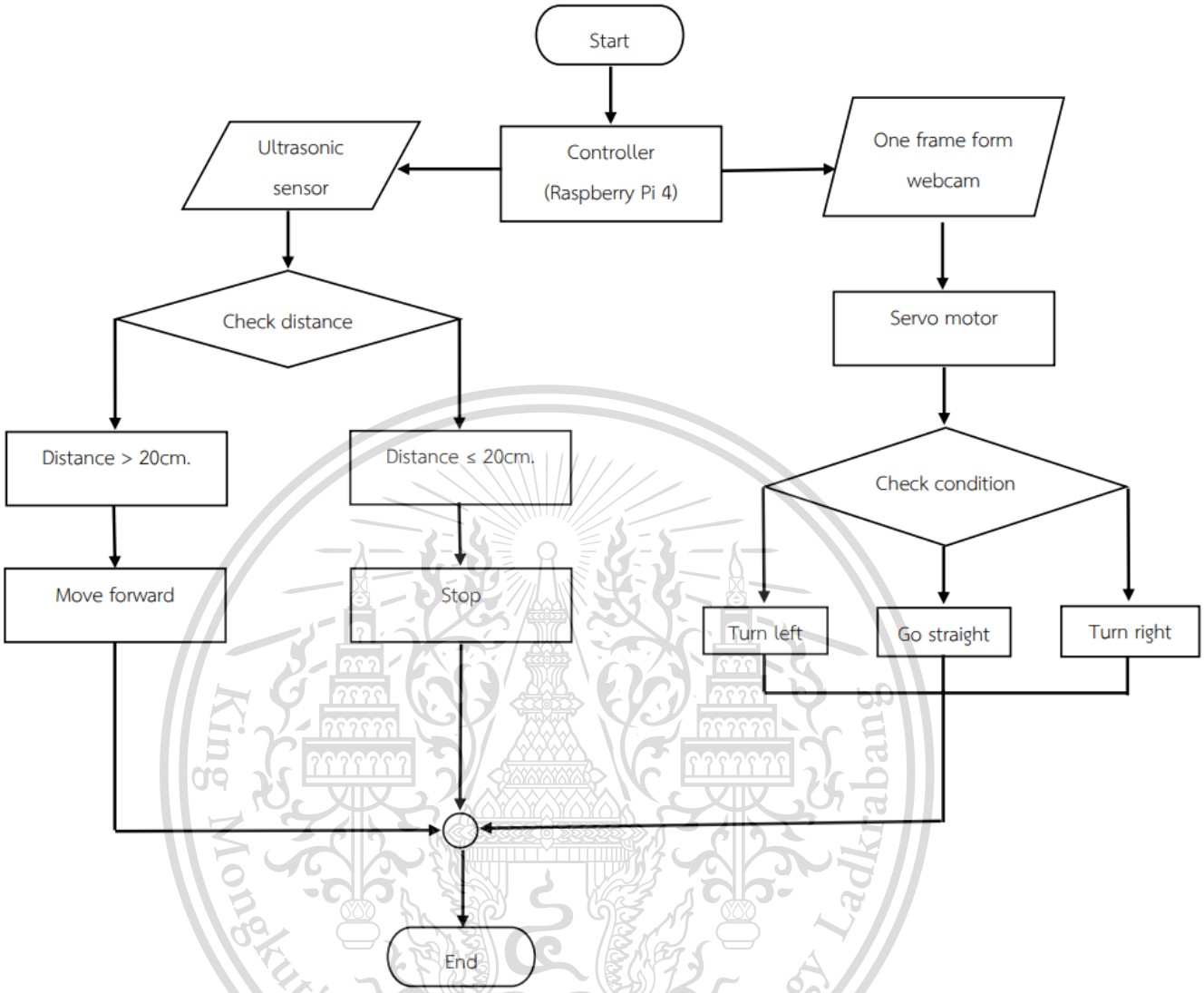
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

ภาพที่ 3.2 ถนนจำลอง

3.2 แผนผังระบบการทำงาน

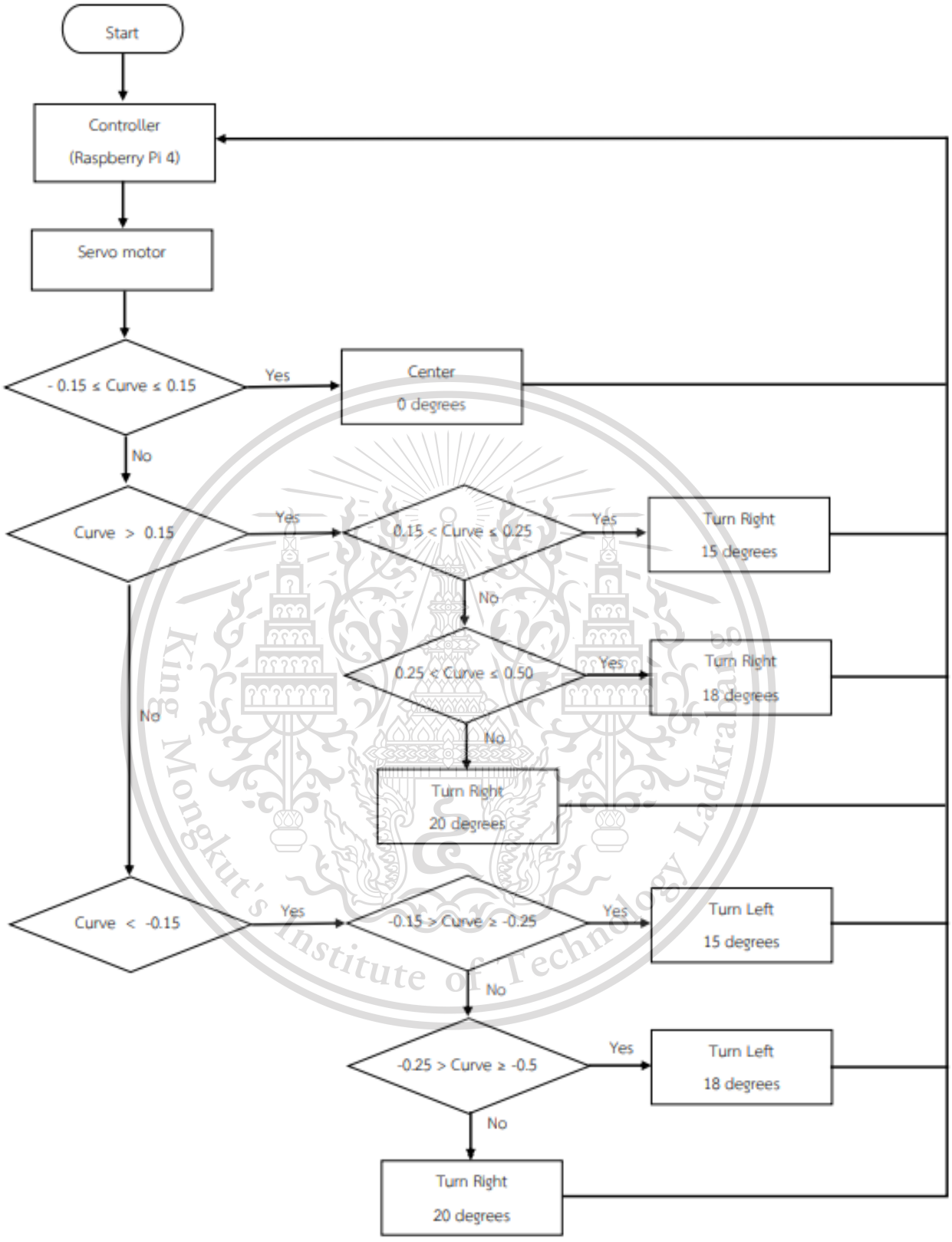
ในการทำงานจะเริ่มจากการรับภาพเพื่อนำไปประมวลผลใน Raspberry Pi 4 โดยกล้อง webcam ในขณะเดียวกันเซนเซอร์วัดระยะทางจะทำปล่อยคลื่นอัลตร้าโซนิคและส่งสัญญาณเข้าสู่ Raspberry Pi 4 เช่นเดียวกัน ภาพที่ได้จากกล้องจะถูกนำไปประมวลผลด้วยการประมวลผลด้วยภาพ และจะส่งค่า Curve ไปในส่วนการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ต่อ ถ้าหากค่า Curve มีค่า -0.15 ≤ Curve ≤ 0.15 เซอร์โวมอเตอร์จะไม่มีการเลี้ยวหรือหักมุมขึ้น แต่หากค่า Curve มีค่ามากกว่า 0.15 เซอร์โวมอเตอร์จะทำการเลี้ยวขวา และถ้าหากค่า Curve มีค่าน้อยกว่า -0.15 เซอร์โวมอเตอร์ก็จะทำการเลี้ยวซ้าย ดังภาพที่ 3.4 และค่าที่ได้จากอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ก็จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่าระยะทาง โดยถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ห่างจากเซนเซอร์หน้ารถมากกว่า 20 เซนติเมตร ระบบจะสั่งให้มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ให้ไปข้างหน้า แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ห่างจากเซนเซอร์หน้ารถไม่เกิน 20 เซนติเมตร ระบบจะสั่งให้มอเตอร์ควบคุมให้รถหยุดการเคลื่อนที่ ซึ่งระบบการทำงานโดยภาพรวมจะแสดงดังภาพที่ 3.3

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.



ภาพที่ 3.3 แผนผังระบบการทำงานโดยภาพรวม

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



ภาพที่ 3.4 แผนผังระบบการเลี้ยวของเซอร์โวมอเตอร์

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 โค้ดการทำงาน

โค้ดการทำงานจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนการนำเข้า Library

2) ส่วนการ Set up ขา pin ต่าง ๆ

3) ส่วนการประมวลผลด้วยภาพ

4) ส่วนการวัดระยะของสิ่งกีดขวาง

5) ส่วนควบคุมการทำงานมอเตอร์ไฟตรงและเซอร์โวมอเตอร์

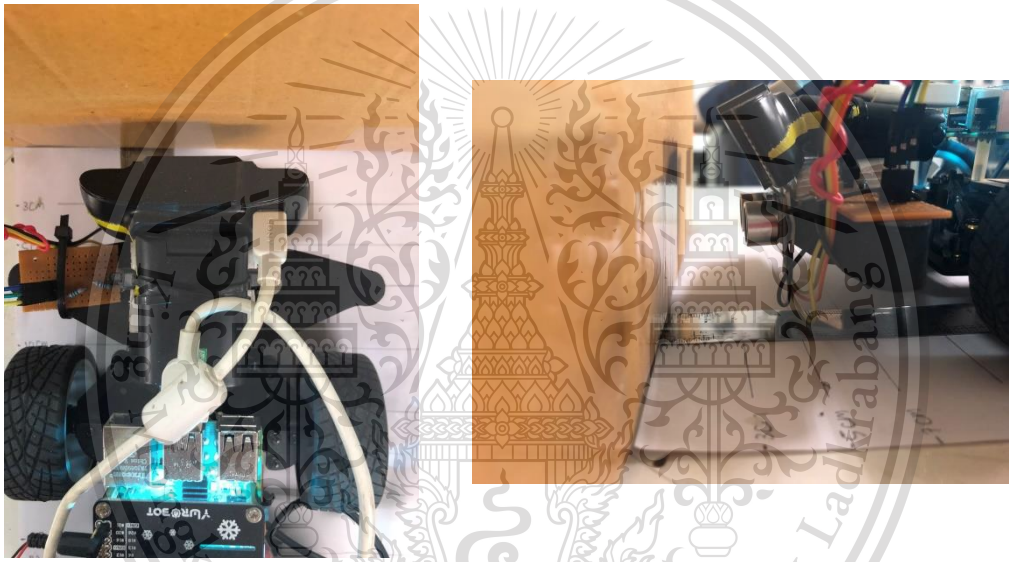
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดระยะห่างระหว่างรถกับสิ่งกีดขวาง

ในการทดลองนี้ เราจะทำการทดลองดังภาพที่ 4.1 เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของระยะห่างที่ได้จากเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic โดยจะทำการวัดระยะทางของเซนเซอร์ที่ติดอยู่ในบริเวณหน้าตัวรถจริงๆ แล้วเปรียบเทียบกับระยะทางที่เซนเซอร์ได้แสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

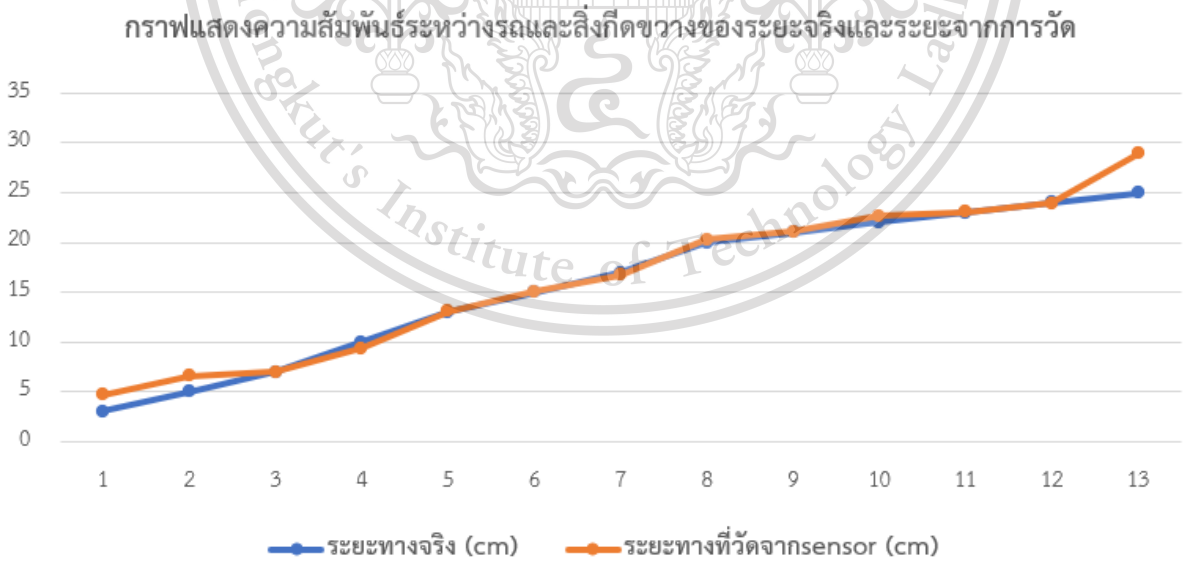


ภาพที่ 4.1 การทดลองวัดระยะห่างระหว่างรถกับสิ่งกีดขวางที่ระยะ 3 cm

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 4.1 ผลการวัดระยะห่างระหว่างรถและสิ่งกีดขวาง

ระยะทางจริง (cm)	ระยะทางที่วัดจากเซนเซอร์ (cm)	Error (%)
3.0	4.7	56.6667
5.0	6.6	32.0000
7.0	7.0	0.0000
10.0	9.4	6.0000
13.0	13.1	0.7692
15.0	15.1	0.6667
17.0	16.7	1.7647
20.0	20.3	1.5000
21.0	21.1	0.4762
22.0	22.7	3.1818
23.0	23.1	0.4348
24.0	23.9	0.4167
25.0	28.9	15.6000



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรถและสิ่งกีดขวางของระยะจริงและระยะจากการวัด

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.

จากภาพที่ 4.2 จะแสดงให้ทราบว่า ระยะในช่วง 7.00 ถึง 24.00 cm เซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic จะมีความแม่นยำ ซึ่งจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ที่ติดบริเวณหน้ารถและสิ่งกีดขวางมากที่สุด

4.2 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่างต่าง ๆ ของเซนเซอร์และสิ่งกีดขวาง

ในการทดลองนี้ เราจะทำการวัด pulse ของขา Echo และขา Trigger เพื่อนำไปคำนวณ แล้วตรวจสอบค่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณและการวัดระยะจริง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.3 ถึง 4.16 โดย channel 1 คือ ขา Echo และ channel 2 คือ ขา Trigger

- ระยะ 3 cm

ภาพที่ 4.3 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 3 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 5 cm

ภาพที่ 4.4 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 5 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 7 cm

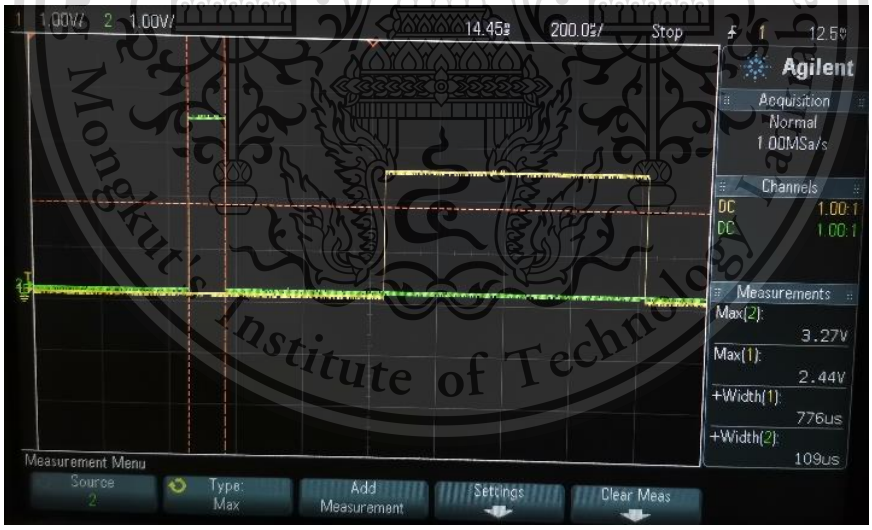
ภาพที่ 4.5 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 7 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 10 cm

ภาพที่ 4.6 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 10 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 13 cm



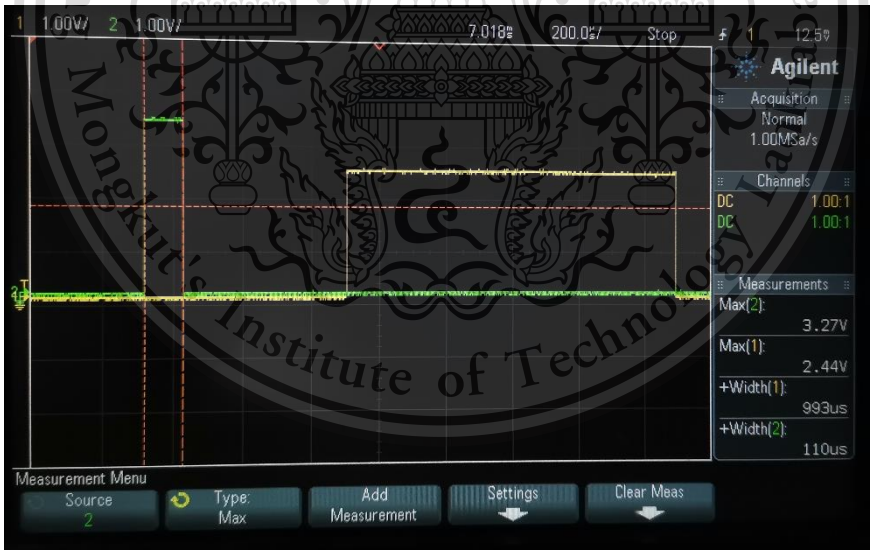
ภาพที่ 4.7 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 13 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 15 cm

ภาพที่ 4.8 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 15 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 17 cm



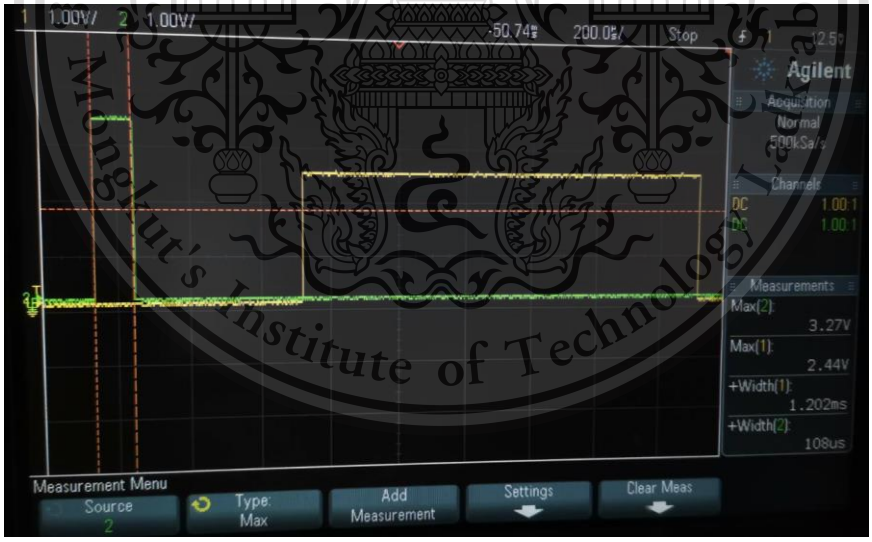
ภาพที่ 4.9 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 17 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 20 cm

ภาพที่ 4.10 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 20 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 21 cm



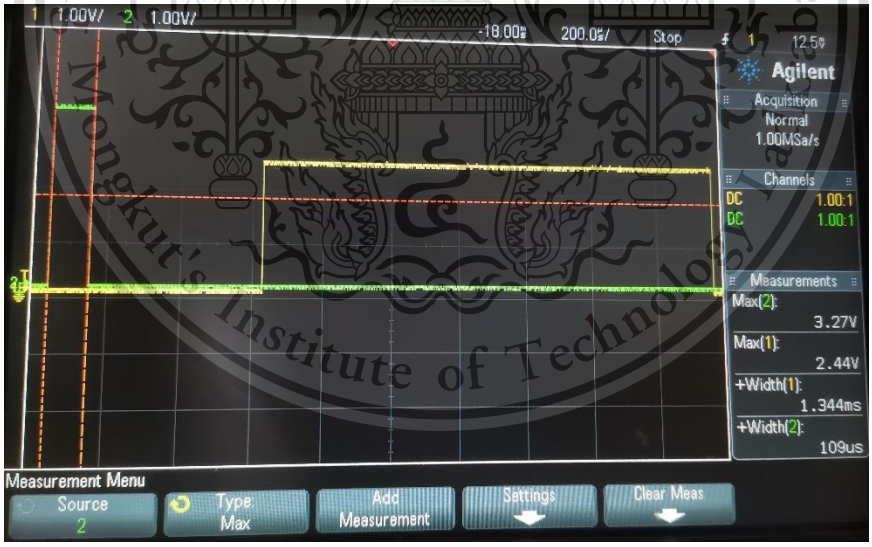
ภาพที่ 4.11 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 21 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 22 cm

ภาพที่ 4.12 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 22 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 23 cm



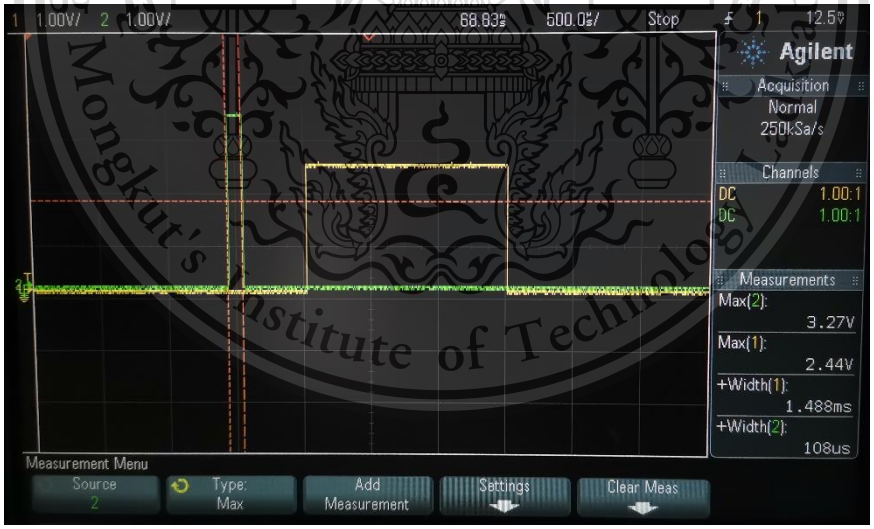
ภาพที่ 4.13 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 23 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 24 cm

ภาพที่ 4.14 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 24 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

- ระยะ 25 cm



ภาพที่ 4.15 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 25 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

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.

- ระยะ 30 cm

ภาพที่ 4.16 ผลการวัด pulse จากขา Echo และ ขา Trigger ของเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic ที่ระยะห่าง 30 cm จากเซนเซอร์ถึงสิ่งกีดขวาง

จากผลการทดลองจึงนำมาสรุปดังตารางแสดงในตารางที่ 4.2 โดยคำนวณระยะห่างได้จากสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$ระยะทาง = \frac{[\,(\,ความกว้าง\ pulse\ ที่ขา\ echo\,) * 34300\,]}{2} \qquad (4.1)$$

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.

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระยะห่างจริงกับระยะห่างจากการคำนวณค่า pulse ของ sensor

ระยะห่างจริง (cm)	ความกว้าง pulse ของขา Echo (s)	ระยะห่างจากการคำนวณค่า pulse (cm)	% Error (%)
3.00	167.0 µ	2.86405	4.5317
5.00	310.4 µ	5.32336	6.4672
7.00	425.2 µ	7.29218	4.174
10.00	600.0 µ	10.29000	2.9000
13.00	776.0 µ	13.30840	2.3723
15.00	913.0 µ	15.65795	4.3863
17.00	993.0 µ	17.02995	0.1762
20.00	1.156 m	19.82540	0.8730
21.00	1.202 m	20.61430	1.8367
22.00	1.253 m	21.48895	2.3230
23.00	1.344 m	23.04960	0.2157
24.00	1.396 m	23.94140	0.2442
25.00	1.488 m	25.51920	2.0768
30.00	1.764 m	30.25260	0.8420

4.3 ผลการเลี้ยวของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ

ในการทดลอนี้ เราจะกำหนดจากค่าเซอร์โวมอเตอร์ที่เหมาะสมในการเลี้ยวภายในโค้ด แล้วจึงวัดค่าเซอร์โวมอเตอร์ที่เลี้ยวจริง ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเลี้ยวของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ

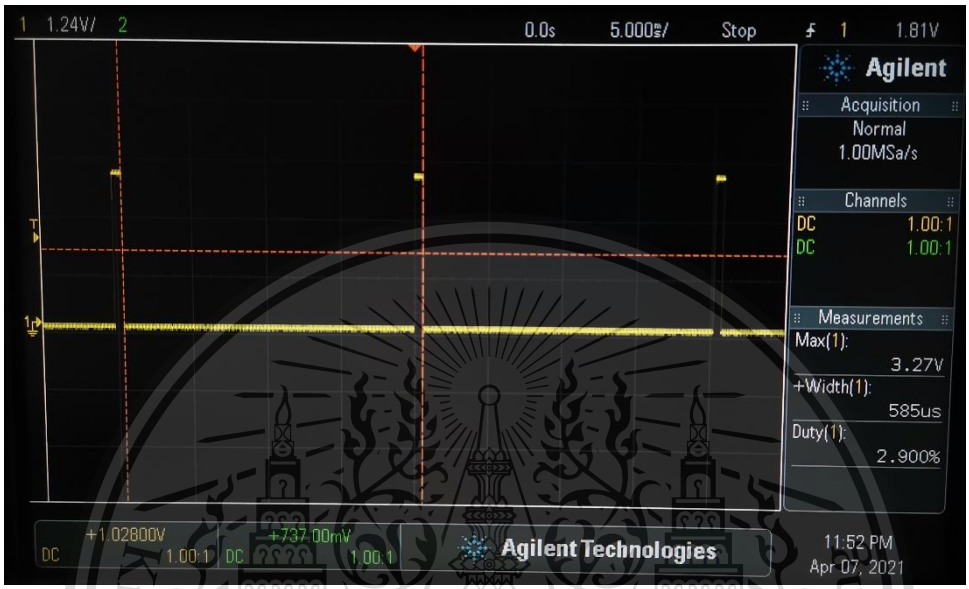
ผลการแสดงของเซอร์โวมอเตอร์	ค่าเซอร์โวมอเตอร์	มุมที่เลี้ยว (องศา)
เลี้ยวซ้าย	2.5	-20
	2.8	-18
	3.0	-15
ตรง	3.8	0
เลี้ยวขวา	4.6	15
	4.8	18
	5.1	20

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.

4.4 ผลการวัด pulse ของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ

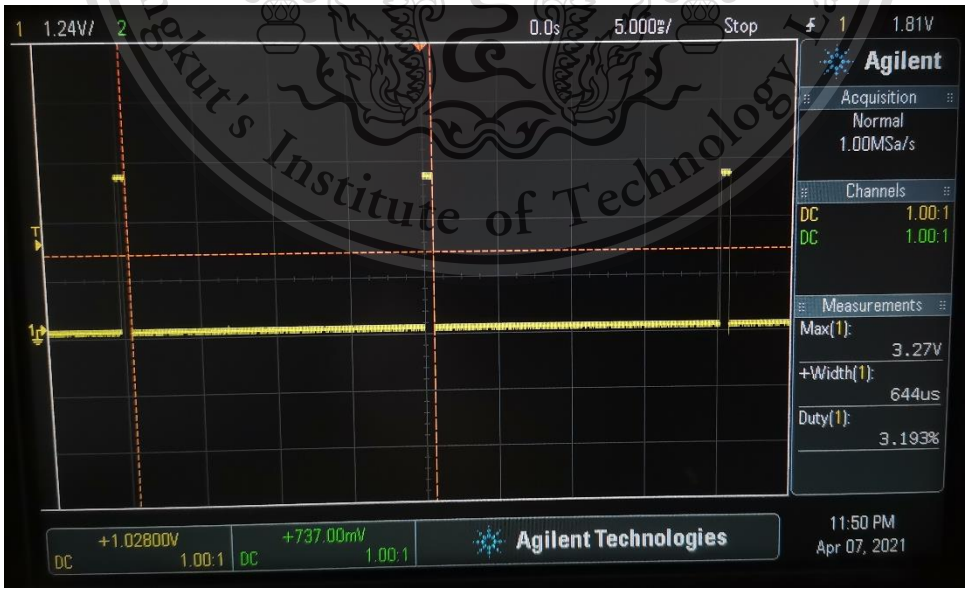
ในการทดลองนี้ เราทำการวัด pulse ของเซอร์โวมอเตอร์ที่มุมต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.17 ถึง ภาพที่ 4.23

- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.5 (มุม -20 องศา)



ภาพที่ 4.17 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.5 (มุม -20 องศา)

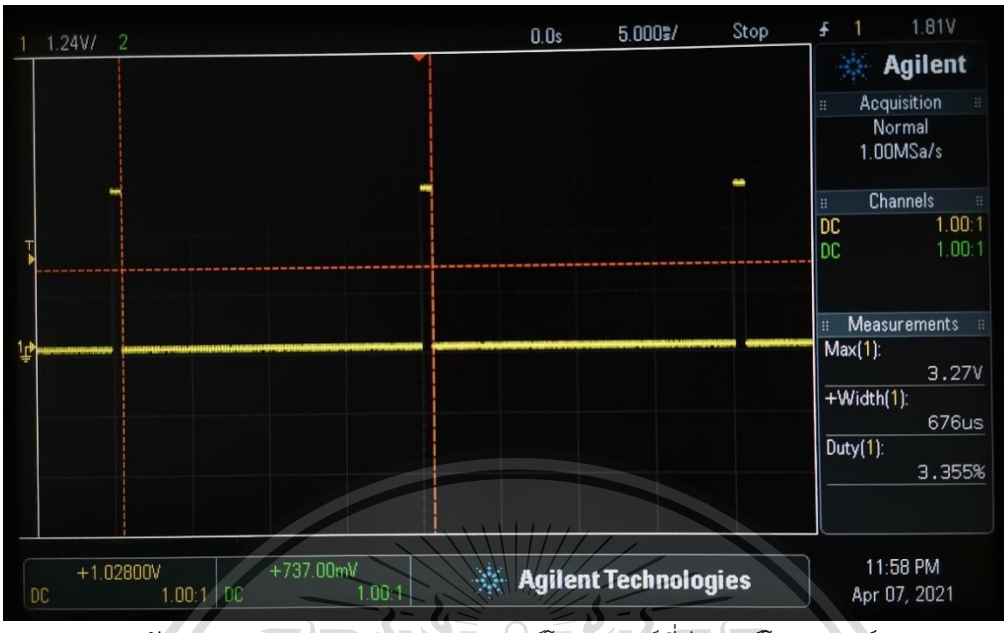
- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.8 (มุม -18 องศา)



ภาพที่ 4.18 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 2.8 (มุม -18 องศา)

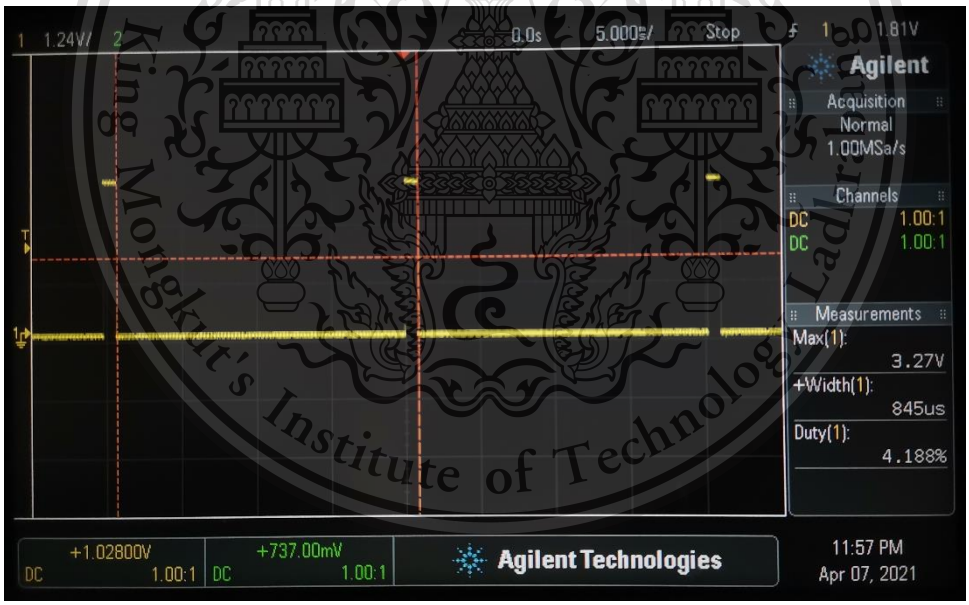
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden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

- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.0 (มุม -15 องศา)



ภาพที่ 4.19 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.0 (มุม -15 องศา)

- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.8 (มุม 0 องศา)



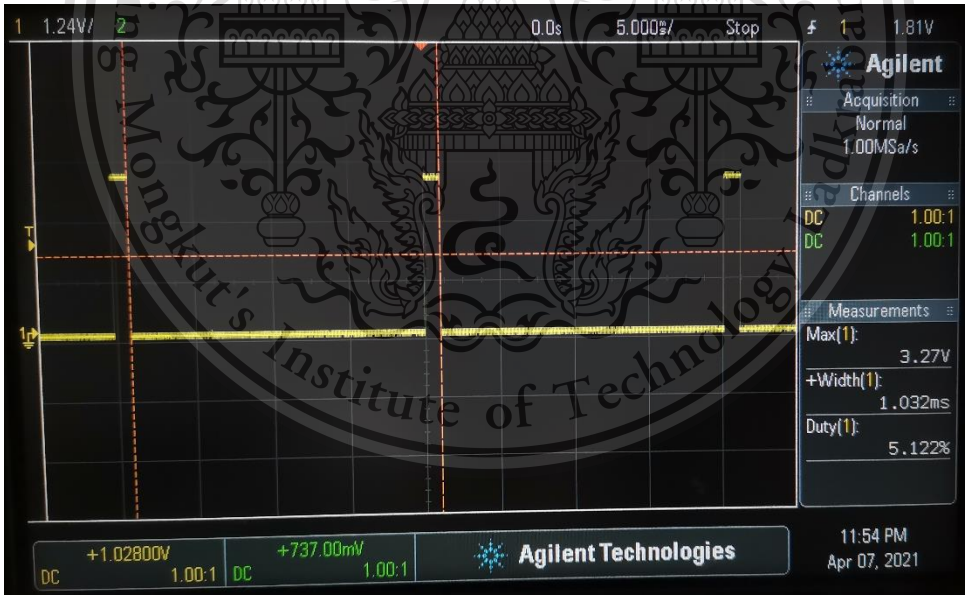
ภาพที่ 4.20 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 3.80 (มุม 0 องศา)

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.

- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.6 (มุม 15 องศา)

ภาพที่ 4.21 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.6 (มุม 15 องศา)

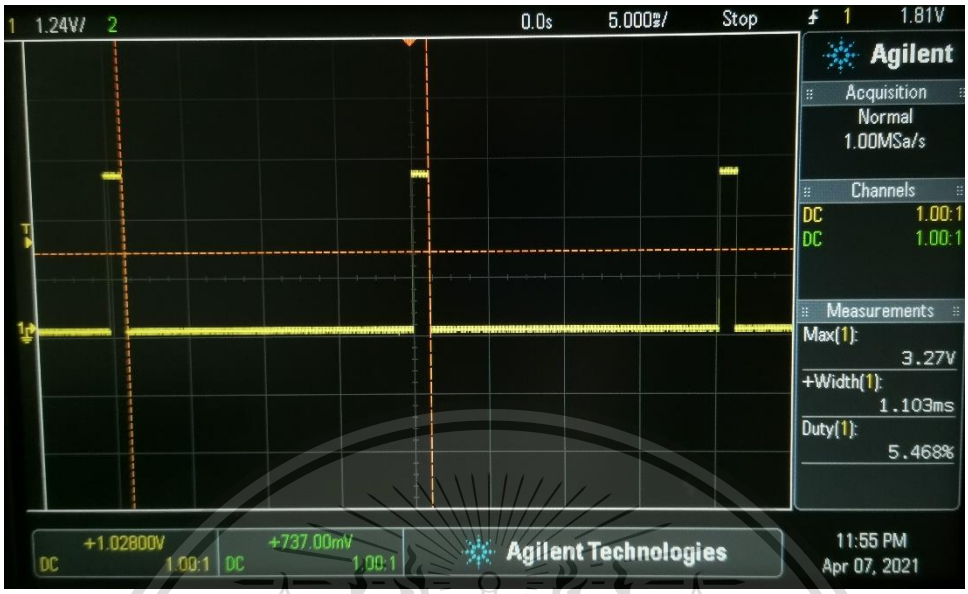
- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.8 (มุม 18 องศา)



ภาพที่ 4.22 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 4.8 (มุม 18 องศา)

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.

- ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 5.1 (มุม 20 องศา)



ภาพที่ 4.23 ผลการวัด pulse จากขา output ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่าเซอร์โวมอเตอร์ 5.1 (มุม 20 องศา)

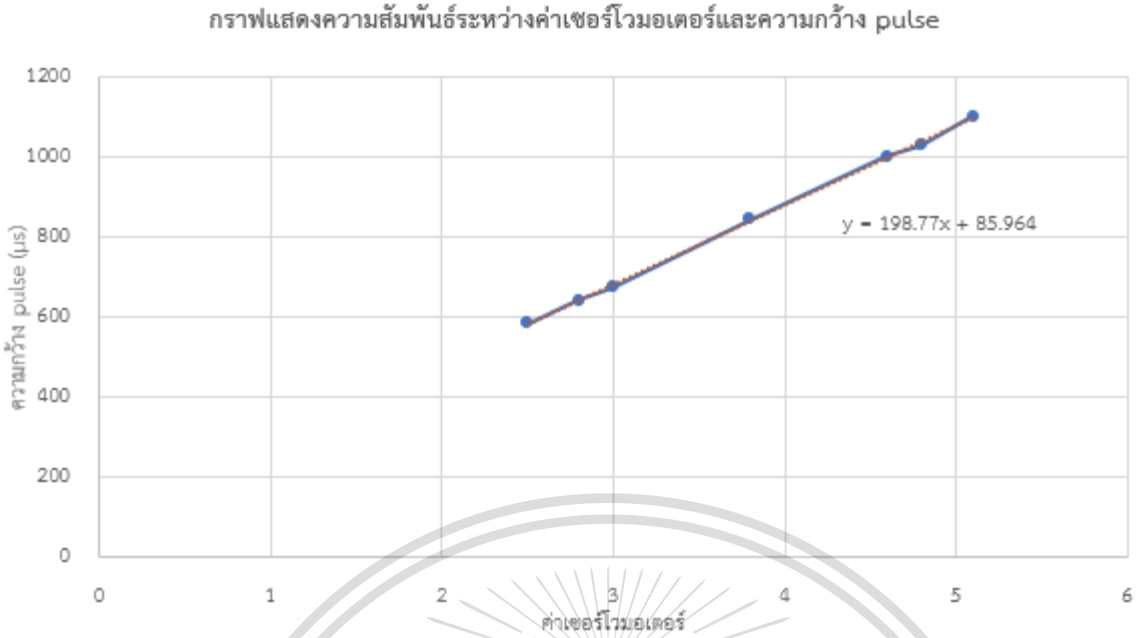
จากผลการทดลองจึงนำมาสรุปดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าความกว้าง pulse และ Duty cycle ของเซอร์โวมอเตอร์ที่ค่ามุมต่าง ๆ

ค่าเซอร์โวมอเตอร์	ความกว้าง pulse (s)	Duty Cycle (%)
2.5	585 µ	2.900
2.8	644 µ	3.193
3.0	676 µ	3.355
3.8	845 µ	4.188
4.6	1.004 m	4.978
4.8	1.032 m	5.122
5.1	1.103 m	5.468

จากผลที่ได้เมื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซอร์โวมอเตอร์และความกว้าง pulse (µs) ดังภาพที่ 4.24

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.



ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซอร์โวมอเตอร์และความกว้าง pulse

จากภาพที่ 4.24 เราจะได้แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าเซอร์โวมอเตอร์และความกว้าง pulse เป็นแบบเชิงเส้น (linear) จึงสามารถหาสมการเส้นตรงดังสมการที่ 4.2 จากกราฟได้ ดังนี้

$$\textit{ความกว้าง pulse} = 198.77 * \textit{ค่าเซอร์โวมอเตอร์} + 85.964 \qquad (4.2)$$

ดังนั้น เมื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับค่าจากสมการเส้นตรงจะได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความกว้าง pulse จากการวัดค่า pulse กับความกว้าง pulse จากการคำนวณตามสมการเส้นตรง

ค่าเซอร์โวมอเตอร์	ความกว้าง pulse จากการวัดค่า pulse (µs)	ความกว้าง pulse จากการคำนวณตามสมการเส้นตรง (µs)	% Error (%)
2.5	585	582.889	0.36216
2.8	644	642.520	0.23034
3.0	676	682.274	0.91957
3.8	845	841.290	0.44099
4.6	1004	1000.306	0.36929
4.8	1032	1040.060	0.77496
5.1	1103	1099.691	0.30090

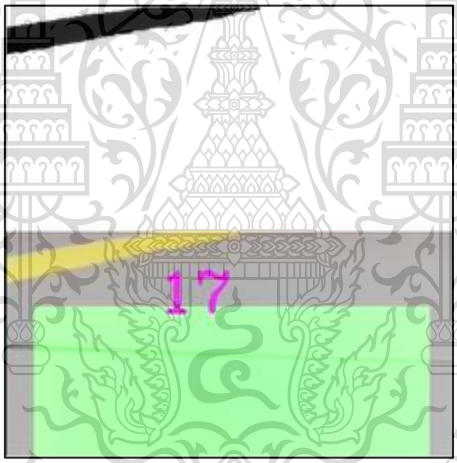
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เชิงพาณิชย์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial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

4.5 ผลการประมวลผลในแต่ละช่วง

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองการใช้งานจริงของทั้งระบบ เพื่อดูว่าการประมวลผลข้อมูลนั้นเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยจะพิจารณา 4 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ การเคลื่อนทางตรง การเลี้ยวซ้าย การเลี้ยวขวา และการหยุดเคลื่อนที่

ซึ่งการตรงหรือเลี้ยวซ้ายหรือขวานั้น เราจะพิจารณาจากค่า Curve ที่ตัวประมวลผลส่งออกมา โดยค่า Curve คือผลรวมของจำนวนพิกเซลสีดำของภาพขาวดำที่ระบบนำไปประมวลผล โดยหากภาพมีสีดำอยู่ทางด้านขวา (นั่นคือขอบถนนอยู่ด้านขวา) ผลรวมพิกเซลหรือค่า Curve ก็จะมีค่าเป็นลบ ดังรูปที่ 4.25 แต่ถ้าหากภาพมีสีดำอยู่ทางด้านซ้าย (นั่นคือขอบถนนอยู่ด้านซ้าย) ผลรวมพิกเซลหรือค่า Curve ก็จะมีค่าเป็นบวก หากค่า Curve มีค่าอยู่ระหว่าง -0.15 ถึง 0.15 รถจะเคลื่อนที่ตรง และหากค่า Curve มีค่าน้อยกว่า -0.15 รถก็จะเลี้ยวซ้าย และถ้าหากค่า Curve มีค่ามากกว่า 0.15 รถก็จะเลี้ยวไปทางขวา

และกรณีรถเคลื่อนที่หรือหยุด เราจะพิจารณาจากระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง ถ้าระยะห่างมีค่าน้อยกว่า 20 เซนติเมตร รถจะทำการหยุดเคลื่อนที่ในทันที

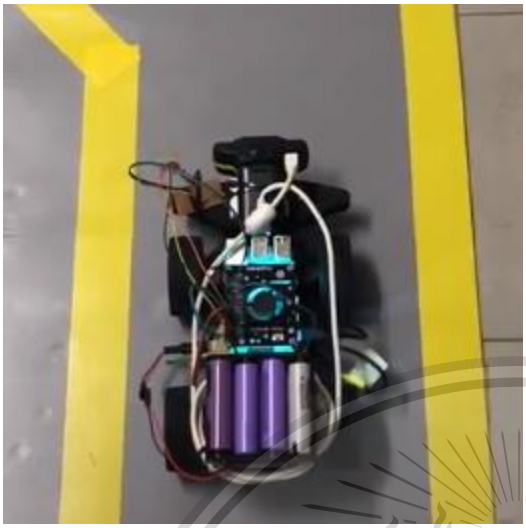


ภาพที่ 4.25 ตัวอย่างภาพที่ได้จากกล้องและภาพที่แปลงเป็นขาวดำ ซึ่งจะแสดงค่า Curve เป็นตัวเลขสีชมพู

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.

4.5.1 ทางตรง

Curve : -0.15 ≤ Curve ≤ 0.15



(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

```
84.3372106552124
84.35356616973877
82.63214826583862
81.93295001983643
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.26 การแสดงผลเมื่อเป็นทางตรง

4.5.2 เลี้ยวซ้าย

1) Curve : -0.25 ≤ Curve < -0.15

(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

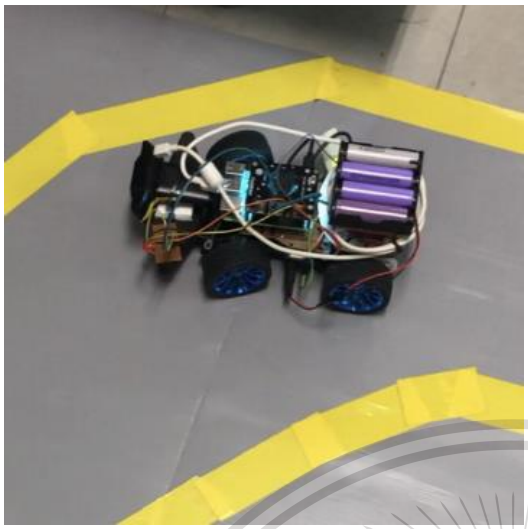
```
86.24262809753418
87.42431402206421
87.86182403564453
87.92315721511841
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.27 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.25 ≤ Curve < -0.15

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) Curve : -0.50 ≤ Curve < -0.25



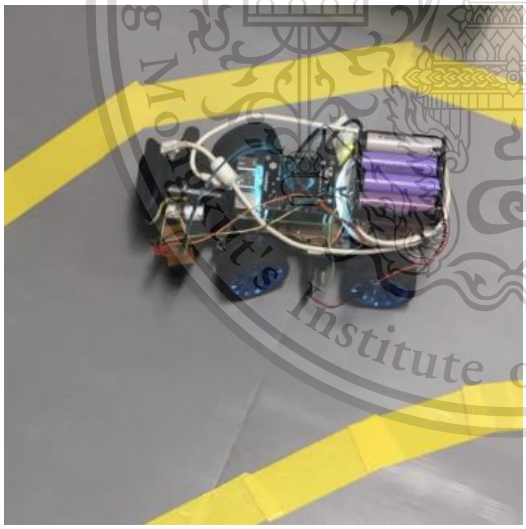
(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

```
88.43426704406738
88.34022283554077
88.83088827133179
90.47461748123160
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.28 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.50 ≤ Curve < -0.25

3) Curve : -0.50 < Curve



(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

```
93.35727601650390
93.53718757629395
93.27141046524048
93.79478693008423
```

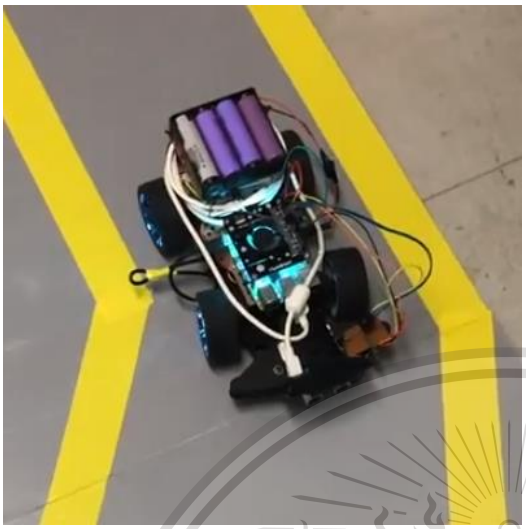
(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.29 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย -0.50 < Curve

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.

4.5.3 เลี้ยวขวา

1) Curve : 0.15 < Curve ≤ 0.25



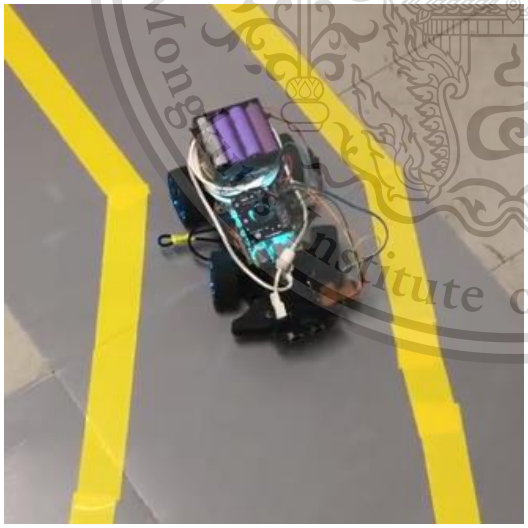
(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

```
79.64317798614502
64.47343826293945
62.60073184967041
60.45407056808472
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.30 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย 0.15 < Curve ≤ 0.25

2) Curve : 0.25 < Curve ≤ 0.50



(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

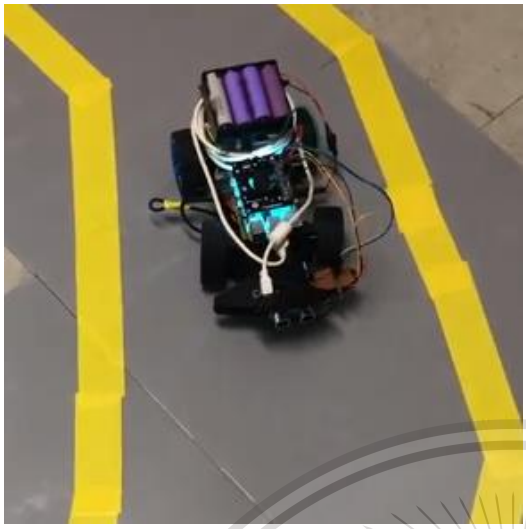
```
63.201707008514404
60.4622483253479
59.25194025039673
59.75896120071411
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.31 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย 0.25 < Curve ≤ 0.50

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) Curve : Curve < 0.50



(1) ภาพรถขณะเคลื่อนที่

```
57.91487693786621
57.00714588165283
58.55274200439453
54.41070795059204
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.32 การแสดงผลเมื่อเป็นทางเลี้ยวซ้าย โดย Curve < 0.50

4.5.4 เมื่อเจอสิ่งกีดขวาง

(1) ภาพรถเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง

```
19.41399574279785
19.397640228271484
19.446706771850586
19.41399574279785
```

(2) ค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์วัดระยะทางจากทางด้านหน้ารถกับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 4.33 การแสดงผลเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง

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 ผลการวัดระยะเวลาในการประมวลผลของระบบ

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองวัดระยะเวลาในการประมวลผลของระบบต่อ 1 ครั้ง โดยจะแสดงดังภาพที่ 4.34

0.3265528678894043	0.21107912063598633
0.35407042503356934	0.20385217666625977
0.3650383949279785	0.24483108520507812
0.3366272449493408	0.21246719360351562
0.33878231048583984	0.21404719352722168
0.3149559497833252	0.17507052421569824
0.20676970481872559	0.09157490730285645
0.20888257026672363	0.09177637100219727
0.20983529090881348	0.09987163543701172
0.2108287811279297	0.1001119613647461
0.21007704734802246	0.09132218360900879
0.21095514297485352	0.09193754196166992
0.21068215370178223	0.09578919410705566
0.21011900901794434	0.09305357933044434
0.2097327709197998	0.09165382385253906
0.20979619026184082	0.09142565727233887
0.2108290195465088	0.09045028686523438
0.2118542194366455	0.09104466438293457
0.21067476272583008	0.0907583236694336
0.22199153900146484	0.1696610450744629
0.2113633155822754	0.2024681568145752
0.21197795867919922	0.20128107070922852
0.21130752563476562	0.20124387741088867
0.21086430549621582	0.20377397537231445
0.21120882034301758	0.20302867889404297
0.2104794979095459	0.2044062614440918
0.21126961708068848	0.2077641487121582
0.21193242073059082	0.2014620304107666

ภาพที่ 4.34 ระยะเวลาในการประมวลผลของระบบในแต่ละครั้ง

เมื่อนำเวลาทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ระยะเวลาในการประมวลผลของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 วินาที

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

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อนำตัวรถไปทดสอบในถนนจำลองที่สร้างขึ้นมา ผลที่ได้คือ รถสามารถวิ่งได้ดีในตลอดช่วงทดลองทั้งหมด แต่เนื่องจากทางผู้จัดทำได้กำหนดความเร็วของรอบมอเตอร์ต่ำ ซึ่งสาเหตุมาจากการประมวลผลและการส่งข้อมูลที่ต้องใช้เวลา ทำให้ระบบประมวลผลมีการหน่วงเวลาขึ้น ซึ่งการที่ระบบมีการหน่วงเวลาทำให้การประมวลผลแสดงผลผิดพลาดได้ ดังนั้นทางคณะผู้จัดจึงได้ทำการลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถ เพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะเป็นการลดข้อผิดพลาดในการประมวลผลให้ดียิ่งขึ้น ในบางตำแหน่งของถนนล้อรถอาจมีการเหยียบ เส้นเลนของถนนทำให้การประมวลผลด้วยภาพเกิดข้อผิดพลาด และสำหรับระบบตัวจับวัตถุโดยเซนเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ ทำให้เมื่อเจอวัตถุกีดขวางรถในระยะที่กำหนด รถสามารถหยุดเคลื่อนที่ได้ในทันที

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบในบางครั้งกล้องตรวจจับภาพภายนอกที่ไม่ใช่เส้นเลนและถนนที่รถใช้ สำหรับการประมวลผล ทำให้การประมวลผล การเคลื่อนที่และการเลี้ยวเกิดความผิดพลาดขึ้น

5.3 ปัญหา อุปสรรค และการแก้ไขปัญหา

เนื่องจากภาพที่ใช้ในการประมวลผลมีความแคบของภาพ ทำให้ไม่สามารถ ประมวลผลของภาพได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการซื้อกล้องใหม่ที่สามารถรับภาพได้ กว้างมากขึ้น หรือซื้อเลนส์กล้องที่สามารถรับภาพได้กว้างมาติดกับกล้องที่ใช้ในปัจจุบันได้

และสุดท้ายเนื่องจากการส่งข้อมูลจากกล้องไปประมวลผลยัง Raspberry pi 4 ต้องใช้เวลาในการส่งข้อมูล จึงทำให้ระบบการประมวลเกิดการหน่วงเวลาขึ้น ทำให้การแสดงไม่เป็นปัจจุบัน ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการลดความเร็วในการวิ่งของรถ เพื่อให้ความเร็วในการเคลื่อนของรถมีความสอดคล้องกับความเร็วในการส่งและประมวลผลข้อมูล หรือเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งข้อมูลและประมวลผลข้อมูลได้เร็วกว่านี้

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.

เอกสารอ้างอิง

เซอร์โวมอเตอร์. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2564. Available URL : https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์.html

ทฤษฎีการประมวลผลภาพ. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 9 พฤษภาคม 2564. Available URL : http://www.eresearch.ssru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/896/5.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%882.pdf?sequence=6.html

Raspberry Pi. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 9 พฤษภาคม 2564. Available URL : https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1.html

DC Motor. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2564. Available URL : https://www.inventor.in.th/home/การทำงานของมอเตอร์ไฟตรงและการใช้งาน.html

webcam คืออะไร. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 15 พฤษภาคม 2564. Available URL : http://www.webcam2home.com/webcam-knowledge-th.html

Ultrasonic sensor. (ออนไลน์). วันที่สืบค้น 17 พฤษภาคม 2564. Available URL : https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้-2090-อัลตราโซนิค-เซนเซอร์-ultrasonic-sensors.html

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

ภาคผนวก

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

ภาคผนวก ก.

Raspberry Pi 4 Model B

1 Introduction

The Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) is the first of a new generation of Raspberry Pi computers supporting more RAM and with siginficantly enhanced CPU, GPU and I/O performance; all within a similar form factor, power envelope and cost as the previous generation Raspberry Pi 3B+.

The Pi4B is avaiable with either 1, 2 and 4 Gigabytes of LPDDR4 SDRAM.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

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

2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
  - Up to 6x UART
  - Up to 6x I2C
  - Up to 5x SPI
  - 1x SDIO interface
  - 1x DPI (Parallel RGB Display)
  - 1x PCM
  - Up to 2x PWM channels
  - Up to 3x GPCLK outputs

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 Software

- ARMv8 Instruction Set
- Mature Linux software stack
- Actively developed and maintained
  - Recent Linux kernel support
  - Many drivers upstreamed
  - Stable and well supported userland
  - Availability of GPU functions using standard APIs

3 Mechanical Specification

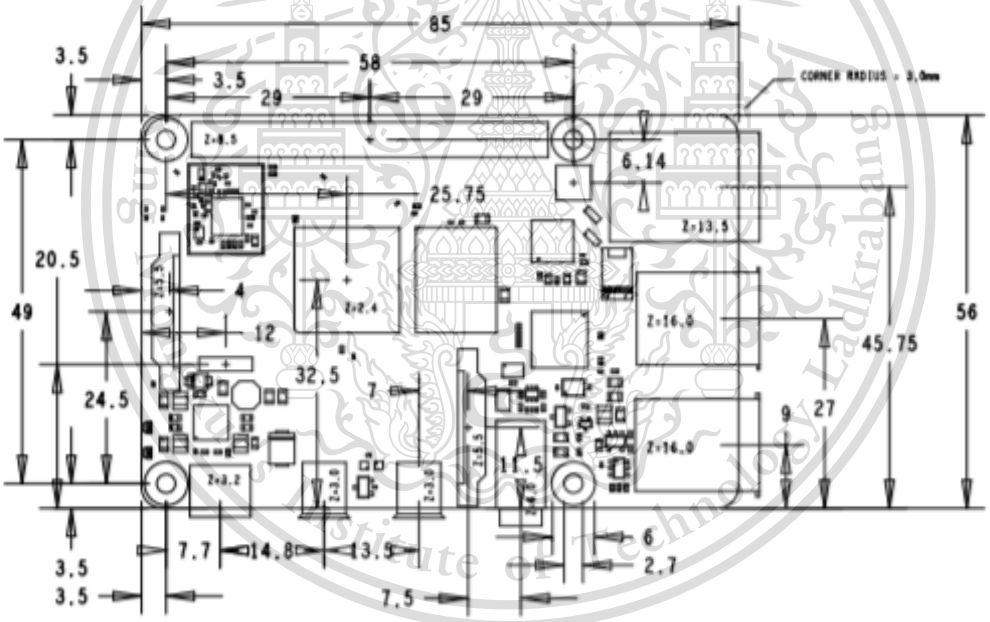


Figure 1: Mechanical Dimensions

4 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 2 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

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.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VIN	5V Input Voltage	-0.5	6.0	V

Table 2: Absolute Maximum Ratings

Please note that VDD_IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage[a]	VDD_IO = 3.3V	-	-	TBD	V
V_{IH}	Input high voltage[a]	VDD_IO = 3.3V	TBD	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	TBD	µA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
V_{OL}	Output low voltage[b]	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	TBD	V
V_{OH}	Output high voltage[b]	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	TBD	-	-	V
I_{OL}	Output low current[c]	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	TBD	-	-	mA
I_{OH}	Output high current[c]	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	TBD	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ

[a] Hysteresis enabled
[b] Default drive strength (8mA)
[c] Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time[a]	-	TBD	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time[a]	-	TBD	-	ns

[a] Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IO = 3.3V

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics

Figure 2: Digital IO Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4.1 Power Requirements

The Pi4B requires a good quality USB-C power supply capable of delivering 5V at 3A. If attached downstream USB devices consume less than 500mA, a 5V, 2.5A supply may be used.

5 Peripherals

5.1 GPIO Interface

The Pi4B makes 28 BCM2711 GPIOs available via a standard Raspberry Pi 40-pin header. This header is backwards compatible with all previous Raspberry Pi boards with a 40-way header.

5.1.1 GPIO Pin Assignments

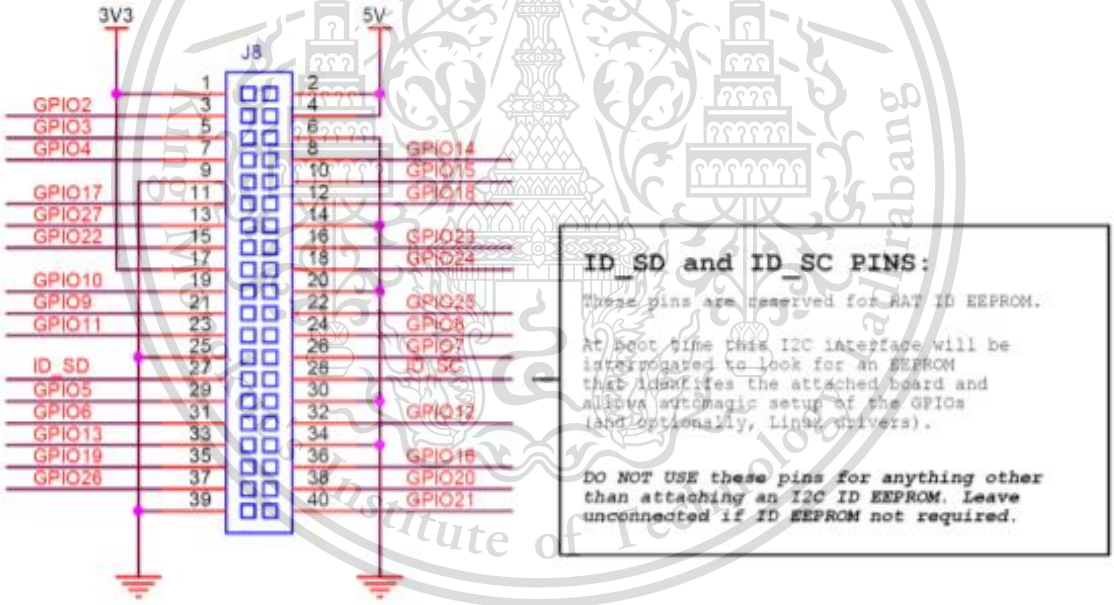


Figure 3: GPIO Connector Pinout

As well as being able to be used as straightforward software controlled input and output (with programmable pulls), GPIO pins can be switched (multiplexed) into various other modes backed by dedicated peripheral blocks such as I2C, UART and SPI.

In addition to the standard peripheral options found on legacy Pis, extra I2C, UART and SPI peripherals have been added to the BCM2711 chip and are available as further mux options on the Pi4. This gives users much more flexibility when attaching add-on hardware as compared to older models.

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.

5.1.2 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	SPI3_CE0_N	TXD2	SDA6
1	High	SCL0	SA4	DE	SPI3_MISO	RXD2	SCL6
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	SPI3_MOSI	CTS2	SDA3
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	SPI3_SCLK	RTS2	SCL3
4	High	GPCLK0	SA1	DPI_D0	SPI4_CE0_N	TXD3	SDA3
5	High	GPCLK1	SA0	DPI_D1	SPI4_MISO	RXD3	SCL3
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI_D2	SPI4_MOSI	CTS3	SDA4
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI_D3	SPI4_SCLK	RTS3	SCL4
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI_D4	-	TXD4	SDA4
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI_D5	-	RXD4	SCL4
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI_D6	-	CTS4	SDA5
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI_D7	-	RTS4	SCL5
12	Low	PWM0	SD4	DPI_D8	SPI5_CE0_N	TXD5	SDA5
13	Low	PWM1	SD5	DPI_D9	SPI5_MISO	RXD5	SCL5
14	Low	TXD0	SD6	DPI_D10	SPI5_MOSI	CTS5	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI_D11	SPI5_SCLK	RTS5	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI_D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI_D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI_D14	SPI6_CE0_N	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI_D15	SPI6_MISO	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI_D16	SPI6_MOSI	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI_D17	SPI6_SCLK	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI_D18	SD1_CLK	ARM_TRST	SDA6
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI_D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	SCL6
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI_D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	SPI3_CE1_N
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI_D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	SPI4_CE1_N
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI_D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	SPI5_CE1_N
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI_D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	SPI6_CE1_N

Table 5: Raspberry Pi 4 GPIO Alternate Functions

Table 5 details the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the BCM2711 Peripherals Specification document which can be downloaded from the hardware documentation section of the website.

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.

5.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available the GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display.

5.1.4 SD/SDIO Interface

The Pi4B has a dedicated SD card socket which suports 1.8V, DDR50 mode (at a peak bandwidth of 50 Megabytes / sec). In addition, a legacy SDIO interface is available on the GPIO pins.

5.2 Camera and Display Interfaces

The Pi4B has 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI CSI Camera and 1x Raspberry Pi 2-lane MIPI DSI Display connector. These connectors are backwards compatible with legacy Raspberry Pi boards, and support all of the available Raspberry Pi camera and display peripherals.

5.3 USB

The Pi4B has 2x USB2 and 2x USB3 type-A sockets. Downstream USB current is limited to approximately 1.1A in aggregate over the four sockets.

5.4 HDMI

The Pi4B has 2x micro-HDMI ports, both of which support CEC and HDMI 2.0 with resolutions up to 4Kp60.

5.5 Audio and Composite (TV Out)

The Pi4B supports near-CD-quality analogue audio output and composite TV-output via a 4-ring TRS 'A/V' jack.

The analog audio output can drive 32 Ohm headphones directly.

5.6 Temperature Range and Thermals

The recommended ambient operating temperature range is 0 to 50 degrees Celcius.

To reduce thermal output when idling or under light load, the Pi4B reduces the CPU clock speed and voltage. During heavier load the speed and voltage (and hence thermal output) are increased. The internal governor will throttle back both the CPU speed and voltage to make sure the CPU temperature never exceeds 85 degrees C.

The Pi4B will operate perfectly well without any extra cooling and is designed for sprint performance - expecting a light use case on average and ramping up the CPU speed when needed (e.g. when loading a webpage). If a user wishes to load the system continually or operate it at a high termperature at full performance, further cooling may be needed.

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.

6 Availability

Raspberry Pi guarantee availability Pi4B until at least January 2026.

7 Support

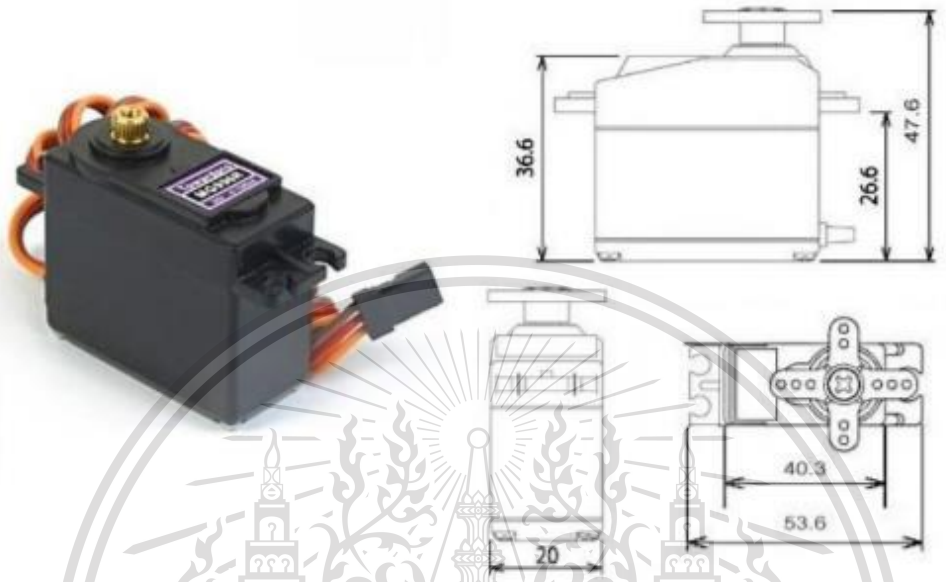
For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.

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.

Servo Motor (MG996R)

MG996R High Torque
Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwith and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

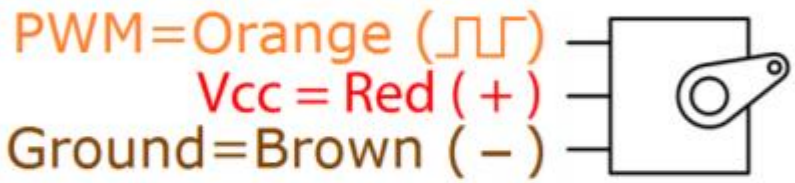
This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

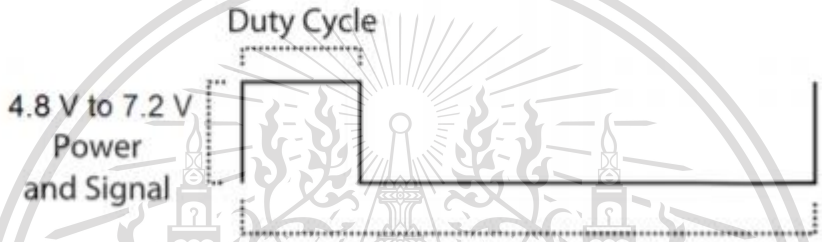
Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60º (4.8 V), 0.14 s/60º (6 V)

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.

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 µs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C





King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

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

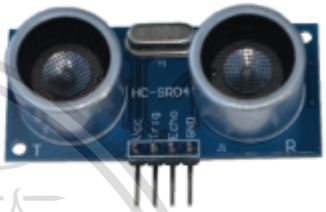
Ultrasonic sensor (HC-SR04)

HC-SR04 Ultrasonic Sensor

Elijah J. Morgan

Nov. 16 2014

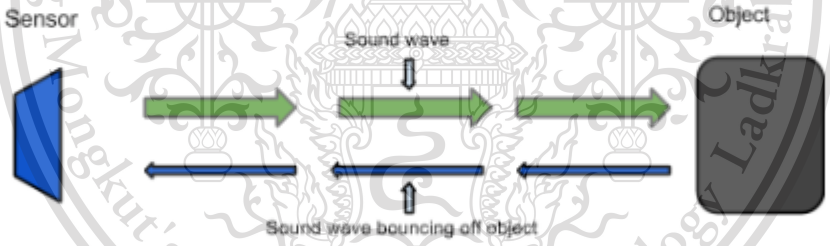
The purpose of this file is to explain how the HC-SR04 works. It will give a brief explanation of how ultrasonic sensors work in general. It will also explain how to wire the sensor up to a microcontroller and how to take/interpret readings. It will also discuss some sources of errors and bad readings.



1. **How Ultrasonic Sensors Work**
2. **HC-SR04 Specifications**
3. **Timing chart, Pin explanations and Taking Distance Measurements**
4. **Wiring HC-SR04 with a microcontroller**
5. **Errors and Bad Readings**

1. How Ultrasonic Sensors Work

Ultrasonic sensors use sound to determine the distance between the sensor and the closest object in its path. How do ultrasonic sensors do this? Ultrasonic sensors are essentially sound sensors, but they operate at a frequency above human hearing.



The sensor sends out a sound wave at a specific frequency. It then listens for that specific sound wave to bounce off of an object and come back (Figure 1). The sensor keeps track of the time between sending the sound wave and the sound wave returning. If you know how fast something is going and how long it is traveling you can find the distance traveled with equation 1.

Equation 1. $d = v \times t$

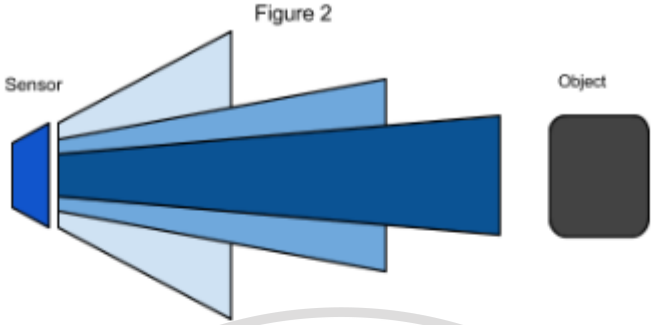
The speed of sound can be calculated based on the a variety of atmospheric conditions, including temperature, humidity and pressure. Actually calculating the distance will be shown later on in this document.

It should be noted that ultrasonic sensors have a cone of detection, the angle of this cone varies with distance, Figure 2 show this relation. The ability of a sensor to

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.

detect an object also depends on the objects orientation to the sensor. If an object doesn't present a flat surface to the sensor then it is possible the sound wave will bounce off the object in a way that it does not return to the sensor.

Figure 2



2. HC-SR04 Specifications

The sensor chosen for the Firefighting Drone Project was the HC-SR04. This section contains the specifications and why they are important to the sensor module. The sensor modules requirements are as follows.

- Cost
- Weight
- Community of hobbyists and support
- Accuracy of object detection
- Probability of working in a smoky environment
- Ease of use

The HC-SR04 Specifications are listed below. These specifications are from the Cytron Technologies HC-SR04 User's Manual (source 1).

- Power Supply: +5V DC
- Quiescent Current: <2mA
- Working current: 15mA
- Effectual Angle: <15°
- Ranging Distance: 2-400 cm
- Resolution: 0.3 cm
- Measuring Angle: 30°
- Trigger Input Pulse width: 10uS
- Dimension: 45mm x 20mm x 15mm
- Weight: approx. 10 g

The HC-SR04's best selling point is its price; it can be purchased at around $2 per unit.

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. Timing Chart and Pin Explanations

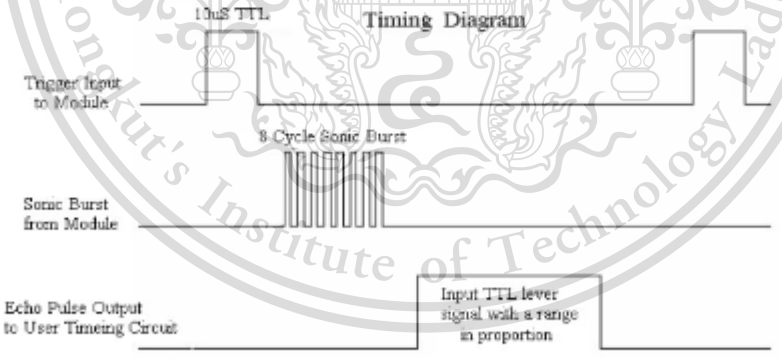
The HC-SR04 has four pins, VCC, GND, TRIG and ECHO; these pins all have different functions. The VCC and GND pins are the simplest -- they power the HC-SR04. These pins need to be attached to a +5 volt source and ground respectively. There is a single control pin: the TRIG pin. The TRIG pin is responsible for sending the ultrasonic burst. This pin should be set to HIGH for 10 µs, at which point the HC-SR04 will send out an eight cycle sonic burst at 40 kHZ. After a sonic burst has been sent the ECHO pin will go HIGH. The ECHO pin is the data pin -- it is used in taking distance measurements. After an ultrasonic burst is sent the pin will go HIGH, it will stay high until an ultrasonic burst is detected back, at which point it will go LOW.

Taking Distance Measurements

The HC-SR04 can be triggered to send out an ultrasonic burst by setting the TRIG pin to HIGH. Once the burst is sent the ECHO pin will automatically go HIGH. This pin will remain HIGH until the the burst hits the sensor again. You can calculate the distance to the object by keeping track of how long the ECHO pin stays HIGH. The time ECHO stays HIGH is the time the burst spent traveling. Using this measurement in equation 1 along with the speed of sound will yield the distance travelled. A summary of this is listed below, along with a visual representation in Figure 2.

1. Set TRIG to HIGH
2. Set a timer when ECHO goes to HIGH
3. Keep the timer running until ECHO goes to LOW
4. Save that time
5. Use equation 1 to determine the distance travelled

Figure 3
Source 2



Source 2

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

Drive Motor (L298N)

HT **Handson Technology**

User Guide

L298N Dual H-Bridge Motor Driver

This dual bidirectional motor driver, is based on the very popular L298 Dual H-Bridge Motor Driver Integrated Circuit. The circuit will allow you to easily and independently control two motors of up to 2A each in both directions.It is ideal for robotic applications and well suited for connection to a microcontroller requiring just a couple of control lines per motor. It can also be interfaced with simple manual switches, TTL logic gates, relays, etc. This board equipped with power LED indicators, on-board +5V regulator and protection diodes.

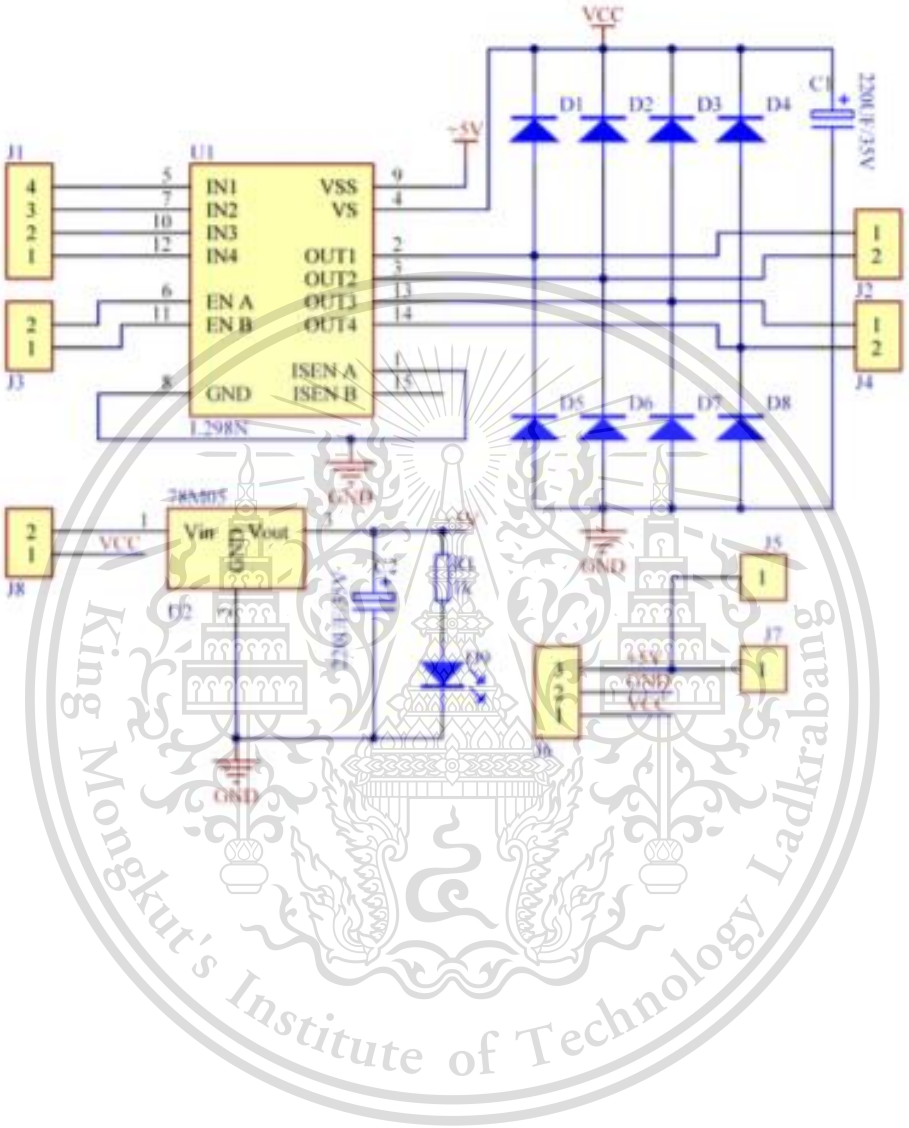
SKU: MDU-1049

Brief Data:

- Input Voltage: 3.2V~40Vdc.
- Driver: L298N Dual H Bridge DC Motor Driver
- Power Supply: DC 5 V - 35 V
- Peak current: 2 Amp
- Operating current range: 0 ~ 36mA
- Control signal input voltage range :
- Low: -0.3V ≤ Vin ≤ 1.5V.
- High: 2.3V ≤ Vin ≤ Vss.
- Enable signal input voltage range :
  - Low: -0.3 ≤ Vin ≤ 1.5V (control signal is invalid).
  - High: 2.3V ≤ Vin ≤ Vss (control signal active).
- Maximum power consumption: 20W (when the temperature T = 75 ℃).
- Storage temperature: -25 ℃ ~ +130 ℃.
- On-board +5V regulated Output supply (supply to controller board i.e. Arduino).
- Size: 3.4cm x 4.3cm x 2.7cm

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.

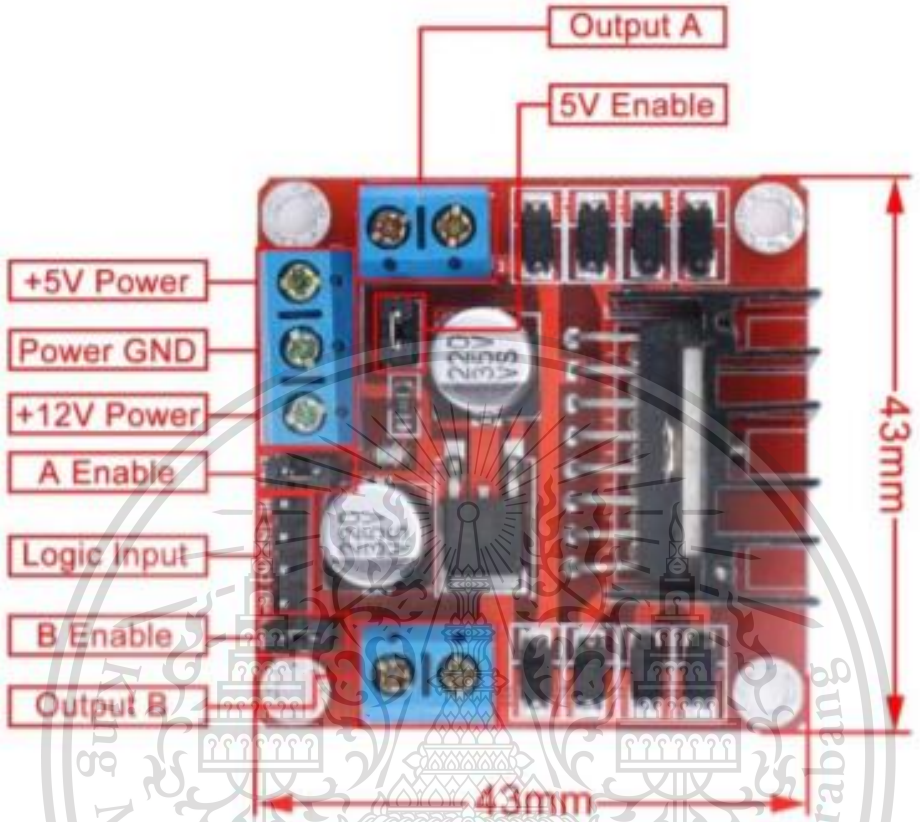
Schematic Diagram:



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

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

Board Dimension & Pins Function:



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

ภาคผนวก ข

โค้ดการทำงาน

```
# import library
import cv2
import numpy as np
import utlis
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# set up pin
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
en = 11
motor1A = 12
motor1B = 13
servo = 15
GPIO_TRIGGER = 16
GPIO_ECHO = 24

GPIO.setup(en,GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor1A,GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor1B,GPIO.OUT)
GPIO.setup(servo, GPIO.OUT)
GPIO.setup(GPIO_TRIGGER, GPIO.OUT)
GPIO.setup(GPIO_ECHO, GPIO.IN)

# Motor
GPIO.output(motor1A,GPIO.LOW)
GPIO.output(motor1B,GPIO.LOW)
m=GPIO.PWM(en,30)
m.start(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.

```
# Servo
p = GPIO.PWM(servo, 50)           #PWM with 50Hz
p.start(0) # Initialization
p.ChangeDutyCycle(3.8)            #c=3.8

# Image processing
curveList = []
avgVal = 10

def getLaneCurve(img, display=2):
    imgCopy = img.copy()
    imgResult = img.copy()

    # STEP 1
    imgThres = utlis.thresholding(img)

    # STEP 2
    hT, wT, c = img.shape
    points = utlis.valTrackbars()
    imgWarp = utlis.warpImg(imgThres, points, wT, hT)
    imgWarpPoints = utlis.drawPoints(imgCopy, points)

    # STEP 3
    middlePoint, imgHist = utlis.getHistogram(imgWarp, display=True, minPer=0.5, region=4)
    curveAveragePoint, imgHist = utlis.getHistogram(imgWarp, display=True, minPer=0.9)
    curveRaw = curveAveragePoint - middlePoint

    # SETP 4
    curveList.append(curveRaw)
    if len(curveList) > avgVal:
        curveList.pop(0)
    curve = int(sum(curveList) / len(curveList))
```

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.

```
    # STEP 5
    if display != 0:
        imgInvWarp = utlis.warpImg(imgWarp, points, wT, hT, inv=True)
        imgInvWarp = cv2.cvtColor(imgInvWarp, cv2.COLOR_GRAY2BGR)
        imgInvWarp[0:hT // 3, 0:wT] = 0, 0, 0
        imgLaneColor = np.zeros_like(img)
        imgLaneColor[:] = 0, 255, 0
        imgLaneColor = cv2.bitwise_and(imgInvWarp, imgLaneColor)
        imgResult = cv2.addWeighted(imgResult, 1, imgLaneColor, 1, 0)
        midY = 450
        cv2.putText(imgResult, str(curve), (wT // 2 - 80, 85), cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, 2,
(255, 0, 255), 3)
        cv2.line(imgResult, (wT // 2, midY), (wT // 2 + (curve * 3), midY), (255, 0, 255), 5)
        cv2.line(imgResult, ((wT // 2 + (curve * 3)), midY - 25), (wT // 2 + (curve * 3), midY +
25), (0, 255, 0), 5)
        for x in range(-30, 30):
            w = wT // 20
            cv2.line(imgResult, (w * x + int(curve // 50), midY - 10),
                     (w * x + int(curve // 50), midY + 10), (0, 0, 255), 2)
        # fps = cv2.getTickFrequency() / (cv2.getTickCount() - timer);
        # cv2.putText(imgResult, 'FPS ' + str(int(fps)), (20, 40), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1,
(230, 50, 50), 3);
    if display == 2:
        imgStacked = utlis.stackImages(0.7, ([img, imgWarpPoints, imgWarp],
                                             [imgHist, imgLaneColor, imgResult]))
        cv2.imshow('ImageStack', imgStacked)
    elif display == 1:
        cv2.imshow('Resutlt', imgResult)

    # NORMALIZATION
    curve = curve / 100
    if curve > 1: curve == 1
    if curve < -1: curve == -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.

```
    return curve

# Distance
def distance():
    # set Trigger to HIGH
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, True)

    # set Trigger after 0.01ms to LOW
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(GPIO_TRIGGER, False)

    StartTime = time.time()
    StopTime = time.time()

    # save StartTime
    while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 0:
        StartTime = time.time()

    # save time of arrival
    while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 1:
        StopTime = time.time()

    # time difference between start and arrival
    TimeElapsed = StopTime - StartTime
    # multiply with the sonic speed (34300 cm/s)
    # and divide by 2, because there and back
    distance = (TimeElapsed * 34300) / 2

    return distance
```

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.

```
# Control
def loop():
    GPIO.output(motor1A,GPIO.HIGH)
    GPIO.output(motor1B,GPIO.LOW)

def stop():
    GPIO.output(motor1A,GPIO.LOW)
    GPIO.output(motor1B,GPIO.LOW)

if __name__ == '__main__':
    cap = cv2.VideoCapture(0)
    intialTrackBarVals = [29, 0, 29, 240]
    utlis.initializeTrackbars(intialTrackBarVals)

    while True:
        #loop()
        success, img = cap.read()
        img = cv2.resize(img, (480, 240))
        curve = getLaneCurve(img, display=2)
        dist = distance()
        print(dist)
        p.start(0)
        if dist <= 20:
            stop()
        elif dist > 20:
            loop()

            if curve >= 0.15:
                m.start(10)
                if curve >= 0.15 and curve < 0.25:
                    x = 0.8
                elif curve >= 0.25 and curve < 0.35:
                    x = 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.

```
        elif curve >= 0.35:
            x = 1.3

    elif curve <= -0.15:
        m.start(10)
        if curve <= -0.15 and curve > -0.25:
            x = -0.8
        elif curve <= -0.25 and curve > -0.35:
            x = -1
        elif curve <= -0.35:
            x = -1.3

    elif curve < 0.15 and curve > -0.15:
        m.start(6)
        x = 0

p.ChangeDutyCycle(3.8+x)
cv2.waitKey(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.