ระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลอง

RC Car Assistance Sysyem

รัตชจิต สดใสจิตต์

Mr.Ratchajit Sodsaijit

รัฐนันท์ เจริญผล

Rattanan Chareunpon

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

ระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลอง

RC Car Assistance Sysyem

รัตชจิต สดใสจิตต์

Mr.Ratchajit Sodsaijit

รัฐนันท์ เจริญผล

Rattanan Chareunpon

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลอง

RC Car Assistance System

รัตชจิต สดใสจิตต์

รัฐนันท์ เจริญผล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลอง

RC Car Assistance System

ผู้จัดทำ นายรัตชจิต สดใสจิตต์ รหัสประจำตัว 57010063

นายรัฐนันท์ เจริญผล รหัสประจำตัว 57011059

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดนอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน ระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลอง

นักศึกษา นายรัฐนันท์ เจริญผล 57011059

นายรัตชจิต สดใสจิตต์ 57011063

ปริญญา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอรถยนต์จำลองขับอัตโนมัติ โดยมีหลักการทำงาน คือ มีการตรวจจับเลนส์บนพื้นถนนด้วยโปรแกรม opencv ในกระบวนประมวลผล ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรม opencv และการสร้างรถยนต์จำลองให้สามารถขับเคลื่อนได้โดยไร้ผู้ขับ สำหรับกระบวนการที่สำคัญประกอบไปด้วย 1.การโปรแกรมชุดคำสั่งให้กับหน่วยประมวลผลเพื่อเป็นการตัดสินใจที่ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ภายนอกต่างๆ 2.โปรแกรมชุดควบคุมตัวรถยนต์จำลองให้ขับเคลื่อนโดยนำตัวแปรจากหน่วยประมวลผลมาเปรียบเทียบกับคำสั่งในการทำงานเพื่อเลือกให้เข้ากับสถานการณ์นั้นๆให้มากที่สุด

จากผลของโครงงานนี้รถยนต์จำลองสามารถมีการตรวจจับสีของเลนส์บนท้องถนนได้อย่างแม่นยำซึ่งทำให้หน่วยประมวลผลมีการคำนวณอย่างถูกต้อง แต่ชุดควบคุมตัวรถยนต์จำลองยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและพัฒนาให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project title	RC car assistance system
Students	Mr.Rattanun Charennpon ID57011059
	Mr.Ratchajit Sodsaijit ID57011063
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronic Engineering
Academic Year	2560
Project Advisor	Assistance Professor Dr.Surapan Airphaiboonaaa

Abstract

This project present the automatic RC car that can detect a lane line on the road by using OpenCV in the process. The purpose of these are learning the principle of OpenCV methods and creating the autonomous RC car. The processes are consisted of 1.Programing the processor for select suitable situations. 2Programing the car controller for movement correspond with the output of processor.

Result of the project indicate that the lane line can be detected accurately, however, the controller might be improved the code for stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์

ที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการทดลอง ให้คำปรึกษา ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่กลุ่มข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ครอบครัว สดใสจิตต์ และ ครอบครัว เจริญผล สำหรับการสนับสนุนในทุก ๆด้าน

และสุดท้ายขอขอบคุณพี่และเพื่อนในห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงงานนี้ กลุ่มข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นายรัฐนันท์ เจริญผล

นายรัตชจิต สดใสจิตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตโครงงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 รถยนต์จำลอง	3
2.2 OpenCV	3
2.3 แบบจำลองสี	4
2.3.1 แบบจำลองสี RGB	4
2.3.2 แบบจำลองสี Grayscale	5
2.4 การแยกภาพออกเป็นส่วน	5
2.4.1 Amplitude Segmentation Method	5
2.4.3 Edge Segmentation Method	5
2.5 Gaussian blur	6
2.6 Canny edge	6
2.7 Hougline line transform	6
2.8 Rasberry pi3	7
2.9 Raspberry Pi Camera	8
2.10Python	9
2.11Motor driver	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12Power supply 11
2.13Servo motor 11
2.13.1ส่วนประกอบภายนอก 12
2.13.2 ส่วนประกอบภายใน 13
2.13.3 สัญญาณ RC ในรูปแบบ PWM 14
2.14image thesholding 15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 16
3.1 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับเลนส์บนพื้นถนน 16
3.2 แผนผังการทำงานของมอเตอร์ควบคุมการเลี้ยว 17
3.3 แผนผังการทำงานของระบบ 18
3.4 ไลบารี่ที่สำคัญในกระบวนการของโปรแกรม 18
3.5 การเรียกใช้กล้อง 19
3.6 การแยกสีโดยใช้กระบวนการ BINARY 19
3.7 การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ 20
3.8 การเบลอภาพ 20
3.9 การหาขอบของภาพ 21
3.10 การขีดเส้นตามขอบของภาพ 21
3.11 การใช้งาน servo motor 22
3.12 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ 23
บทที่ 4 ผลการทดลอง 24
4.1 การทดลองเลี้ยวของรถยนต์โดยมีมุมองศาที่ต่างกันโดยมีความเร็ว 30 PWM 24
4.2 การทดลองปรับค่า threshold ของภาพ 26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 29
5.1การดำเนินงานจัดทำโครงงาน 29
5.1.1วัตถุประสงค์ของโครงงาน 29
5.1.2วัสดุอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน 29
5.2สรุปผลการทดลอง 29
5.3ข้อเสนอแนะ 30
5.4ปัญหา อุปสรรค และแนวทางการพัฒนา 30
ภาคผนวก 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 การทดลองการเลี้ยวด้วยความเร็ว PWM=30 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 รถยนต์จลอง 3
ภาพที่ 2.2 โปรแกรม Opencv 3
ภาพที่ 2.3 แบบจาลองสี RGB 4
ภาพที่ 2.4 กระบวนการแปลงรูปแบบของสมการ 6
ภาพที่ 2.5 บอร์ด rasberrypi3 7
ภาพที่ 2.6 Raspberry Pi Camera 8
ภาพที่ 2.8 โปรแกรม python idle 9
ภาพที่ 2.9 Motor driver L293D 10
ภาพที่ 2.10 Power supply 11
ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบภายนอกของ servo motor 12
ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบภายในของ servo motor 13
ภาพที่ 2.13 Servo Motor Block Diagram 13
ภาพที่ 2.14 องศาการหมุนของ Servo motor 14
ภาพที่ 2.15 กระบวนการ threshold binary 15
ภาพที่ 3.1 การเปิดกล้อง 19
ภาพที่ 3.2 การแยกสี 19
ภาพที่ 3.3 การเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ 20
ภาพที่ 3.4 การเบลอภาพ 20
ภาพที่ 3.5 การหาขอบภาพ 21
ภาพที่ 3.6 การลากเส้นตามขอบภาพ 22
ภาพที่ 4.1 การเลี้ยวที่มุม 70 องศา 24
ภาพที่ 4.2 การเลี้ยวที่มุม 80 องศา 25
ภาพที่ 4.3 การเลี้ยวที่มุม 100 องศา 25
ภาพที่ 4.4 การเลี้ยวที่มุม 110 องศา 26
ภาพที่ 4.5 ภาพทอดลอง 26
ภาพที่ 4.6 ค่า threshold=150 27
ภาพที่ 4.7 ค่า threshold=180 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาพที่ 4.8 ค่า threshold=200 28
ภาพที่ 4.9 ค่า threshold=220 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่4.1 การทดลองการเลี้ยวโดยใช้ค่าความเร็ว PWM=30 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุบัติเหตุบนท้องถนนเกิดเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในทุกๆปี สาเหตุมาเกิดมาจากคนขับขี่ยานพาหนะไม่เคารพกฎกติกาจราจร และประมาทในการขับขี่ ตัวอย่างเช่น ในเทศกาลสำคัญของทุกๆปีมักจะมีอัตราการเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าวันธรรมดา เพราะว่ามีการใช้ยานพาหนะในการเดินทางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งนำมาสู่การสูญเสียชีวิตในหลายๆฝ่าย ดังนั้นหลายๆยานพาหนะ เช่น รถยนตร์ จึงได้คิดค้นเทคโนโลยีที่ช่วยเรื่องความปลอดภัย และสะดวกสบายมากแก่ผู้ใช้รถยนตร์ เพื่อที่จะลดการเกิดอุบัติเหตุในอีกทางหนึ่ง

ในอุตสาหกรรมรถยนต์หลายๆรุ่นได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆมาเพิ่มประสิทธิภาพของรถให้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่าง เช่น Google ได้จัดทำรถยนต์ที่สามารถขับขี่เองได้โดยที่ผู้โดยสารเป็นคนโปรแกรมสถานที่ที่เป็นจุดหมาย และบีเอมดับเบิ้ลยูได้มีการสร้างระบบถอยรถยนต์เข้าที่จอดเองโดยอัตโนมัติ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการนำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานเพิ่มมากยิ่งขึ้นจากเมื่อศตวรรษก่อน

ผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้นำมาใช้กับรถยนต์มากยิ่งขึ้นจึงได้ทำรถยนตร์ขับเคลื่อนอัตโนมัติโดยใช้หลักการตรวจจับสีเลนส์บนถนน และโปรแกรมให้รถยนต์จำลองขับตามสีเลนส์บนถนนนั้นๆ

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้คิดและพัฒนาระบบเสริมช่วยผู้ขับขี่ขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้พาหนะบนท้องถนน และนำมาสู่การลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนท้องถนนอีกด้วย

1.1 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อ

- เป็นการฝึกฝนปฏิบัติของคณะผู้จัดทำเพื่อเป็นพื้นฐานการปฏิบัติในอนาคต
- นำความรู้ที่ได้จากภาคทฤษฎีมาปฏิบัติ
- ศึกษาหลักการทำงานของระบบรถยนต์จำลองขับเคลื่อนอัตโนมัติ
- ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สมมุติฐานการศึกษา

คณะผู้จัดทำจะได้เรียนรู้ระบบช่วยเหลือผู้ใช้ยานพาหนะเพื่อความปลอดภัย และสร้างระบบช่วยเหลือต่างๆขึ้นมาเพื่อใช้กับยานพาหนะ และยังศึกษาการสร้างโปรแกรมช่วยเหลือต่างๆอีกทั้งยังสามารถสร้างยานพาหนะจำลองขึ้นมาละนำระบบช่วยเหลือต่างๆไปมาใช้อีกด้วย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษาระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่บนยานพาหนะซึ่งมี ดังนี้

- ระบบตรวจจับสีเลนส์บนท้องถนน
- ระบบขับเคลื่อนรถยนต์จำลองแบบอัตโนมัติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ศึกษารูปแบบไลบารี่ของ Opencv
- ประยุกต์พารามิเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานของโปรเจคนี้
- ประยุกต์การใช้งานบอร์ด Raspberrypi
- เรียนรู้ฟังชั่นการทำงานต่างๆของไลบารี่

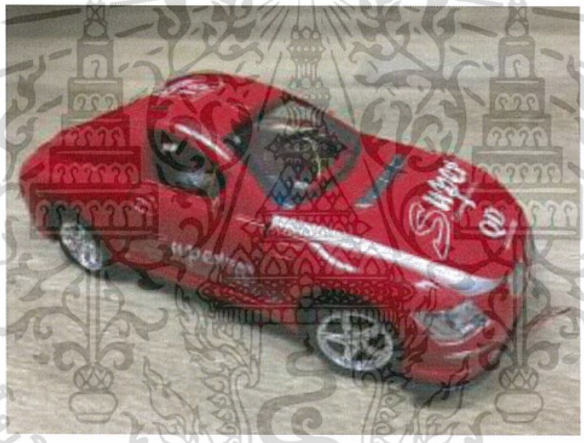
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 รถยนต์จำลอง

รถยนต์จำลอง คือ รถยนตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการจำลองรถยนต์ที่ใช้จริงๆบนท้องถนนโดยมีระบบการทำงานขับเคลื่อนทั้ง 4 ล้อ และติดตั้งระบบประมวลผลรวมไปถึงกล้องบนตัวรถใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 2.1 รถยนต์จำลอง

2.2 Opencv

ภาพที่ 2.2 โปรแกรม Opencv

ข้อมูลจาก (https://www.sarahmestiri.com/opencv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Opencv เป็นโปรแกรมการเรียนรู้ด้วยตัวเองของคอมพิวเตอร์โดยเปิดให้ใช้งานและแก้ไขได้ตามจุดประสงค์ของผู้ใช้งาน ซึ่งมีไลบารี่มากกว่า 2500 รูปแบบ โดยมีการใช้งานหลัก เช่น การจดจำใบหน้าของคน ระบุชนิดของสิ่งของ เรียนรู้พฤติกรรมต่างๆ และในโปรเจคนี้ได้ใช้การติดตามหาเลนส์บนพื้นถนน นอกจากนี้วิธีการใช้ยังครอบคลุมหลายภาษาได้แก่ C++,Python,Matlab,Java รวมไปถึงใช้งานได้บนหลายๆแพลตฟอม เช่น Linux,Windows,Android,Mac os อีกด้วย

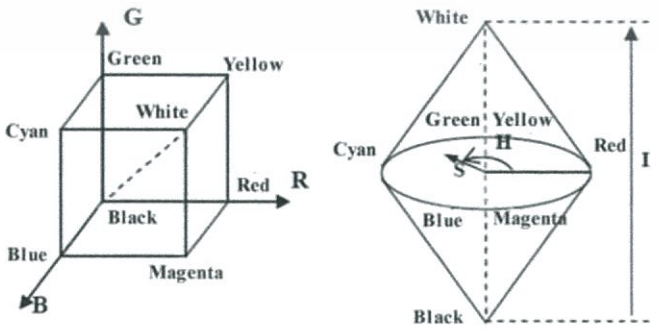
2.3 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสี (Color Model) เป็นสิ่งที่ใช้อ้างอิงถึงสีต่าง ๆ สำหรับคอมพิวเตอร์แล้วเราจะไม่ ใช้แบบจำลองที่เป็น Analytical Model เหมือนกับที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้วิธีการวัดซึ่งอยู่ใน รูปของพลังงานตลอดช่วงของสเปคตรัม (Spectrum) แต่จะเป็น Empirical Model ที่ได้รับความ สัมพันธ์ของค่าที่ใช้อ้างอิงกับสีใด ๆ จากการทดลองที่เป็นการศึกษาแบบ Psychophysical ที่มีการ รับรู้ของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง

แบบจำลองสีมีหลายแบบด้วยกัน เช่น แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี CMY แบบจำลองสี CMYK แบบจำลองสี HSV แบบจำลองสี HIS แบบจำลองสี HLS แบบจำลองสี YIQ และแบบ จำลองสี YUV (แบบจำลอง YCbCr) เป็นต้น

2.3.1 แบบจำลองสี RGB (RGB Color Model)

เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพ คอมพิวเตอร์ เนื่องจาก RGB Model ได้ทำการสร้างสีต่าง ๆ ขึ้นโดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวน สามสี ได้แก่ สีแดง (Red), สีเขียว (Green), และสีฟ้าเงิน (Blue) ที่เกิดจากสารเรืองแสงที่มีคุณสมบัติ ที่แตกต่างกันตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีจะไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ นอกเสียจากว่าจะมี คุณสมบัติของสารเรืองแสงและการตั้งค่าจอภาพ และสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือน กันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แบบจำลองสี RGB

ข้อมูลจาก (http://fourier.eng.hmc.edu)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองสี RGB ประกอบด้วยข้อมูลจำนวนสามส่วนคือค่า Intensity ของสีทั้งสาม ซึ่งได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

2.3.2 แบบจำลองสี Grayscale

เป็นการระบุฐานข้อมูลของสีต่างๆให้อยู่ในระนาบเดียว คือ สีขาว แล สีดำ โดยมีกระบวนการเปลี่ยนสีอื่นๆ ดังสมการ Gray=(R*299/1000)+(G*587/1000)+(B114/1000) โดนมี format=8bit หมายถึงสามารถเปลี่ยนค่าจาก 0-255 นั่นก็คือ 0 หมายถึง สีดำ 255 หมายถึง สีขาว ดังนั้นจึงมีความต่างของสีถึง 256 สี

2.4 การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ (Image Segmentation)

การแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ จะทำให้สามารถแยกภาพส่วนที่ต้องการออกจากส่วนอื่น ๆ วิธีการพื้นฐานสำหรับการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ คือการพิจารณา Image Amplitude (ได้แก่การ พิจารณาความสว่างของภาพสำหรับภาพแบบ Gray Scale และความแตกต่างของสีสำหรับภาพสี)

นอกจากนี้ขอบของภาพและลักษณะของ Texture ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จะทำให้สามารถทำการแบ่งแยกภาพได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการแยกภาพออกเป็นส่วน ๆ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

2.4.1 Amplitude Segmentation Method

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิเซลภายในพื้นที่เพียงอย่างเดียว เช่นวิธีการ Intensity thresholding เป็นการแยกแยะวัตถุจากฉากหลัง โดยดูจาก Intensity ของพิกเซลเป็นหลัก ข้อดีของของวิธีการนี้คือมีขั้นตอนในการทำงานที่ง่ายไม่ ซับซ้อนทำงานได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาก หรือภาพที่มี ความสว่างไม่สม่ำเสมอกัน

2.4.2 Edge Segmentation Method

เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพ โดยอาศัยความไม่ต่อเนื่องของคุณสมบัติของพิกเซลที่บริเวณขอบของวัตถุ ดังนั้นวิธีการนี้จึงมุ่งที่จะตรวจหาขอบของวัตถุเป็นข้อดีของวิธีการนี้ คือมีความรวดเร็วในการประมวลผล เพราะวิธีการนี้ใช้เฉพาะข้อมูลบริเวณขอบของวัตถุเท่านั้น ส่วนข้อเสียของวิธีการนี้ คือผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ “ขอบ” ของวัตถุซึ่งอาจจะต้องผ่าน กระบวนการอื่นอีกต่อหนึ่ง จึงสามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ขอบของวัตถุที่ได้อาจไม่ต่อเนื่องถ้าวัตถุ มีสีที่ไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Gaussian blur

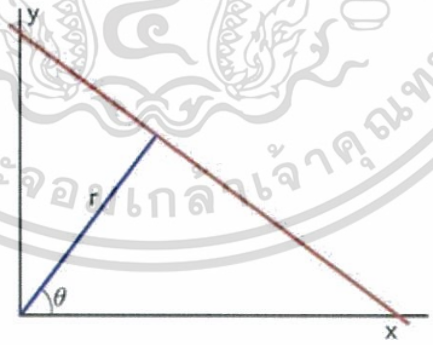
คือ กระบวนการเบลอภาพโดยมีรูปแบบการทำงานโดยเข้าไปในแต่ละพิกเซลของภาพ และเปลี่ยนค่าในภาพตามสมการนี้ $k = \frac{1}{size}\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & 1\end{bmatrix}$ จากสมากรดังกล่าวจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จะมีค่าน้อยลงซึ่งจะทำให้เกิดการเบลอของภาพ

2.6 Canny Edge

Canny edge คือ กระบวนการหนึ่งไว้สำหรับตรวจจับขอบของวัตถุ โดยใช้หลักการหาความต่างของสีที่เกิดขึ้นที่จุดนั้นๆโดยการหาค่าการ์เดี้ยนจากสมการ $\sqrt{G_x^2 + G_y^2} = G$ และนำไปหาค่ามุม $\tan\theta = \frac{G_y}{G_x}$ ค่ามุมจะตั้งฉากกับขอบของเส้นเสมอ และล้อมรอบไปด้วย ระนาบแกน x ระนาบแกน y ระนาบทะแยงมุม

2.7 Hough Line Transform

คือ กระบวนการตรวจจับรูปร่างของวัสดุและนำเสนอในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างเช่นภาพด้านล่างที่เส้นตรงสีแดงมีสมการเป็น y=mx+c ในรูปแบบของ พาราเมตริก จะได้ว่า ρ = xcos θ + ysin θ เมื่อ ρ คือระยะตั้งฉากจากต้นทางไปยังเส้น และ θ คือมุมที่เกิดจากเส้นตั้งฉาก และ horizontal axis หมุนทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 2.5 กระบวนการแปลงรูปแบบของสมการ

ข้อมูลจาก (https://www.sarahmestiri.com/opencv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Raspberrrypi 3

คือ หน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็กที่ประกอบไปด้วย cpu และ gpu สามารถนำมาต่อกับหน้าจอ เม้าส์ และคีบอร์ด เพื่อนำมาใช้เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้ ประกอบไปด้วย

SoC: Broadcom BCM2837

CPU: 4× ARM Cortex-A53, 1.2GHz

GPU: Broadcom VideoCore IV

RAM: 1GB LPDDR2 (900 MHz)

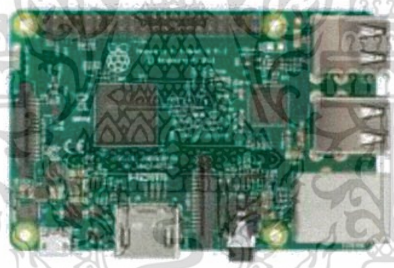
Networking: 10/100 Ethernet, 2.4GHz 802.11n wireless

Bluetooth: Bluetooth 4.1 Classic, Bluetooth Low Energy

Storage: microSD

GPIO: 40-pin header, populated

Ports: HDMI, 3.5mm analogue audio-video jack, 4× USB 2.0, Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)

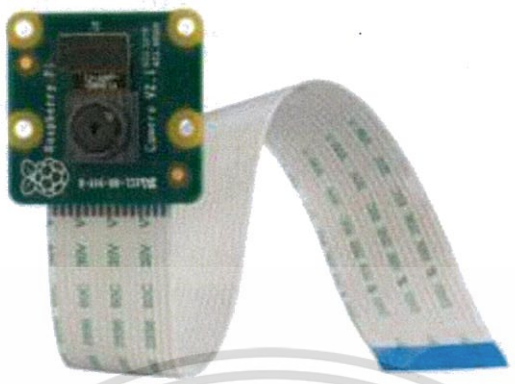


ภาพที่ 2.6 บอร์ด rasberrypi3

ข้อมูลจาก (https://poundxi.com/wp-content/uploads/2016/04/Arduino_Uno_-_R3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 Raspberry Pi Camera



ภาพที่ 2.7 Raspberry Pi Camera

ข้อมูลจาก (https://inex.co.th/shop/raspberry-pi-camera-v2-camera-module.html)

โมดูล Raspberry Pi Camera V2 ใช้เซ็นเซอร์รับภาพ IMX219PQ ของโซนี่ซึ่งช่วยประมวลผลภาพวิดีโอความเร็วสูงและมีความไวสูง สามารถเชื่อมต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ได้ทุกรุ่น และยังเหมาะสำหรับงานวิดีโอความละเอียดสูงและการถ่ายภาพนิ่ง นอกจากนี้คุณยังสามารถถ่ายภาพแบบ time-lapse และ slow-motion

นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชั่นการควบคุมอัตโนมัติเช่นการควบคุมการเปิดรับความสมดุลสีแสงขาว (white balance) และการตรวจจับความสว่างอีกด้วย

คุณสมบัติ

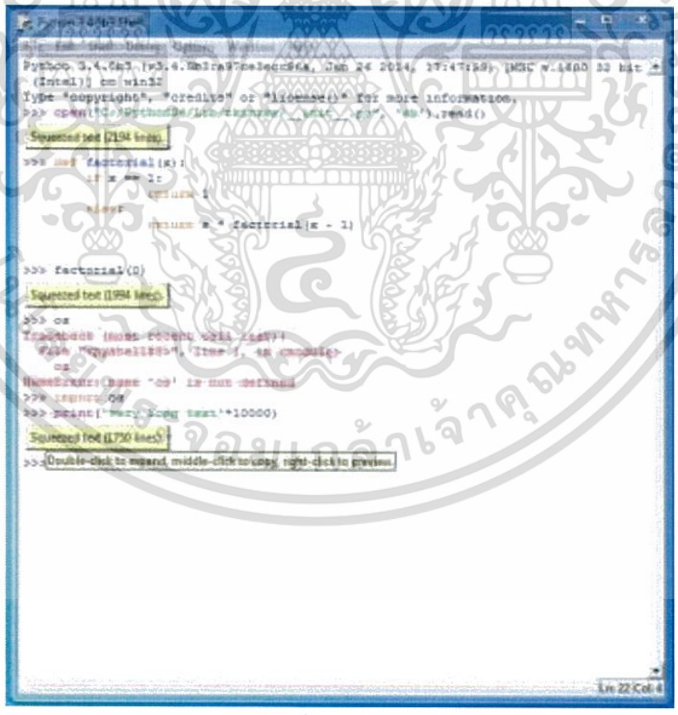
- ความละเอียดสูง 8 ล้านพิกเซล
- ถ่ายวิดีโอคุณภาพระดับ HD ความคมชัด 1080p, 720p และ 640x480 ด้วยอัตราแสดงผล 30 (1080p), 60 (720p และ 640x480) และ 90 (640x480) เฟรมต่อวินาที
- เซ็นเซอร์รับแสงจาก Sony IMX219PQ CMOS image sensor
- ความละเอียดสูงสุดที่สนับสนุน 3280 x 2464
- อัตราเฟรมสูงสุดในการจับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที
- อุณหภูมิในการทำงานสูงสุด +60 C
- อุณหภูมิในการทำงานต่ำสุด -20 C
- ขนาด 23.86 x 25 x 9 มม.
- น้ำหนักเพียง 3 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ด้วยบัส CSI (Common System Interface) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ point-to-point บัสนี้พัฒนาโดย Intel ออกแบบมาเพื่อการรับส่งข้อมูลความเร็วสูง 12 ถึง 16 GB/s ด้วยการใช้เทคนิค low-voltage differential signaling
- ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำเหมาะกับอุปกรณ์กล้องที่ต้องถ่ายข้อมูลจำนวนมากอย่างรวดเร็ว
- ใช้กับบอร์ด Raspberry Pi ที่ติดตั้งอิมเมจเวอร์ชั่นล่าสุด
- สายแพ 15 จุดต่อ ยาว 15CM.

2.10 Python

คือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม กล่าวคือสามารถรันภาษา Python ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux , Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาตัว นี้เป็น OpenSource เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีๆโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ Python มีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครบคุมกับทุกลักษณะงาน



ภาพที่ 2.8 โปรแกรม python idle

ข้อมูลจาก (https://poundxi.com/wp-content/ Arduino-Software-IDE-1.6.7.png)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 Motor driver

ภาพที่ 2.9 Motor driver L293D

ข้อมูลจาก (https://www.arduinoall.com /-L293D-motor-driver)

L293D H-Bridge เป็นชุดควบคุมความเร็วของ และทิศทางของมอเตอร์เป็นแบบชนิด H-bridgeซึ่งสามารถควบคุมได้ 2 channels

ประกอบด้วยขา

Out 1: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ A

Out 2: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ A

Out 3: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ B

Out 4: ช่องต่อขั้วไฟของมอเตอร์ B

+V motor : ช่องจ่ายไฟเลี้ยงมอเตอร์ (ต่อได้ตั้งแต่ 5V ถึง 25V)

GND: ช่องต่อไฟลบ (Ground)

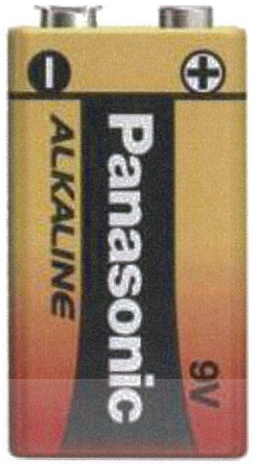
IN1: ช่องต่อสัญญาณ PWM สำหรับมอเตอร์ A

OUT1: ช่องต่อสัญญาณลอจิคเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A

OUT2: ช่องต่อสัญญาณลอจิคเพื่อควบคุมทิศทางของมอเตอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 Power supply



ภาพที่ 2.10 ถ่าน AA และ ถ่าน 9V

ใช้ถ่าน AA 1.5v 4 ก้อนมาต่ออนุกรมกันเป็นพลังงานเพื่อจ่ายไฟให้กับ raspberry pi และservo motor

ใช้แบตเตอรี่ 9 V 2 ก้อนมาต่ออนุกรมกัน เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อน

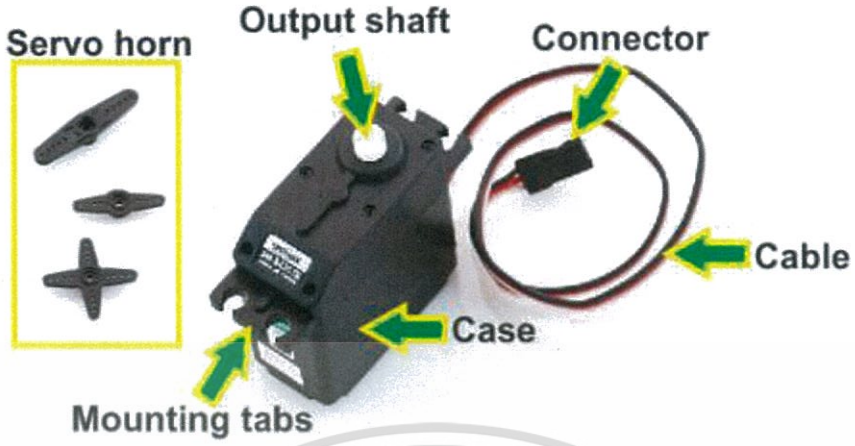
2.13 Servo Motor

Servo เป็นคำศัพท์ที่ใช้กันทั่วไปในระบบควบคุมอัตโนมัติ มาจากภาษาละตินคำว่า Sevus หมายถึง “ทาส” (Slave) ในเชิงความหมายของ Servo Motor ก็คือ Motor ที่เราสามารถสั่งงานหรือตั้งค่า แล้วตัว Motor จะหมุนไปยังตำแหน่งองศาที่เราสั่งได้เองอย่างถูกต้อง โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ในบทความนี้จะกล่าวถึง RC Servo Motor ซึ่งนิยมนำมาใช้ในเครื่องเล่นที่บังคับด้วยคลื่นวิทยุ (RC = Radio - Controlled) เช่น เรือบังคับวิทยุ รถบังคับวิทยุ เฮลิคอปเตอร์บังคับวิทยุ เป็นต้น

Feedback Control คือ ระบบควบคุมที่มีการวัดค่าเอาต์พุตของระบบนำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต เพื่อควบคุมและปรับแต่งให้ค่าเอาต์พุตของระบบให้มีค่า เท่ากับ หรือ ใกล้เคียงกับค่าอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.1 ส่วนประกอบภายนอก



ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบภายนอกของ servo motor

ข้อมูลจาก (http://www.thaieasyelec.com)

- Case ตัวถัง หรือ กรอบของตัว Servo Motor

- Mounting Tab ส่วนจับยึดตัว Servo กับชิ้นงาน

- Output Shaft เพลาส่งกำลัง

- Servo Horns ส่วนเชื่อมต่อกับ Output shaft เพื่อสร้างกลไกล

- Cable สายเชื่อมต่อเพื่อ จ่ายไฟฟ้า และ ควบคุม Servo Motor จะประกอบด้วยสายไฟ 3 เส้น และใน RC Servo Motor จะมีสีของสายแตกต่างกันไปดังนี้

O สายสีแดง คือ ไฟเลี้ยง (4.8-6V)

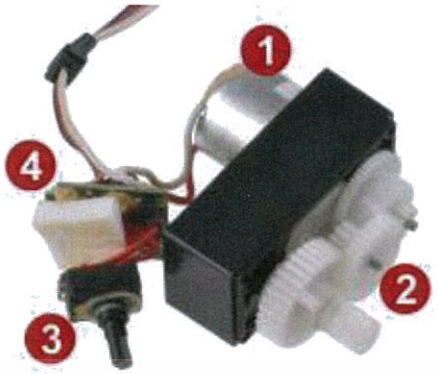
O สายสีดำ หรือ น้ำตาล คือ กราวด์

O สายสีเหลือง (ส้ม ขาว หรือฟ้า) คือ สายส่งสัญญาณพัลซ์ควบคุม (3-5V)

- Connector จุดเชื่อมต่อสายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 ส่วนประกอบภายใน



ภาพที่ 2.12 ส่วนประกอบภายในของ servo motor

ข้อมูลจาก (www.pololu.com)

1. Motor เป็นส่วนของตัวมอเตอร์

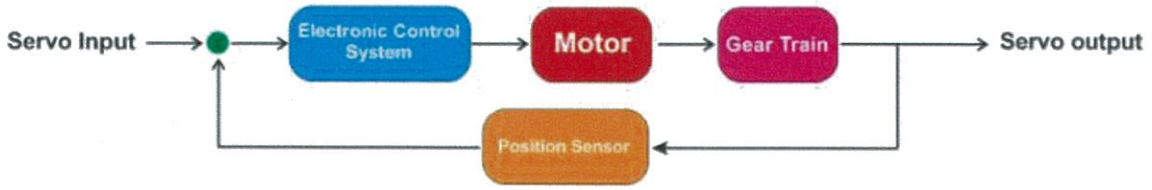
2. Gear Train หรือ Gearbox เป็นชุดเกียร์ทดแรง

3. Position Sensor เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งเพื่อหาค่าองศาในการหมุน

4. Electronic Control System เป็นส่วนที่ควบคุมและประมวลผล

2.13.3 หลักการทำงานของ Servo Motor

เมื่อจ่ายสัญญาณพัลซ์เข้ามายัง RC Servo Motor ส่วนวงจรควบคุม (Electronic Control System) ภายใน Servo จะทำการอ่านและประมวลผลค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์ที่ส่งเข้ามาเพื่อแปลค่าเป็นตำแหน่งองศาที่ต้องการให้ Motor หมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งนั้น แล้วส่งคำสั่งไปทำการควบคุมให้ Motor หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยมี Position Sensor เป็นตัวเซ็นเซอร์คอยวัดค่ามุมที่ Motor กำลังหมุน เป็น Feedback กลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ



ภาพที่ 2.13 Servo Motor Block Diagram

ข้อมูลจาก (http://www.thaieasyelec.com)

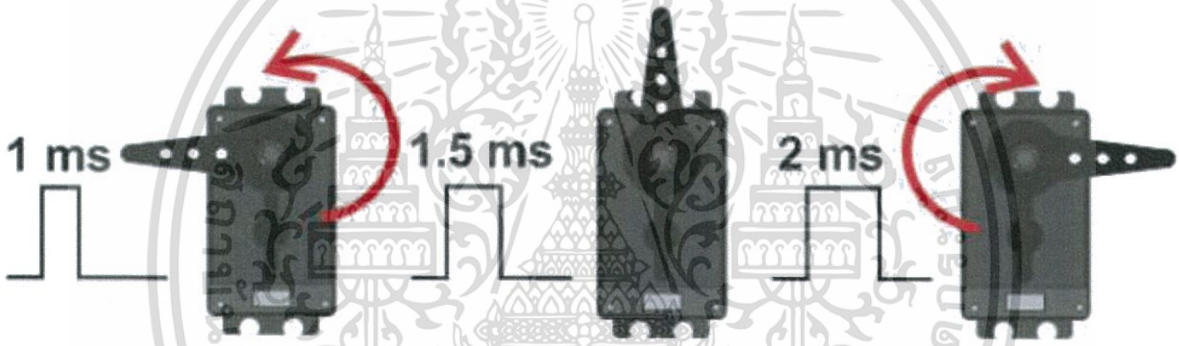
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.4 สัญญาณ RC ในรูปแบบ PWM

ตัว RC Servo Motor ออกแบบมาใช้สำหรับรับคำสั่งจาก Remote Control ที่ใช้ควบคุมของเล่นด้วยสัญญาณวิทยุต่างๆ เช่น เครื่องบินบังคับ รถบังบังคับ เรือบังคับ เป็นต้น ซึ่ง Remote จำพวกนี้ที่ภาครับจะแปลงความถี่วิทยุออกมาในรูปแบบสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation)

มุมหรือองศาจะขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณพัลซ์ ซึ่งโดยส่วนมากความกว้างของพัลซ์ที่ใช้ใน RC Servo Motor จะอยู่ในช่วง 1-2 ms หรือ 0.5-2.5 ms

ยกตัวอย่างเช่นหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลซ์ไว้ที่ 1 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปทางด้ายซ้ายจนสุด ในทางกลับกันหากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลซ์ไว้ที่ 2 ms ตัว Servo Motor จะหมุนไปยังตำแหน่งขวาสุด แต่หากกำหนดความกว้างของสัญญาณพัลซ์ไว้ที่ 1.5 ms ตัว Servo Motor ก็จะหมุนมาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางพอดี



ภาพที่ 2.14 องศาการหมุนของ Servo motor

ข้อมูลจาก (http://www.thaieasyelec.com)

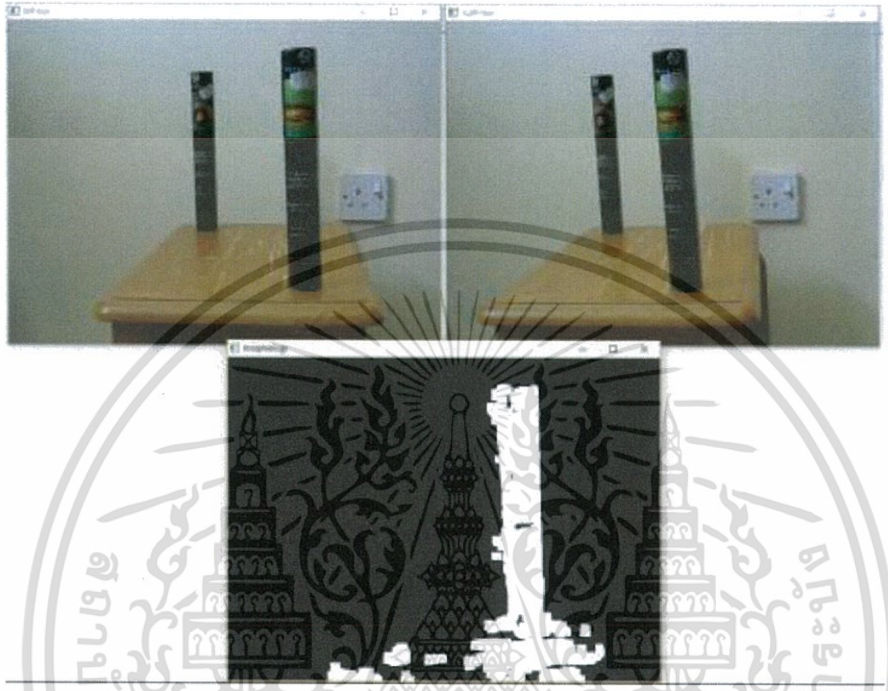
ดังนั้นสามารถกำหนดองศาการหมุนของ RC Servo Motor ได้โดยการเทียบค่า เช่น RC Servo Motor สามารถหมุนได้ 180 องศา โดยที่ 0 องศาใช้ความกว้างพัลซ์เท่ากับ 1000 us ที่ 180 องศาความกว้างพัลซ์เท่ากับ 2000 us เพราะฉะนั้นค่าที่เปลี่ยนไป 1 องศาจะใช้ความกว้างพัลซ์ต่างกัน (2000-1000)/180 เท่ากับ 5.55 us

จากการหาค่าความกว้างพัลซ์ที่มุม 1 องศาข้างต้น หากต้องกำหนดให้ RC Servo Motor หมุนไปที่มุม 45 องศาจะหาค่าพัลซ์ที่ต้องการได้จาก 5.55 x 45 เท่ากับ 249.75 us แต่ที่มุม 0 องศาเราเริ่มที่ความกว้างพัลซ์ 1ms หรือ 1000 us เพราะฉะนั้นความกว้างพัลซ์ที่ใช้กำหนดให้ RC Servo Motor หมุนไปที่ 45 องศา คือ 1000 + 249.75 เท่ากับประมาณ 1250 us

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 Image thresholding

คือ กระบวนการแยกสีของภาพแบ่งออกเป็น 2 สี โดยกำหนดค่า threshold หนึ่งที่สีๆหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีขาว แล้วอีกสีหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีดำ



ภาพที่ 2.15 กระบวนการ threshold binary

ข้อมูลจาก (https://rdmilligan.wordpress.com/2016/05/23/disparity-of-stereo-images-with-python-and-opencv/)

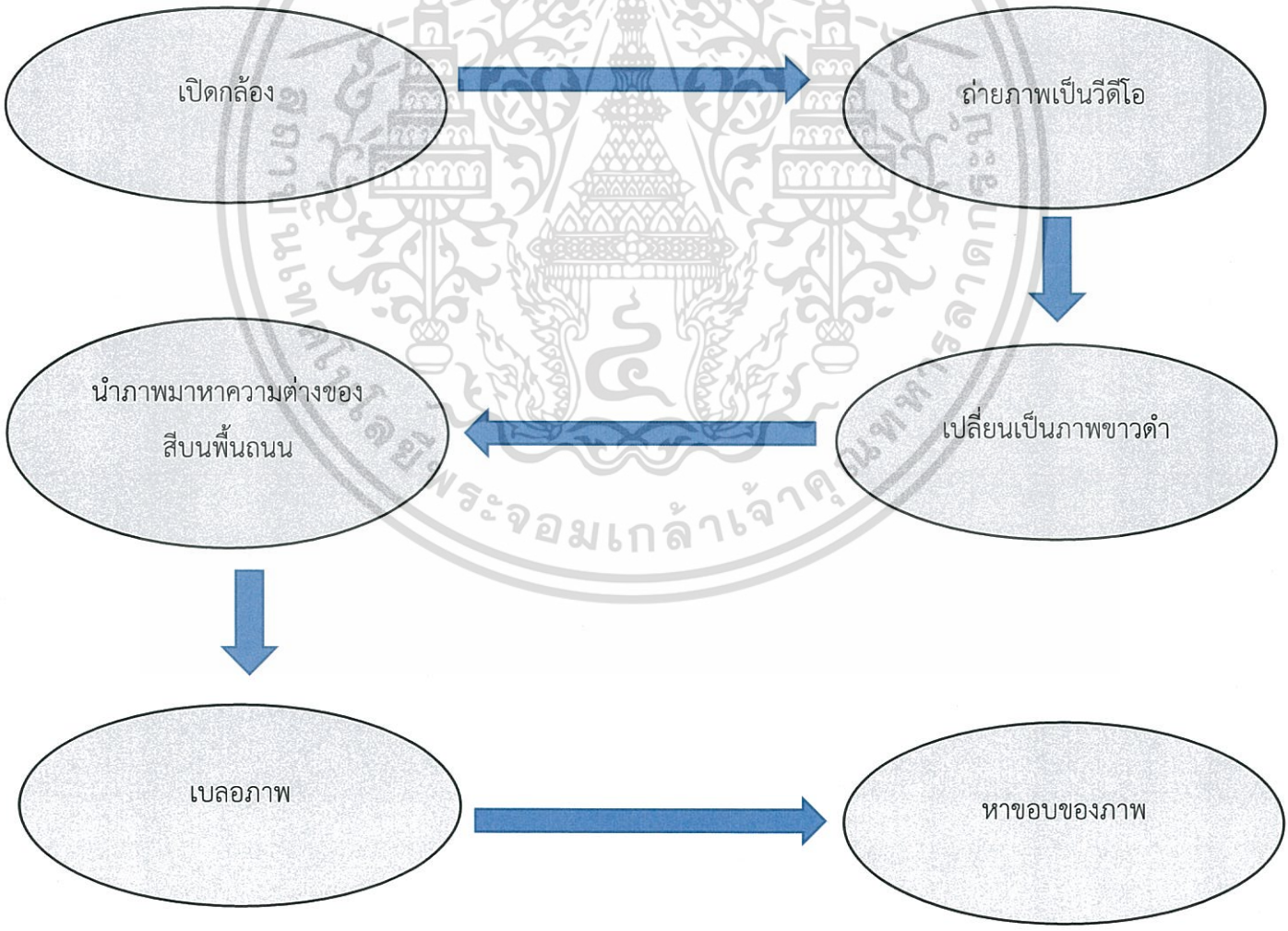
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

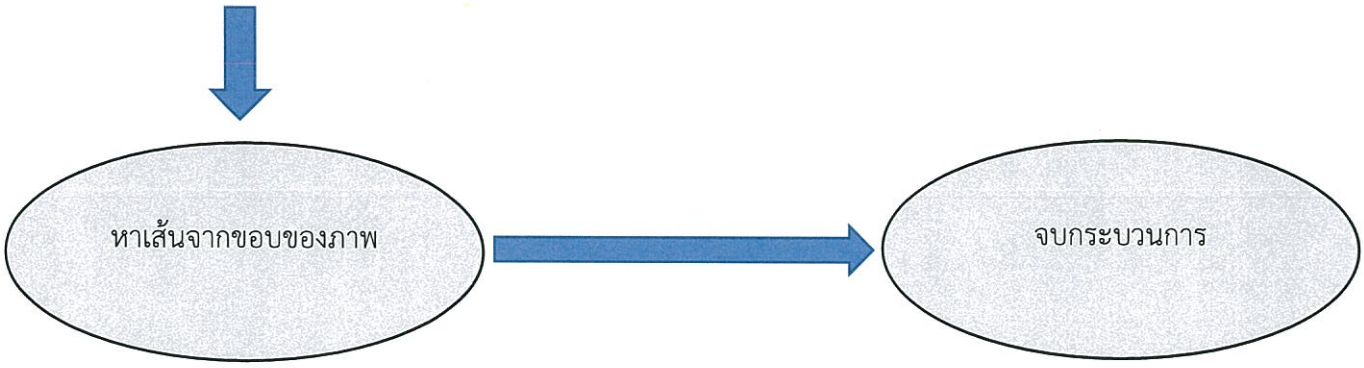
วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบระบบรถยนต์อัตโนมัติขับตามเลนส์นั้น ได้มีขั้นตอนการออกแบบโดยใช้รถยนตร์จำลองและใช้ rasberrypi3 เป็นตัวควบคุม มีการเขียนโปรแกรมการตรวจจับเลนส์บนพื้นถนนเพื่อเป็นอัลกอริทึมให้รถขับแบบอัตโนมัติ

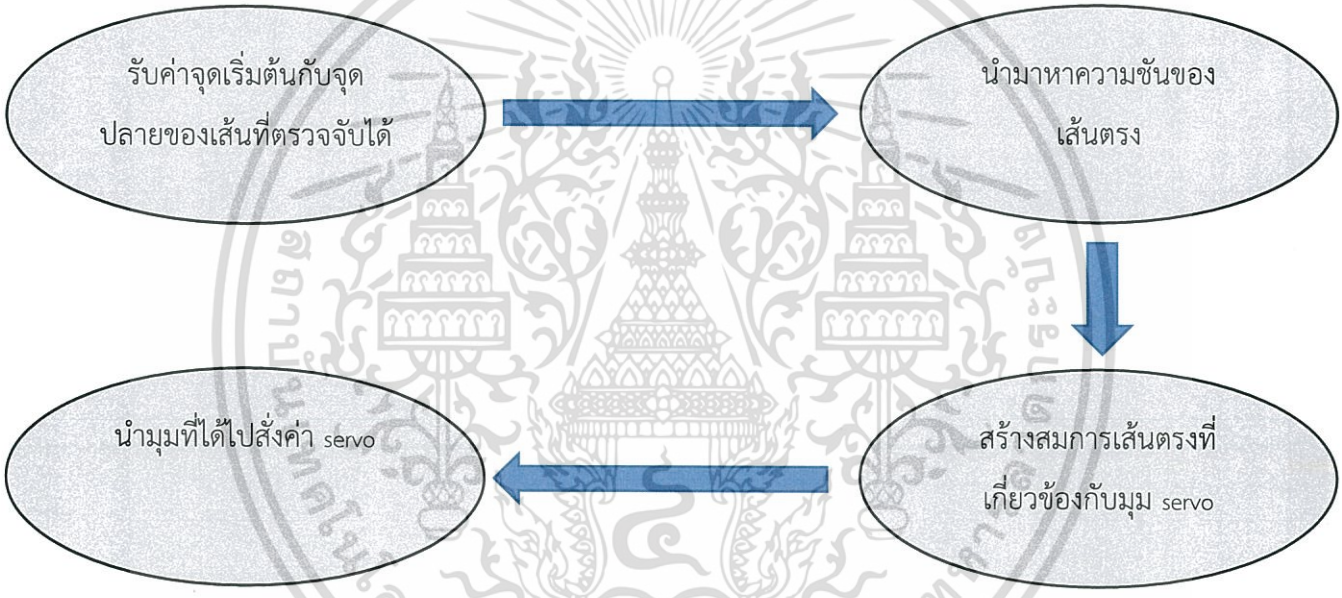
3.1 แผนผังการทำงานของระบบตรวจจับเลนส์บนพื้นถนน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

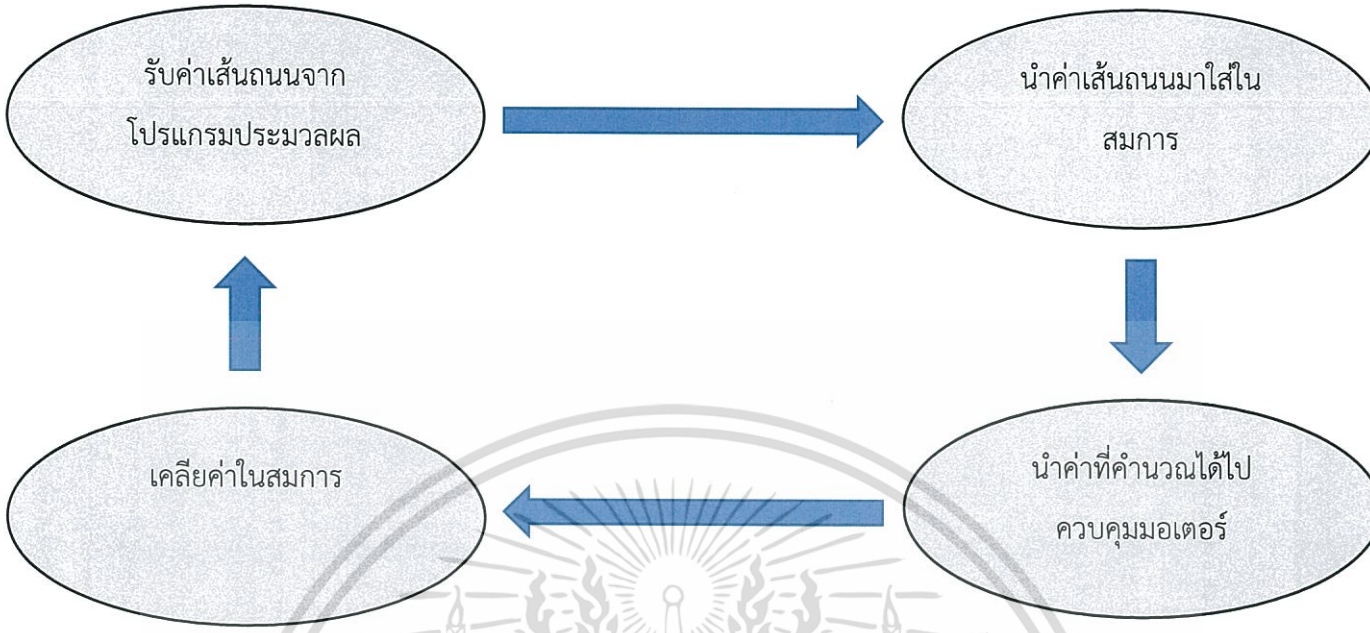


3.2 แผนผังการทำงานของมอเตอร์ควบคุมการเลี้ยว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนผังการทำงานของระบบ



3.4 ไลบารี่ที่สำคัญในกระบวนการของโปรแกรม

ก่อนที่จะทำการเขียนโปรแกรมนั้นต้องเรียกใช้ไลบารี่ที่จำเป็นต่อการใช้ฟังชั่นต่างๆเพื่อที่จะให้ฟังชั่นนั้นๆสามาถทำงานได้ ซึ่ง ได้เรียกใช้ไลบารี่ต่อไปนี้ประกอบไปด้วย ฟังชั่นการใช้กล้อง ฟังชั่นการคำนวณ ฟังชั่นการเรียกใช้ I/O ฟังชั่นการพลอต ฟังชั่นกระบวนการบนรูปภาพ ฟังชั่นเวลา

```
from picamera import PiCamera
import time
import cv2
import numpy as np
import RPi.GPIO as GPIO
from picamera.array import PiRGBArray
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเรียกใช้กล้อง

ในโปรเจคนี้จะใช้กล้องในการจับภาพที่มีขนาด 640*480 โดยนำภาพมาเรียงต่อๆกันให้เป็นวีดีโอที่ความเร็ว 32 ภาพต่อวินาที โดยมีการเก็บภาพเป็นแต่ละอาเรย์เป็น RGB

```
camera.resolution=(640,480)
camera.framerate=32
rawCapture=PiRGBArray(camera, size=(640,480))
time.sleep(0.1)
for frame in
    camera.capture_continuous(rawCapture,format="bgr",use_video_port=True):
    image=frame.array
```

ภาพที่ 3.1 การเปิดกล้อง

3.6 การแยกสีโดยใช้กระบวนการ BINARY

ฟังชั่นนี้จะเป็นการตั้งค่าช่วงของสีที่จะเปลี่ยนเป็นสีขาว และสีดำ เนื่องจากจะทำให้สามาถแยกสีออกเป็น 2 สีเท่านั้นจึงทำให้กระบวนการนี้จะเกิดการแยกสีที่มีความถูกต้อง

```
ret,thresh1=cv2.threshold(image,180,255,cv2.THRESH_BINARY)
```

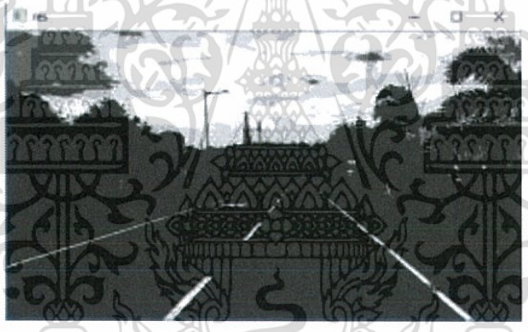
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.2 การแยกสี

3.7 การเปลี่ยนภาพสีเป็นภาพขาวดำ

กระบวนการเปลี่ยนภาพเป็นภาพขาวดำเพื่อที่จะทำให้กระบวนการต่อไปสามาถทำงานได้เนื่องจากต้องการภาพที่เป็นสีขาวดำเท่านั้น

```
grayscale=cv2.cvtColor(thresh1,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```



ภาพที่ 3.3 การเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ

3.8 การเบลอภาพ

ก่อนที่จนำภาพไปหาขอบของภาพต้องทำการเบลอภาพเพื่อให้ลดสัญญาณรบกวนของภาพให้มากที่สุด

```
blur=cv2.GaussianBlur(grayscale,(5,5),0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.4 การเบลอภาพ

3.9 การหาขอบของภาพ

กระบวนการหาขอบของภาพเกิดจากสองพารามิเตอร์ที่มีไว้ควบคุมค่าสูงสุดและต่ำสุดของความหนาเส้นที่จะให้เกิดขอบของภาพ

edge = cv2.Canny(blur,50,250,apertureSize = 3)

ภาพที่ 3.5 การหาขอบภาพ

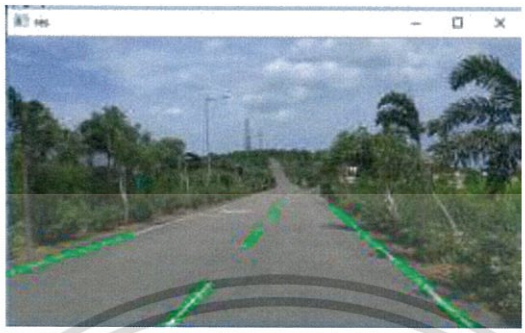
3.10 การขีดเส้นตามขอบของภาพ

กระบวนการนี้จะมีการขีดเส้นไปชนกับขอบของภาพเพื่อให้เกิดจุด ถ้าเกิดจุดเท่ากับเงื่อนไขของค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้และมีค่ามุมที่เท่าเดิมจะเกิดการขีดเส้นของภาพนั้นๆ

```
rho=1

theta=np.pi/180

threshold=100

lines=cv2.HoughLinesP(edge,rho,np.pi/180,threshold,50,10)
if lines is not None:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for line in lines:
    for x1,y1,x2,y2 in line:
    cv2.line(image,(x1,y1),(x2,y2),(0,255,0),2)
```



รูปที่ 3.6 การลากเส้นตามขอบภาพ

3.11 การใช้งาน servo motor

ก่อนจะเริ่มใช้งาน servo motor นั้นจำเป็นต้องกำหนดค่าความถี่ก่อน โดยคาบการหมุนครบรอบของตัวมอเตอร์จะมีค่าดังสมการ $T = \frac{1}{F}$ ทำให้สามารถรู้ได้ว่าการที่มอเตอร์หมุนครบ 1 รอบเป็นมุม 180 องศา นั้นจะใช้เวลาที่เท่าไร จากนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่า $\text{Dutycycle} = pwm * time$

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(7,GPIO.OUT)
pwm=GPIO.PWM(7,50)
pwm.start(6)
slope=(y2-y1)/(x2-x1)
delta=-0.5*(slope-0.5)+7
pwm.ChangeDutyCycle(delta)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 การควบคุมสเต็ปมอเตอร์

กำหนดค่า GPIO และความเร็วของมอเตอร์ที่ซึ่งก็คือการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เปลี่ยนความถี่

```
GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

GPIO.setup(8,GPIO.OUT)

pwm_speed=GPIO.PWM(8,50)

pwm_speed.start(30)
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื่องจากกระบวนการขับเคลื่อนของรถขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งภายนอก และภายใน จึงได้มีการทดลองโดยใช้ปัจจัยที่สำคัญประกอบไปด้วย แสง ความเร็ว มุมของโค้ง จึงได้ทำการทดลองตามตารางดังนี้

4.1 การทดลองเลี้ยวของรถยนต์โดยมีมุมองศาที่ต่างกันโดยมีความเร็ว 100 PWM ที่จากแนวแกน X โดยใช้แสงจากหลอดไฟนีออน

องศา	ความเร็ว(PWM)	ค่าผิดพลาด(cm)
70	30	±1
80	30	0
90	30	0
100	30	0
110	30	±1

ตารางที่4.1 การทดลองการเลี้ยวโดยใช้ค่าความเร็ว PWM=30

ภาพที่ 4.1 การเลี้ยวที่ 70 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.2 การเลี้ยวที่ 80 องศา

ภาพที่ 4.3 การเลี้ยวที่ 100 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.4 การเลี้ยวที่ 110 องศา

4.2การทดลองปรับค่า threshold ของภาพ

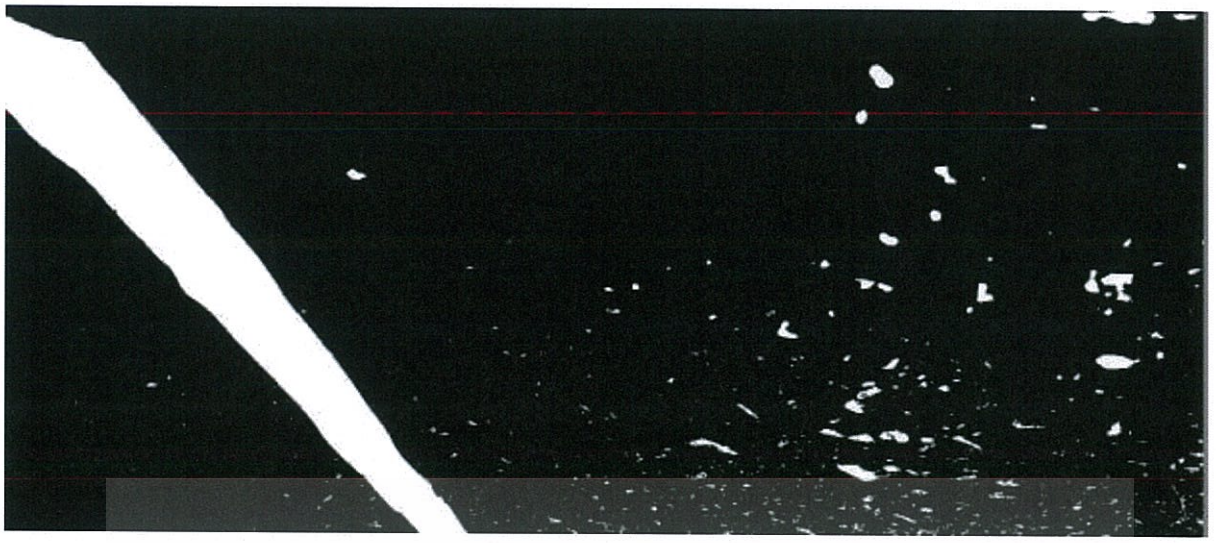
ภาพที่ 4.5 ภาพทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.6 ค่า threshold=150

ภาพที่ 4.7ค่า threshold=180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ค่า threshold=200

ภาพที่ 4.9 ค่า threshold=220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การจัดทำโครรงานระบบช่วยเหลือรถยนต์จำลองครั้งนี้สามาถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1การดำเนินงานจัดทำโครงงาน

5.1.1วัตถุประสงค์ของโครงงาน

5.1.1.1เพื่อศึกษาระบบตรวจจับสีเลนส์บนท้องถนนโดยใช้ภาษา Python

5.1.1.2เพื่อศึกษาการใช้ไลบารี่ต่างๆบนโปรแกรม Python

5.1.1.3เพื่อศึกษาและประยุกต์การใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.1.2วัสดุอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน

5.1.2.1บอร์ด Raspberry pi3 B

5.1.2.2servo motor

5.1.2.3Python IDLE 2.7

5.1.2.4step motor and motor driver

5.1.2.5raspberry pi camera

5.2สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผู้จัดทำได้ทำการพัฒนาขั้นตอนการโดยใช้เครื่องมือภาษา Python IDLE2.7 เพื่อทำการโปรแกรมกระบวนการในการจัดการกับภาพต่างๆ และการคุมการเลี้ยวของรถยนต์โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการประมวลผลของภาพนำมาควบคุมทิศทางการหมุนของล้อรถยนต์ และจากการทดลองในเวลากลางวันจะเห็นได้ว่ารถยนต์สามารถตรวจจับเลนส์ได้ดีกว่าแสงจากหลอดไฟเพราะค่าของแสงที่ตกกระทบทำให้เกิดสีที่มีค่ามากโปรแกรมจึงคำนวณได้ดีกว่าแสงจากหลอดไฟ และค่าพารามิเตอร์ความเร็วส่งผลอย่างมากกับการประมวลผลของภาพเนื่องมาจากเกิดการสั่นของภาพขึ้นทำให้โปรแกรมไม่สามารถทำงานได้ทันเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากจากภาพไม่นิ่ง ทั้งนี้รถยนต์สามาถขับเคลื่อนได้ตามเลนส์บนถนนได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้จัดทำการทดลองได้เกิดการเรียนรู้และเข้าใจระบบการทำงานต่างๆของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างถูกต้อง

5.3ข้อเสนอแนะ

การประมวลผลของภาพนั้นขึ้นอยู่กับทั้งด้านการโปรแกรมและรวมไปถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ถ้าเลือกอุปกรณ์ไม่สอดคล้องกับรูปแบบของการทำงานก็อาจทำให้เกิดผลลัพธ์เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์แบบด้วย

5.4ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการพัฒนา

5.4.1เนื่องจากกระบวนการทางภาพใช้แสงเป็นส่วนประกอบหลักดังนั้นแหล่งกำเหนิดแสงจึงสำคัญอย่างมาก ถ้าไม่มีแสงกระบวนการประมวลผลของภาพก็จะไม่สามารถทำได้

5.4.2ประสิทธิภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มากพอ จะนำมาสู่การประมวลผลที่ช้าและอาจส่งผลให้โปรแกรมเกิดการค้างและไม่สามาถทำงานได้

5.4.3เนื่องจากโครรงานนี้ใช้กล้องส่วนของโครงสร้างจึงสำคัญเพราะว่าถ้ากล้องเกิดการสั่นมากๆจะทำให้โปรแกรมเกิดค่า error ขึ้นมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

```
from picamera.array import PiRGBArray

from picamera import PiCamera

import time

import cv2

import numpy as np

import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

GPIO.setup(7,GPIO.OUT)

pwm=GPIO.PWM(7,50)

pwm.start(6)

camera=PiCamera()

camera.resolution=(640,480)

camera.framerate=32

rawCapture=PiRGBArray(camera, size=(640,480))

time.sleep(0.1)

def dutycycle(x1,x2,y1,y2):
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
slope=(y2*(1.00)-y1)/(x2-x1)

radiant=np.arctan(slope)

angle=(radiant*180/np.pi)+180

dutycycle=0.1(angle-90)+7

if x2==x1:

        pwm.start(7)

        speed.start(30)

elif dutycycle>8.5:

        pwm.start(5.5)

elif dutycycle<5.5:

        pwm.start(8.5)

else:

        pwm.start(dutycycle)
```

```
for frame in
camera.capture_continuous(rawCapture,format="bgr",use
_video_port=True) :
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    image=frame.array

ret,thresh1=cv2.threshold(image,150,255,cv2.THRESH_BINA
RY)

    grayscale=cv2.cvtColor(thresh1,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blur=cv2.GaussianBlur(grayscale,(5,5),0)
    edge=cv2.Canny(blur,50,250,apertureSize=3)
    rho=1
    theta=np.pi/180
    threshold=100

lines=cv2.HoughLinesP(edge,rho,np.pi/180,threshold,200,4
5)
    if lines is not None:
        for x1,y1,x2,y2 in line:
            dutycycle(x1,x2,y1,y2)
    cv2.imshow("Frame",image)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
key=cv2.waitKey(1) & 0xFF

rawCapture.truncate(0)

if key ==  ord("q") :

  cv2.DestroyAllWindows()

   break
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้