ระบบควบคุมและตรวจจับสิ่งแวดล้อมโดยหุ่นยนต์

ROBOTIC SENSOR AND CONTROL

นายกฤติภัทร รักษาสัตย์

Mr.Kittipat Rugsasat

นายภูมิบดี พรมชัย

Mr.Phumbadee Promchai

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบควบคุมและตรวจจับสิ่งแวดล้อมโดยหุ่นยนต์

ROBOTIC SENSOR AND CONTROL

โดย

นายกฤติภัทร รักษาสัตย์ รหัสนักศึกษา 53010048

นายภูมิบดี พรมชัย รหัสนักศึกษา 53011276

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อิทธิภูมิ บุญพิคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมและตรวจจับสิ่งแวดล้อมโดยหุ่นยนต์

ROBOTIC SENSOR AND CONTROL

ผู้จัดทำ นายกฤติภัทร รักษาสัตย์ รหัสประจำตัว 53010048

นายภูมิบดี พรมชัย รหัสประจำตัว 53011276

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ดร.อิทธิภูมิ บุญพิคำ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบควบคุมและตรวจจับสิ่งแวดล้อมโดยหุ่นยนต์

นักศึกษา นายกฤติภัทร รักษาสัตย์ รหัสประจำตัว 53010048

นายภูมิบดี พรมชัย รหัสประจำตัว 53011276

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.อิทธิภูมิ บุญพิคำ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เสนอการพัฒนาระบบตรวจจับและระบบควบคุมสำหรับหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปรอบสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยใช้เซ็นเซอร์แสงอินฟราเรดเพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวาง ระบบควบคุมและตรวจจับรับคำสั่งระบบการตัดสินใจของหุ่นยนต์และส่งผ่านข้อมูลตรวจจับนี้กลับทางช่องเดิม นอกจากนี้ยังติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อมที่เคลื่อนที่ผ่านไปพร้อมแสดงผลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Robotic Sensor and Control	
Student	Mr. Kittipat Rugsasat	Student ID 53010048
	Mr. Phumbadee Promchai	Student ID 53011276
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Dr. Ittibhoom Boonpikum	

ABSTRACT

This project deals with the development of the Sensing and Control system to allow the robot to move around its environment, using IR Sensors to detect obstacles. The Sensing and Control system receives instructions form the robot's Decision System, and passes sensor data back over the same channel. Also, temperature and humidity sensor are attached for environment measurement while cruising through.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานระบบควบคุมและตรวจจับสิ่งแวดล้อมโดยหุ่นยนต์นี้ ประกอบด้วยชิ้นงาน และเอกสารประกอบโครงงานซึ่งงานนี้จะไม่ลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าไม่ได้รับการช่วยเหลือจากหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์อิทธิภูมิ บุญพิคำ ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ดูแลในเรื่องของวงจรมาตลอด อีกทั้งเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

กฤติภัทร รักษาสัตย์

ภูมิบดี พรมชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VI
สารบัญรูป.....VII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....1
1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....1
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....2
2.1 เทคโนโลยีเซนเซอร์.....2
2.1.1 อินฟาเรด.....2
2.1.2 เรดาร์.....2
2.1.3 Inductive, Magnetic, Capacitive.....3
2.1.4 โซนาร์.....4
2.1.5 อุปกรณ์หาระยะโดยเลเซอร์.....6
2.1.6 ตัวส่ง IR.....6
2.2 การควบคุมมอเตอร์เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดย IC L293D.....7
2.2.1 พื้นฐานวงจร H-Bridge หรือวงจรขับมอเตอร์.....7
2.2.2 การต่อ L293D.....9
2.2.3 ระดับแรงดันใช้งาน.....10
2.2.4 ตารางความจริง.....10
2.3 DC มอเตอร์.....12
บทที่ 3 การออกแบบวงจร.....14
3.1 เซนเซอร์.....14
3.1.1 การกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่.....15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทมีสภาวะเป็น “0” และ “1”.....20
3.3 วงจรดิจิตอลลอจิกเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์.....23
3.4 วงจรขับมอเตอร์ L293D.....29
3.4.1 คุณสมบัติ.....29
3.4.2 รายละเอียด.....29
3.4.3 รายละเอียดการทำงาน.....30
3.4.4 แผนผังขา L293D.....30
3.4.5 การทำงานของ L293D.....31
3.4.6 ลอจิกสำหรับ L293D.....31
3.5 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ.....33
3.6 เซนเซอร์วัดความชื้น.....34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....35
บทที่ 5 บทสรุป.....37
เอกสารอ้างอิง.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางความจริงสำหรับ IC ขับมอเตอร์ L293D.....11
3.1 ตารางดิจิตอลลอจิก สำหรับเอาท์พุทจากเซนเซอร์ทั้ง 4 และรูปแบบการเคลื่อนที่.....19
3.2 ข้อมูลสำหรับ Comparator.....21
3.3 ตารางลอจิก สำหรับเอาท์พุทจากเซนเซอร์ทั้ง 4 และรูปแบบการเคลื่อนที่ 23
3.4Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 2.....24
3.5Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 7.....25
3.6 Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 10.....27
3.7Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 15.....28
3.8 ตารางลอจิก L293D และการหมุนของมอเตอร์.....31
3.9 ตารางลอจิก L293D สำหรับอินพุททั้ง 4 และการหมุนของมอเตอร์ 2 ตัว.....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1การทำงานของเซ็นเซอร์ Hall-effect ร่วมกับแม่เหล็กถาวร....3
2.2ความแตกต่างระหว่าง Walls และ Corners เมื่อใช้ RCD's....4
2.3การกวาดของโซนาร์360 องศา ด้วย RCD's สองตัว....5
2.4วงจร IR emitter และ IR phototransistor....7
2.5 NPN ทรานซิสเตอร์เพื่อขับมอเตอร์....7
2.6วงจร H-Bridge สำหรับขับมอเตอร์....8
2.7 IC L293D....9
2.8 DC มอเตอร์พร้อมส่วนประกอบภายใน....12
2.9รูปแบบการหมุนของ DC มอเตอร์....13
3.1หลักการทำงานของเซนเซอร์ IR....14
3.2 วงจร IR....15
3.3วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(comparator) สำหรับเซนเซอร์อินฟราเรดทั้ง 4....20
3.4วงจร Comparator....21
3.5 Comparator IC LM324....22
3.6 IR เซนเซอร์พร้อมวงจร comparator....22
3.7วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "2" ของ L293D ICขับมอเตอร์....24
3.8กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "2" ของ L293D IC ขับมอเตอร์....25
3.9วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "7" ของ L293D ICขับมอเตอร์....26
3.10 กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "7" ของ L293D IC ขับมอเตอร์....26
3.11วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "10" ของ L293D ICขับมอเตอร์....27
3.12กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท "10" ของ L293D IC มอเตอร์....28
3.13แผนผังการเชื่อมต่อขา L293D....29
3.14แผนผังขา L293D....30
3.15 วงจรตรวจจับอุณหภูมิอย่างง่าย....33
3.16วงจรตรวจวัดความชื้นในตัวกลาง....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมนุษย์เราพัฒนาอุปกรณ์และเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อใช้ในชีวิตประจำวันเพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าไปในพื้นที่ที่มีความแคบ เพื่อสำรวจอุณหภูมิและความชื้น ณ บริเวณนั้น โดยคิดค้นออกแบบหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้โดยอัตโนมัติ ตรวจจับอุณหภูมิและวัดความชื้น ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถเข้าไปในบริเวณนั้นได้

1.2ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. สร้างหุ่นยนต์เพื่อการใช้งาน
2. ออกแบบและสร้างระบบเซ็นเซอร์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปรอบๆสิ่งแวดล้อม
3.ออกแบบและสร้างเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม
4.ออกแบบและสร้างเซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้นของสิ่งแวดล้อม

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจะสามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง และเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา เดินหน้าเองได้อย่างอิสระ นอกจากนี้ยังติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม รวมถึงเซ็นเซอร์ตรวจจับความชื้นของบริเวณนั้นได้

1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอการออกแบบและประดิษฐ์หุ่นยนต์เพื่อช่วยเหลือและสำรวจในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กที่นำมาใช้ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ตามความต้องการหุ่นยนต์ที่สามารถโยกย้ายและเคลื่อนที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1เทคโนโลยีเซ็นเซอร์

เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีเซ็นเซอร์สำหรับหุ่นยนต์ ต้องพิจารณาสิ่งแวดล้อมการทำงานด้วย การออกแบบนี้ก็เพื่อมุ่งหวังให้หุ่นยนต์ทำงานในสิ่งแวดล้อมต่างๆ สิ่งกีดขวางนั้นได้แก่ ต้นไม้ วัตถุอื่นๆ และผู้คน ซึ่งเป็นกีดขวางที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ โดยวัตถุทั้งสองแบบจะให้สัญญาณเซ็นเซอร์ที่เปลี่ยนแปลงกลับคืนมา

2.1.1 อินฟราเรด

ระยะใช้งานของ IR นั้นมีข้อเสียคือให้ข้อมูลที่ตรวจจับได้และไม่ได้ เนื่องจากการสะท้อน IR จากวัตถุนั้นเปลี่ยนแปลงอย่างมากในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะเมื่อมีสัญญาณอื่นมารบกวน เช่นแสงอาทิตย์ แสงไฟให้ความสว่าง และอื่นๆ อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่นำมาสร้างระบบนั้นหาง่ายและกะทัดรัด

เซ็นเซอร์ IR ใช้แสง IR เพื่อตรวจจับผิว สัญญาณความถี่ต่ำของลำแสงที่ปล่อยออกมานั้นมักนำมาใช้เพื่อกำจัดการรบกวนสัญญาณจากสัญญาณที่ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น แสงไฟ หรือดวงอาทิตย์ การวัดระยะนั้นทำได้ก็ต่อเมื่อสิ่งแวดล้อมมีสีและโครงสร้างที่เรียบ และต้องปรับเซ็นเซอร์เพื่อใช้ในงาน ผลคือต้องนำมาใช้กับงานเฉพาะอย่าง ตัวอย่างเช่น ผิววัตถุสีดำหรือสีเข้ม นั้นตัวเซ็นเซอร์ IR จะมองไม่เห็น เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว เซ็นเซอร์ IR จะใช้งานได้สำหรับการตรวจจับวัตถุ ไม่ใช่การวัดระยะ นอกจากนี้เนื่องจากความเข้มแสง IR นั้นลดลงเร็วมากตามระยะ(เป็นอัตราส่วนกับระยะทางกำลังสอง) ระยะสูงสุดที่มีผลทั่วไปคือ 50 ถึง 100 ซ.ม. ที่เป็นระยะที่สั้นเกินไปสำหรับนำมาใช้ในโครงงานนี้

2.1.2 เรดาร์

เรดาร์นั้นให้ภาพของสิ่งที่อยู่รอบๆอย่างถูกต้อง และเป็นเทคโนโลยีที่เข้าใจกันได้ดี วัตถุในสิ่งแวดล้อมภายในจะให้การสะท้อนสัญญาณเรดาร์ได้สูง อย่างไรก็ตามอาจทำการรบกวนแหล่งคลื่นวิทยุอื่นๆใน CVSSP ได้สูง เนื่องจากมีระบบเครือข่ายแบบไร้สายอยู่ นอกจากนี้ยังไม่สามารถบอกได้ว่าต้องใช้กำลังไฟเท่าใดในการทำให้เสาอากาศเรดาร์ ใช้งานได้โดยยังมีกำลังไฟฟ้าเพียงพอสำหรับการใช้งานระยะไกล

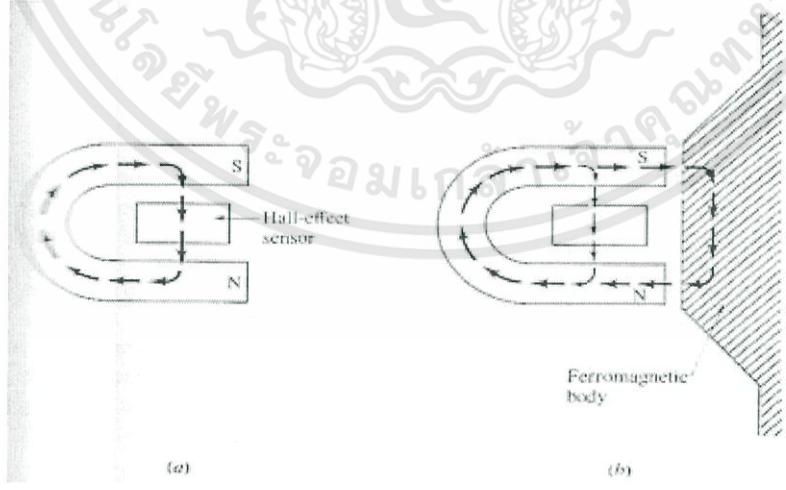
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 Inductive, Magnetic, Capacitive

สำหรับการใช้เซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์แบบ inductive นั้นอาจนำมาใช้เพื่อตรวจวัดวัตถุเฟอร์โรแมกเนติก อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับสิ่งแวดล้อมบางแห่ง เนื่องจากวัตถุนี้จะไม่สามารถตรวจพบได้หากมีขนาดเล็ก ทำให้เทคโนโลยีนี้เหมาะกับอุตสาหกรรมและการสร้างหุ่นยนต์มากกว่า นอกจากนี้ เซ็นเซอร์ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของวัตถุเฟอร์โรแมกเนติกเพื่อสร้างแรงดันเอาท์พุท หรือวัตถุที่ไม่มีการเคลื่อนที่จะตรวจพบยาก เซ็นเซอร์ชนิดเหนี่ยวนำนั้นยังมีพิสัยสั้น หรือในระยะเศษส่วนของมิลิเมตรเท่านั้น ข้อจำกัดด้านพิสัยนี้เป็นอีกเหตุผลว่าเหตุใดเทคโนโยลีนี้ถูกจำกัดเฉพาะใช้การกับส่วนการประกอบหุ่นยนต์เท่านั้น

เทคโนโลยีที่มีพิสัยในการตรวจจับได้ระยะไกลกว่าคือเซ็นเซอร์ชนิด Hall-effect อุปกรณ์ชนิดนี้ทำงานบนหลักการของเซ็นเซอร์แบบ Hall-effect ที่อยู่ระหว่างขั้วของแม่เหล็กถาวร เมื่อผิว/วัตถุเฟอร์โรแมกเนติก นำมาใกล้ขั้วแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านเซ็นเซอร์จะลดลง

วิธีนี้มีข้อเสียเมื่อนำมาตรวจจับผิววัตถุที่ไม่ใช่เฟอร์โรแมกเนติก แต่จะนำเซ็นเซอร์แบบ capacitive มาใช้แทน เซ็นเซอร์ชนิดนี้(ยังเปลี่ยนระดับความไวได้) มีปฏิกิริยาต่อวัสดุที่ไม่ใช่แก๊สทั้งหมดด้วย ตามชื่อที่บอก เซ็นเซอร์นี้ทำงานโดยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่า capacitance ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง ใช้ตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ(รวมถึงอากาศรอบๆด้วย) ที่เป็นส่วนของไดอิเล็กตริกแบบตัวเก็บประจุ



รูปที่2.1การทำงานของเซ็นเซอร์ Hall-effect ร่วมกับแม่เหล็กถาวร

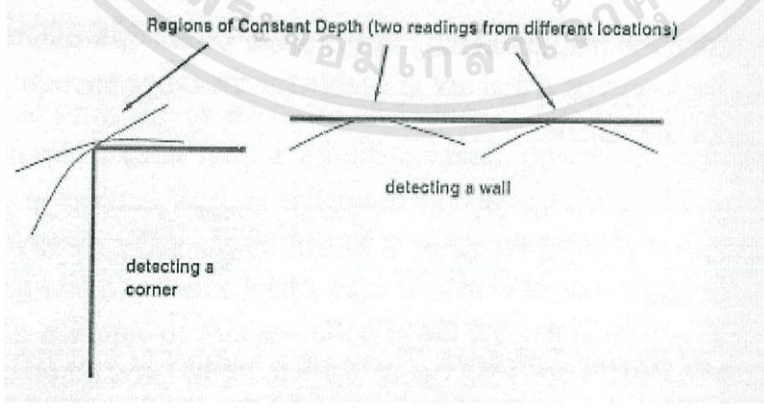
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกัน เซ็นเซอร์ที่มีพื้นฐานบนค่าการเก็บประจุจะมีพิสัยจำกัดด้วยเช่นกัน แม้ว่าสารที่ไม่ใช่เฟอร์รัสจะให้การตอบสนองเพิ่มขึ้น แต่ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีค่าน้อยกว่าการตรวจจับวัสดุเฟอร์รัสด้วยตัวอย่างเช่น เหล็กจะทำให้การตอบสนองสูงกว่าจาก PVC ที่ระยะเดียวกันถึง 2.5 เท่า

2.1.4 โซนาร์

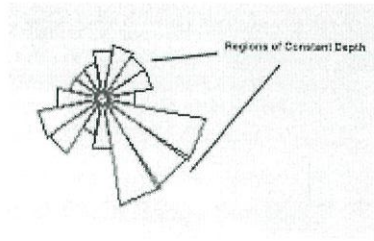
ผลงานยิ่งใหญ่ที่ได้คือการใช้เซ็นเซอร์แบบโซนาร์(เสียงอุลตรา)ในงานด้านหุ่นยนต์สำหรับระบบเซ็นเซอร์เสียงอุลตราโดยทั่วไป เสียงของอุลตราจะถูกปล่อยออกมาเป็นช่วงๆ จาก ทรานดิวเซอร์ทางเสียงลำแสงแคบ เสียงอุลตราที่ออกมานี้จะสะท้อนจากผิวรอบๆ และสามารถตรวจจับได้ที่เซ็นเซอร์หลังเวลาผ่านไป T ช่วงเวลานี้คือเวลาที่ออกไปและกลับมา เนื่องจากความเร็วของเสียงในอากาศนั้นหาได้ จึงเป็นเรื่องง่ายที่จะคำนวณระยะจากตัวส่งไปยังผิวสะท้อน โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา

ข้อดีหลักของการนำวิธีตรวจจับแบบเสียงอุลตรามาใช้คือการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ขึ้นกับวัตถุที่จะตรวจจับนั้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Opto-sensing และเรดาร์ แสดงให้เห็นประโยชน์เมื่อนำมาใช้ภายในอย่างชัดเจน ที่ซึ่งจะตรวจจับสิ่งกีดขวางต่างๆได้ แม้จะมีผิวที่แตกต่างกันส่วนข้อเสียก็คือ สนามเซ็นเซอร์นี้มีรูปร่างเป็นรูปกรวย; วัตถุที่ตรวจจับได้จะอยู่ที่ใดก็ได้หากอยู่ในกรวย ความถูกต้องของการวัดตำแหน่งนั้นขึ้นกับความกว้างของลำเซ็นเซอร์ นอกจากนี้ ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Specular Reflectinsสามารถทำให้การวัดผิดพลาดไปได้ หากลำแสงเสียงอุลตราชนผิวเรียบที่มุมแคบมาก ลำแสงนี้จะสะท้อนออกจากตัวรับแทนที่จะวิ่งเข้า ซึ่งทำให้ระยะที่วัดได้นั้นยาวกว่าระยะจริงที่อ่านจากเซ็นเซอร์



รูปที่2.2ความแตกต่างระหว่าง Walls และ Corners เมื่อใช้ RCD's

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.3การกวาดของโซนาร์360 องศา ด้วย RCD's สองตัว

มีวิธีหลายวิธีที่ได้รับการพัฒนาเพื่อเอาชนะ Specular Reflections วิธีหนึ่งที่นำมาใช้คือ "Regions of constant depth หรือย่านระยะลึกคงที่" หากทำการกวาดของโซนาร์360 องศา(ตัวอย่าง) ส่วนสำคัญเส้นโค้งที่ระยะที่วัดได้คงที่นั้นจะอยู่ในรูปของย่านระยะลึกคงที่(RCD)ย่านเหล่านี้แปลความหมายได้โดยกวาดเซนเซอร์ทั้งสอง(หรือมากกว่า) จากตำแหน่งที่และต่างกัน และเปรียบเทียบเส้นโค้ง RCD's หากเส้นโค้งเหล่านี้ตัดกัน แสดงให้เห็นว่ามุมนี้อยู่ที่จุดตัด หากเส้นโค้งนี้เกิดจาก flat watt จะทำมุมของระนาบการสะท้อน หากเส้นโค้งเหล่านี้เกิดจาก flat wall จะทำมุมกับระนาบสะท้อน

เรื่องที่ 3 ที่เหนือกว่านั้นเกี่ยวข้องกับรูปแบบของเซ็นเซอร์เสียงอุลตรา หากเซ็นเซอร์ตัวหนึ่งตรวจจับพัลส์ที่สะท้อนจากเซ็นเซอร์อีกตัวหนึ่ง หรือที่เรียกว่าเกิด "crosstalk" ขึ้น การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยรวมรหัสของสัญญาณจากเซ็นเซอร์ หรือควบคุมเวลาที่เซ็นเซอร์ต่างๆให้ป้องกันการตรวจจับที่ผิดพลาด

เซ็นเซอร์เสียงอุลตรานั้นมีประสิทธิภาพที่ระยะไกลกว่าวิธีการใช้เซ็นเซอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น แม้ว่าจะคำนึงถึงการลดทอนคลื่นเสียงในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นที่ความถี่สูงก็ตาม นั่นหมายความว่าหุ่นยนต์นั้นจะมีอิสระในการเคลื่อนที่มากขึ้น และสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะที่ไกลขึ้น ทำให้มีเวลาในการคำนวณเส้นทางที่จะเคลื่อนที่ไปได้ทัน

ตามการทดสอบที่ทำขึ้นโดยบริษัท Mitsubishi ได้แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์เสียงอุลตราที่สแกนทางกลศาสตร์นั้นสามารถตรวจจับตำแหน่งของคนที่ยืนอยู่ภายในห้องได้ นอกจากนี้ยังนำระบบนี้รวมไว้กับระบบการตรวจสอบทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วย

ข้อดีของระบบสแกนทางอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทางกลศาสตร์คือเซอร์โวที่นำมาใช้หมุนและปรับความเอียงลำแสงเซนเซอร์นั้นจะให้สัญญาณรบกวนด้านการสั่น และการติดตั้งนั้นค่อนข้างเป็นระบบใหญ่ ระบบสแกนทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถนำมาใช้เบี่ยงลำแสงโดยทำให้เฟสของส่วน emitter รวมกันให้ไปในทิศทางที่ต้องการ การศึกษาที่ทำขึ้นโดยบริษัท Mitsubishi เน้นให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นถึงปัญหาด้านความละเอียด ความเชื่อถือได้ และเวลาในการประมวลผลที่ต้องแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เซ็นเซอร์ที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้จะไม่มีความยืดหยุ่น แต่ง่ายในการติดตั้งและนำมาใช้ ระบบเซ็นเซอร์หลายตัวนั้นนำมาใช้เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การตรวจสอบได้ทั้งหมด

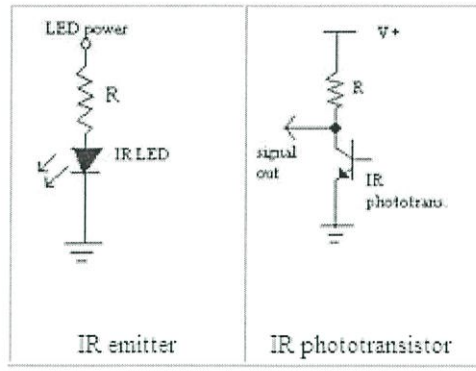
2.1.5อุปกรณ์หาระยะโดยเลเซอร์

ยังกล่าวถึงเซนเซอร์เหล่านี้ว่าเป็นเรดาร์เลเซอร์ หรือ “l idar” ซึ่งนำมาใช้กันทั่วไปในหุ่นยนต์และทำหน้าที่ในรูปแบบเดียวกันกับเซนเซอร์โซนาร์ที่แสดงรายละเอียดข้างต้น; แทนที่จะปล่อยสัญญาณพัลส์ของเสียงอุลตราออกมา แต่ใช้พัลส์ของแสงใกล้คลื่นอินฟราเร็ดออกมาแทน เช่นเดิมจะใช้เวลาไปกลับเพื่อหาระยะถึงวัตถุที่ตรวจจับได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเร็วแสงนั้นเร็วกว่าความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิห้อง(สูงกว่า 1 ล้านเท่า) นั่นหมายความว่าในการวัดเวลาไปกลับนั้นต้องวัดอย่างละเอียดด้วยเนื่องจากความยาวคลื่นนั้นยังสั้นกว่ามากด้วย ความน่าจะเป็นของการสะท้อนรวมจากผิวที่เรียบจะลดลง ดังนั้นวิธีการสะท้อนจะไม่นำมาพิจารณา ความถูกต้องของเซ็นเซอร์เลเซอร์ทางการค้าโดยทั่วไป

2.1.6 ตัวส่งIR

ตัวส่งสัญญาณ IR นั้นคือ LED ที่ปล่อยแสงด้วยความความคลื่นประมาณ 950 nm ออกมา สำหรับอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณ IR นั้นในที่นี้จะกล่าวถึง 2 ประเภทด้วยกัน คือ IR phototransistors(หรือทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสที่เปลี่ยนค่า โดยมีค่าแรงดันที่เบสตามปริมาณของแสงที่ตกกระทบกับทรานซิสเตอร์ชนิดนี้) และ IR modules(ที่โดยปกติแล้ว สภาวะของเอาท์พุทนั้นคือ “high” และเป็น “low” เมื่อตรวจจับสัญญาณ IR ที่ความถี่เฉพาะได้) ความแตกต่างระหว่าง IR phototransistors และ IR modules เป็นดังนี้ IR phototransistors นั้นไวต่อแสงในเวลากลางวันและมีระยะการใช้งานที่สั้น(ไม่ตรวจจับสัญญาณใดๆ ที่มาจากแหล่งจ่ายที่อยู่ห่างเกิน 5 cm) ส่วน IR modules นั้นค่อนข้างเสถียร และตรวจจับสัญญาณได้ไกลกว่า 3 m แต่สัญญาณที่ส่งออกมานั้นต้องได้รับการ modulate ความถี่ ข้อเสียอีกอย่างคือเอาท์พุทของ IR modules นั้นอาจจะมีสภาวะเป็น high หรือ low ขณะที่เอาท์พุทของ IR phototransistors นั้นเป็น แบบอนาล็อค ที่ทำให้เราสามารถบอกได้ทันทีว่าตัวรับสัญญาณ IR นี้กำลังหมุนหรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกต้อง(หรือทิศทางสัญญาณแรงขึ้น) ขณะที่มองหาตำแหน่งการสะท้อนของสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

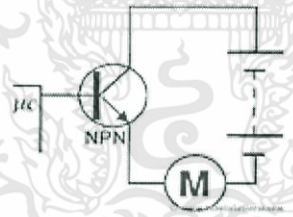


รูปที่2.4วงจร IR emitter และ IR phototransistor

2.2การควบคุมมอเตอร์เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยIC L293D

2.2.1 พื้นฐานวงจรH-Bridge หรือวงจรขับมอเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว แม้แต่หุ่นยนต์ต้องการมอเตอร์เพื่อหมุนล้อ หรือการเคลื่อนไวต่างๆ เนื่องจากมอเตอร์นั้นต้องการกระแสที่สูงกว่าที่ขาไมโครคอนโทรลเลอร์จะจ่ายให้ได้ จึงต้องการสวิทช์(ทรานซิสเตอร์ MOSEFT รีเลย์ และอื่นๆ) ที่สามารถรองรับการขยายกระแสต่ำ ขยาย และสร้างกระแสสูงได้ เพื่อนำมาขับมอเตอร์ ขบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้โดยตัวขับมอเตอร์



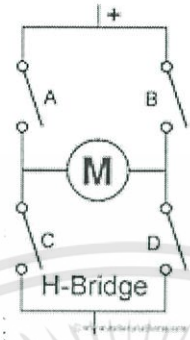
รูปที่2.5NPN ทรานซิสเตอร์เพื่อขับมอเตอร์

โดยพื้นฐานแล้ว ตัวขับมอเตอร์คือตัวขยายกระแส ที่นำสัญญาณกระแสต่ำจากไมโครคอนโทรลเลอร์และให้สัญญาณกระแสสูงที่เป็นสัดส่วนกัน ที่สามารถนำมาควบคุมและขับมอเตอร์ได้ เกือบทุกกรณี ทรานซิสเตอร์นั้นสามารถทำหน้าที่เป็นสวิทช์ และขับมอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางหนึ่งๆ

การหมุนและหยุดมอเตอร์นั้นใช้สวิทช์ตัวเดียวควบคุมในทิศทางเดียว หากต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทิศ ทำได้โดยการกลับขั้วแหล่งจ่ายไฟ โดยใช้สวิทช์ทั้ง 4 ที่เรียงกันเพื่องานนี้โดยเฉพาะ คือวงจรนี้ไม่เพียงขับมอเตอร์เท่านั้น แต่ยังควบคุมทิศทางการหมุนด้วย การออกแบบนี้คือการออกแบบวงจรในรูปของ H-Bridge นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปด้านล่าง วงจรนี้มีสวิทช์ด้วยกัน 4 ตัว คือ A, B, C และ D หากปิดและเปิดสวิทช์เท่านี้ ในรูปแบบต่างๆ สามารถขับมอเตอร์ได้หลายรูปแบบ ดังนี้



รูปที่2.6วงจร H-Bridge สำหรับขับมอเตอร์

1. เมื่อสวิทช์ A และD “On” ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา
2. เมื่อสวิทช์ B และ C “On” ทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา
3. เมื่อสวิทช์ A และB “On” ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน
4. เมื่อสวิทช์ทุกตัว “On” ทำให้มอเตอร์หมุนอย่างอิสระ
5. สุดท้าย เมื่อให้สวิทช์ A และ C หรือสวิทช์B และ D “On” พร้อมกัน จะทำให้ลัดวงจรทั้งหมด จึงต้องหลีกเลี่ยงการใช้งานในรูปแบบนี้

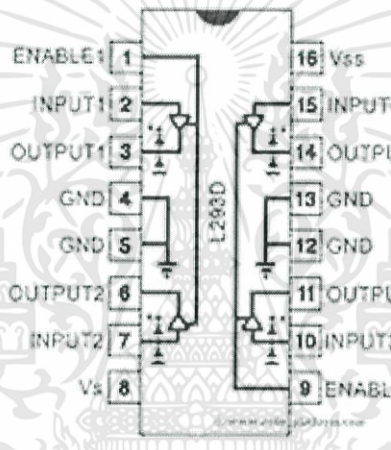
สร้างวงจร H-Bridge ได้จากรีเลย์ MOSFETS, BJT และอื่นๆ แต่หากไม่ต้องการใช้กระแสสูง หรือต้องการขับ DC มอเตอร์ขนาดเล็ก ในสองทิศทาง สามารถนำ L293D IC ซึ่งเป็น IC ขับมอเตอร์มาใช้ได้

โดยทั่วไปแล้ว IC L293D นั้นมาในรูป 16 ขา สามารถขับมอเตอร์ได้สองตัวในสองทิศทาง คือเดินหน้าและถอยหลัง โดยใช้ขาไมโครคอนโทรลเลอร์เพียง 4 ขาเท่านั้น คุณสมบัติทั่วไปของ L293D มีดังต่อไปนี้

1. จำกัดกระแสเอาท์พุทไว้ที่ 600 mA ต่อช่อง และกระแสเอาท์พุทสูงสุดคือ 1.2A
2. ระดับแรงดันแหล่งจ่ายไฟสูงถึง 36 โวลต์ จึงไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการรักษาระดับแรงดัน
3. L293D มีขา enable ที่ช่วยให้เรา enable ขาเอาท์พุท IC นี้ได้ เมื่อตั้งค่าขา enable เป็น “High” ทำให้สถานะของอินพุทเหมือนกับสถานะเอาท์พุท หากตั้งค่าสถานะที่ขานี้เป็น “low” สถานะเอาท์พุทจะไม่ส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. มีส่วนป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน ในตัว IC เอง หมายความว่าเซ็นเซอร์ภายในจะตรวจจับอุณหภูมิ และหยุดการขับมอเตอร์หากอุณหภูมิสูงเกินที่กำหนดไว้
5. รูปแบบอื่นของ L293D ที่สำคัญคือ clamp diodes ภายใน ที่ช่วยป้องกัน IC นี้จากการกระเพื่อมของแรงดัน ที่เกิดขึ้นเมื่อขดลวดของมอเตอร์ได้รับการจ่ายและหยุดจ่ายไฟ
6. ค่าลอจิก “low” ในตัว IC คือ 1.5 โวลต์ หมายความว่าขานี้จะถูกตั้งค่าเป็น “high” เมื่อแรงดันตกคร่อมขานี้คือ 1.5 โวลต์เท่านั้น ซึ่งเหมาะสมเพื่อนำมาใช้งานความถี่สูง เช่นสวิทชิง(สูงถึง 5 kHz)
7. วงจรรวมนี้ไม่เพียงขับ DC มอเตอร์เท่านั้น แต่ยังนำมาขับโซลีนอยด์ของรีเลย์ stepper มอเตอร์ และอื่นๆ ได้ด้วย



รูปที่2.7IC L293D

2.2.2 การต่อL293D

วงจรด้านล่าง คือการนำ L293D มาใช้กันทั่วไป โดยขา IC แต่ละขามีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ขา 1 และ 9 คือขา “Enable” ควรต่อเข้ากับไฟ +5 โวลต์ เพื่อทำหน้าที่ขับ หากมีสภาวะเป็น “low” เอาท์พุทจะไม่ปล่อยสัญญาณออกมา ไม่ว่าอินพุทจะเป็นอะไรก็ตาม ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน
2. ขา 4, 5, 12, และ 13 คือขากราวด์ ซึ่งควรจะต่อเข้ากับกราวด์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ขา 2, 7, 10 และ 13 คือขาอินพุทลอจิก หรือขาควบคุม ซึ่งควรต่อเข้ากับขาไมโครคอนโทรลเลอร์ ขา 2 และขา 7 นั้นควบคุมมอเตอร์ตัวแรก(ซ้าย) และขา 10 และ 15 ควบคุมมอเตอร์ตัวที่สอง(ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขา 3, 6, 11 และขา 14 คือขาเอาท์พุท ขา 3 และ 6 เข้ากับมอเตอร์แรก ส่วนขา 11 และ 14 เข้ากับมอเตอร์ตัวที่สอง
5. ขา 16 จ่ายไฟเลี้ยงให้ IC และควรต่อเข้ากับแรงดันไฟคงที่ +5 โวลต์
6. ขา 8 จ่ายไฟเลี้ยงให้แก่มอเตอร์สองตัว และควรต่อเข้ากับขาบวกของแบตเตอรี่ที่สอง

2.2.3 ระดับแรงดันใช้งาน

Vccคือแรงดันที่ต้องใช้ขับการทำงานของ IC L293D มีค่าเป็น 5 โวลต์ อย่างไรก็ตาม L293D ไม่ได้ใช้ค่าแรงดันนี้ในการขับมอเตอร์ แต่ต้องใช้แรงดัน VSS อีกส่วนในการขับมอเตอร์ นั้นหมายความว่าหากต้องการขับมอเตอร์ขนาด 9 โวลต์ ต้องจ่ายไฟ 9 โวลต์ให้แก่แหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ VSS ด้วย

แรงดันสูงสุดสำหรับแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์ VSS คือ 36 โวลต์ และให้กระแสสูงสุด 600 mA ต่อช่อง เนื่องจากสามารถขับมอเตอร์ได้ถึง 36 โวลต์ จึงสามารถนำ L293D มาขับมอเตอร์ขนาดใหญ่ได้

ขา 16 หรือขา VCC นั้นคือขาแรงดันสำหรับการใช้งานภายใน แรงดันสูงสุดนี้อยู่ในช่วง 5 โวลต์ ถึง 36 โวลต์

2.2.4 ตารางความจริง

หากต้องการควบคุมมอเตอร์ด้านซ้าย ที่ต่อเข้ากับขา 3(O1) และขา 6 (O2) ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เราต้องใช้ขาทั้ง 3 นี้ควบคุมมอเตอร์ คือ ขา 1(E1), ขา 2(I1) และขา 7(I2) ด้านล่างคือตารางความจริงที่แสดงการทำงานของ IC ขับมอเตอร์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1ตารางความจริงสำหรับ IC ขับมอเตอร์ L293D

ขา 1	ขา 2	ขา 3	หน้าที่
High	High	Low	หมุนทวนเข็มนาฬิกา
High	Low	High	หมุนตามเข็มนาฬิกา
High	High	High	หยุดมอเตอร์
High	Low	Low	หยุดมอเตอร์
Low	X	X	หยุดมอเตอร์

หมายเหตุ: High ประมาณ + 5 โวลต์, Low ประมาณ 0 โวลต์, X = High หรือ Low(don't care)

จากตารางความจริง จะเห็นได้ว่าหากขา 1(E1) มีสภาวะเป็น "low" มอเตอร์จะหยุดหมุนไม่ขึ้นกับสภาวะของขา 2 และขา 7 ดังนั้นจำเป็นที่ต้องทำให้ E1 มีสภาวะเป็น "high" เพื่อให้วงจรขับนี้ทำหน้าที่ หรือต่อขา enable เข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์

เมื่อขา 1 "high" หากขา 2 มีสภาวะเป็น high และขา 7 มีสภาวะเป็น "low" กระแสที่ไหลจากขา 2 ไปยังขา 7 จะขับมอเตอร์ในทิศทวนเข็มนาฬิกา และหากสถานะของขา 2 และขา 7 กลับทิศ กระแสจะไหลจากขา 7 ไปยังขา 2 และขับมอเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกา

หลักการข้างต้นเป็นจริงสำหรับอีกด้านของ IC ด้วย ต่อมอเตอร์เข้ากับขา 11 และขา 14 ส่วนขา 10 และขา 15 คือขาอินพุท และขา 9(E2) นั้น enables วงจรขับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 DCมอเตอร์

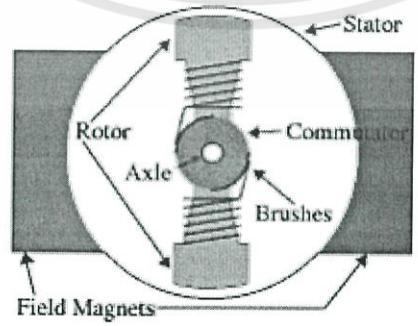
DC มอเตอร์นั้นมีด้วยกันหลายชนิด และหลายขนาด ตัวมอเตอร์นั้นประกอบด้วยrotor และ stator สนามแม่เหล็กถาวร รักษาสนามแม่เหล็กไว้ โดยใช้ทั้งแม่เหล็กถาวร หรือขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า DC มอเตอร์นั้นนิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับความเร็วและทอร์คที่แตกต่างกันไป

การเคลื่อนที่และการควบคุมนั้นครอบคลุมอุปกรณ์หลายรูปแบบ ที่นำมาใช้เพื่อทำให้เกิดและควบคุมการเคลื่อนที่ อันได้แก่ ลูกปืน bushings คลัทช์ และเบรก ควบคุม และขับ อุปกรณ์สำหรับขับ ตัวเข้ารหัส และถอดรหัส การควบคุมการควบคุมรวม สวิทช์จำกัด actuators เชิงเส้น อุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนที่แบบโรตารีและแบบเชิงเส้น เซนเซอร์ตำแหน่งเชิงเส้น มอเตอร์(ทั้ง AC และ DC มอเตอร์) เซนเซอร์ทิศทางตำแหน่ง อุปกรณ์ในส่วน pneumatics และ pneumatic สถานะตำแหน่ง สไลด์และไกด์ power transmission(กลศาสตร์) seals slip rings, solenoids สปริง

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความเร็วและทอร์คที่แน่นอนในการขับระบบ กลุ่มของมอเตอร์ได้แก่ ชนิด AC(มอเตอร์เฟสเดี่ยวและหลายเฟส, universal, เซอร์โว มอเตอร์ induction synchronous และ gear มอเตอร์) และ DC มอเตอร์(brush less, servo motor และ gear motor) เช่นเดียวกับ linear stepper และ air motors และ motor contactors และ starters

สำหรับมอเตอร์ทางไฟฟ้าใดๆ การทำงานนั้นมีพื้นฐานบนแม่เหล็กไฟฟ้อย่างง่าย ตัวนำกระแสจะสร้างสนามแม่เหล็ก และเมื่อนำมาไว้ในสนามแม่เหล็กภายนอก จะได้รับแรงกระทำที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณกระแสในตัวนำนี้ และขนาดของสนามแม่เหล็กภายนอกนี้ ขั้วแม่เหล็กตรงข้ามจะดูดกันและขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันผลักกัน รูปแบบภายในของ DC มอเตอร์นั้นได้รับการออกแบบให้รองรับอันตรกริยาแม่เหล็กระหว่างตัวนำนำกระแสและสนามแม่เหล็กภายนอกที่ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์

พิจารณามอเตอร์ไฟฟ้า DC ชนิด 2 ขั้วอย่างง่าย(สีแดงแสดงแม่เหล็กหรือขดลวด โดยมีขั้วแม่เหล็กเป็นขั้ว “เหนือ’ ขณะที่สีเขียวแทนแม่เหล็กหรือขดลวดที่มีขั้วแม่เหล็กเป็นขั้ว “ใต้”)



รูปที่2.8DC มอเตอร์พร้อมส่วนประกอบภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC มอเตอร์นั้นมีส่วนพื้นฐานด้วยกัน 6 ส่วน อันได้แก่ แกน โรเตอร์สเตเตอร์ คอมมิวเตเตอร์ แม่เหล็กสนาม และ brushes สำหรับ DC มอเตอร์ทั่วไป สนามแม่เหล็กภายนอกนั้นเกิดจากแม่เหล็กถาวรความเข้มสูง สเตอเตอร์นั้นเป็นส่วนของมอเตอร์ที่ไม่เคลื่อนที่ รวมถึง ตัวถังมอเตอร์ เช่นเดียวกับส่วนของแม่เหล็กถาวร โรเตอร์(รวมถึงแกนและคอมมิวเตเตอร์ที่ต่อเข้าด้วยกัน) หมุนตามสเตเตอร์ โรเตอร์นี้ประกอบด้วยขดลวด(มักเป็นแกน) ส่วนนี้จะต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ในรูปแบบทางไฟฟ้า แผนผังข้างต้นแสดงให้เห็นรูปแบบมอเตอร์ทั่วไป โดยมีโรเตอร์อยู่ภายในแม่เหล็กสเตเตอร์

การวางตัวของ brushes ผิวสัมผัสคอมมิวเตเตอร์ และ rotor windings นั้นอยู่ในรูปแบบที่เมื่อจ่ายกำลังไฟเข้ามา ขั้วของขดลวดที่ได้รับพลังงานแถะแม่เหล็กสเตเตอร์นั้นจะไม่ซ้อนกัน แถะโรเตอรีจะหมุนจนกระทั่งเกือบซ้อนกับกับสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ เมื่อโรเตอร์ซ้อนทับกัน brushes จะเคลื่อนที่ไปยังผิวสัมผัสของคอมมิวเตเตอร์ และให้พลังงานแก่ winding ต่อไป จากคำอธิบายข้างต้นมอเตอร์ชนิดสองขั้ว การหมุนจะกลับทิศของกระแสผ่าน rotor winding ทำให้เกิดการ “กลับ” สนามแม่เหล็กของโรเตอร์ และทำให้มอเตอร์นี้หมุนต่อไป

สำหรับ DC มอเตอร์แล้ว มักจะประกอบด้วย 2 ขั้วเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยง “จุดบอด” ในคอมมิวเตเตอร์ หากโรเตอร์นี้อยู่ที่ตำแหน่งกลางของการหมุน(ซ้อนกับสนามแม่เหล็กอย่างสมบูรณ์) จะ “ติด” อยู่ที่นั่น ขณะเดียวกันมอเตอร์ชนิดสองขั้ว จะมีชั่วขณะที่คอมมิวเตเตอร์ขนาดไฟเลี้ยง(เช่น brushes ทั้งสองจะสัมผัสทั้งผิวคอมมิวเตเตอร์ทันที) ทำให้เป็นสิ่งที่แย่สำหรับแหล่งจ่าย คือสูญเสียพลังงาน และทำให้ส่วนของมอเตอร์เสียหายได้ ข้อเสียอีกอย่างสำหรับมอเตอร์อย่างง่ายนี้คือจะให้ “ripple” ทอร์คสูง(ทอร์คปริมาณนี้ที่เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่าในโรเตอร์)

รูปที่2.9รูปแบบการหมุนของ DC มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

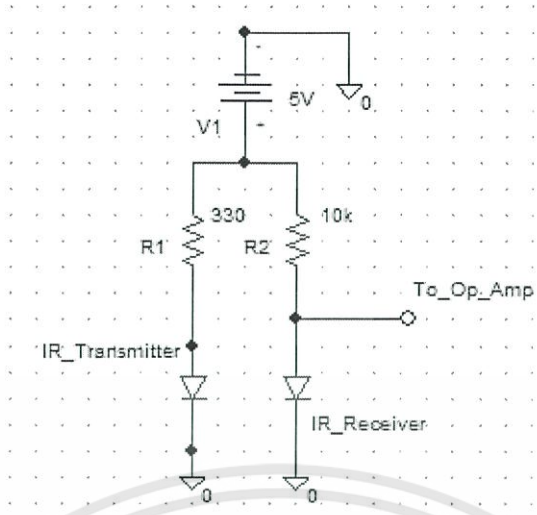
การออกแบบวงจร

3.1 เซ็นเซอร์

เลือก IR เซ็นเซอร์ชนิด Photodiode เพื่อรับและส่ง 4 ชุด เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและสามารถทำการตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ไปทางใด หรือจะติดตาม/หลบหลีกสิ่งกีดขวางนี้ได้อย่างไร เซ็นเซอร์ IR นี้ทำงานโดยอาศัยหลักการสะท้อน เมื่อลำแลง Infra-red ถูกส่งไปยังวัตถุ จะสะท้อนกลับจากวัตถุนั้น ทำให้เราสามารถบอกตำแหน่งของสิ่งกีดขวางได้ นี้ได้

รูปที่3.1หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.2วงจรIR

สำหรับวงจร จะเห็นได้ว่าให้แรงดันเอาท์พุทสูง เมื่อมีแสงอินฟราเรดความเข้มต่ำตกกระทบในส่วนของการส่งแสง IR ใช้ IR LED ที่ใช้งานด้านไบอัสตรง และ ณ จุดรับแสง IR ใช้ตัวรับ IR เพื่อรับแสง IR และเปลี่ยนระดับแรงดัน analog ให้สอดคล้องตามความเข้มแสง IR mมาตกกระทบ

จากเซนเซอร์ IR จะได้ข้อมูล analog ซึ่งต้องเปลี่ยนข้อมูลนี้ให้อยู่ในรูป digital หรือเมื่อเห็นวัตถุข้างหน้า แทนที่จะส่งสัญญาณแรงดัน 0 หรือ 4 V กลับมา ควรแสดงข้อมูลในรูปของแรงดันสูง หรือต่ำ เนื่องจากเรารู้ว่า ระดับแรงดันสูง = 1 และ ระดับแรงดันต่ำ = 0

3.1.1 การกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่

สำหรับรูปแบบการเคลื่อนที่เพื่อหลบสิ่งกีดขวาง หากเซ็นเซอร์ตัวใดรับสัญญาณอินฟราเรดที่สะท้อนกลับมาได้จะทำให้สภาวะทางดิจิตอลลอจิกมีค่าเป็น “1” หรือ “High” และเซ็นเซอร์ที่ไม่ได้รับสัญญาณอินฟราเรดจะมีสภาวะทางดิจิตอลเป็น “0” หรือ “low” ตัวอย่างเช่น Data bit ที่ได้จากเซ็นเซอร์เรียงจากซ้ายไปขวา เมื่อมองจากด้านหลังไปด้านหน้าเป็น 0001 หุ่นยนต์ต้องเดินหน้าไปทางด้านซ้าย รูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามสัญญาณเซ็นเซอร์ที่รับได้จึงเป็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวซ้าย

เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์				
หมายเลขเซ็นเซอร์	1	2	3	4
ผล	เลี้ยวซ้าย			
Data Bit	0	0	0	1

เลี้ยวซ้าย

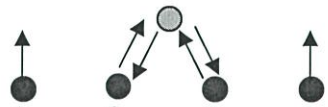
เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์				
หมายเลขเซ็นเซอร์	1	2	3	4
ผล	เลี้ยวซ้าย			
Data Bit	0	0	1	1

เลี้ยวซ้าย

เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์				
หมายเลขเซ็นเซอร์	1	2	3	4
ผล	เลี้ยวซ้าย			
Data Bit	0	0	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

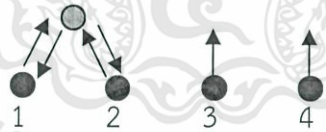
เลี้ยวซ้าย

	ตำแหน่งสิ่งกั้นขวาง
เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์	
หมายเลขเซ็นเซอร์	1 2 3 4
ผล	เลี้ยวซ้าย
Data Bit	0 1 1 0

เลี้ยวขวา

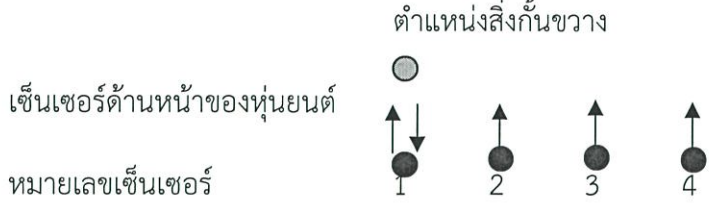
	ตำแหน่งสิ่งกั้นขวาง
เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์	
หมายเลขเซ็นเซอร์	1 2 3 4
ผล	เลี้ยวขวา
Data Bit	0 1 0 0

เลี้ยวขวา

	ตำแหน่งสิ่งกั้นขวาง
เซ็นเซอร์ด้านหน้าของหุ่นยนต์	
หมายเลขเซ็นเซอร์	1 2 3 4
ผล	เลี้ยวขวา
Data Bit	1 1 0 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวขวา



ผล	เลี้ยวขวา			
Data Bit	1	0	0	0

เดินหน้า

ผล	เดินหน้า			
Data Bit	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.1ตารางดิจิตอลลอจิก สำหรับเอาท์พุทจากเซนเซอร์ทั้ง 4 และรูปแบบการเคลื่อนที่

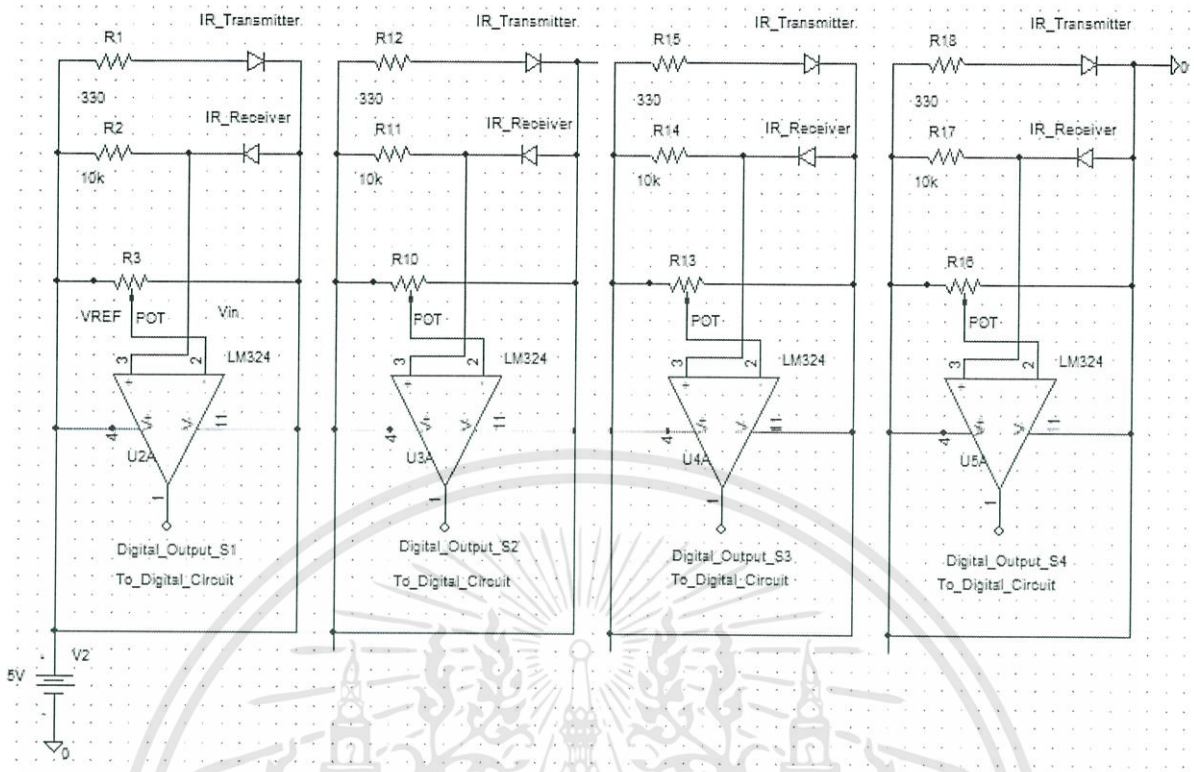
ตำแหน่งสิ่งกั้นขวางด้านหน้า 0 1 2 3 4 5 6 7 8

ตำแหน่ง(หมายเลข)เซ็นเซอร์ 1 2 3 4

สภาวะดิจิตอลโลจิก	เซ็นเซอร์				รูปแบบการเคลื่อนที่
	1	2	3	4	
1	0	0	0	0	เดินหน้า
2	0	0	0	1	เลี้ยวซ้าย
3	0	0	1	0	เลี้ยวซ้าย
4	0	0	1	1	เลี้ยวซ้าย
5	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
6	0	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
7	0	1	1	0	เลี้ยวซ้าย
8	0	1	1	1	เลี้ยวซ้าย
9	1	0	0	0	เลี้ยวขวา
10	1	0	0	1	เลี้ยวซ้าย
11	1	0	1	0	เลี้ยวซ้าย
12	1	0	1	1	เลี้ยวซ้าย
13	1	1	0	0	เลี้ยวขวา
14	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
15	1	1	1	0	เลี้ยวขวา
16	1	1	1	1	เลี้ยวซ้าย

หมายเหตุ: เมื่อพบสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า จากตารางข้างต้น สำหรับสภาวะดิจิตอลลอจิกที่ 7, 10, 11, 12, 14 และ 16 หุ่นยนต์จะหลบสิ่งกีดขวาง ซึ่งอาจจะเลี้ยวซ้ายหรือขวาก็ได้ ในที่นี้กำหนดให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย และเมื่อไม่ได้รับสัญญาณสิ่งกีดขวางจะเดินหน้าต่อ หรือสภาวะดิจิตอลดิจิตอลลอจิกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.3วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(comparator) สำหรับเซ็นเซอร์อินฟราเรดทั้ง 4

3.2 วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทมีสภาวะเป็น “0” และ “1”

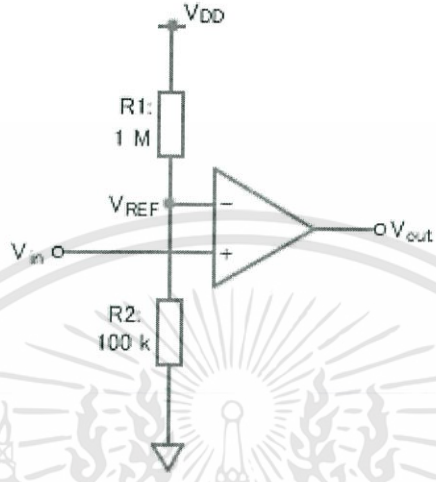
วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันหรือวงจร Comparator นั้นเปรียบเทียบระดับแรงดันสองแรงดันและให้เอาท์พุทเป็น “1”(แรงดันทางด้านบวก หรือ VDD ตามรูปด้านล่าง) หรือ “0” (แรงดันทางด้านลบ) เพื่อแสดงให้เห็นว่าแรงดันใดสูงกว่า มักใช้วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน เพื่อตรวจสอบว่าแรงดันอินพุทนั้นถึงค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ในกรณีทั่วไป จะใช้วงจรในตัว IC เพื่อทำหน้าที่นี้ แต่สามารถใช้ Op-amps ได้เช่นกัน

รูปด้านล่างแสดงวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน วงจรจะขยายระดับความแตกต่างระดับแรงดัน Vin และ VREF และให้เอาท์พุทที่ขา Voutหากระดับแรงดัน Vin สูงกว่า VREF แรงดันที่ Voutจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าระดับอิ่มตัวที่เป็นบวก นั่นคือถึงค่าระดับแรงดันทางด้านบวก ขณะเดียวกัน หากระดับแรงดัน Vin ต่ำกว่าค่าระดับแรงดัน VREF ขา Voutจะลดลงจนถึงระดับอิ่มตัวทางด้านลบ มีค่าเท่ากับระดับแรงดันทางด้านลบ

หรืออีกนัยหนึ่ง สัญญาณเอาท์พุท “high” หรือ “1” นั้นเกิดขึ้นเมื่อเอาท์พุทนั้นได้จากวงจรเปิด(ไม่มีกระแสไหลเข้าหรือออก) และสัญญาณเอาท์พุท “low” หรือ “0” (เกิดการลัดวงจรเข้ากับขากราวด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกล่าวได้เช่นกันว่าเอาท์พุทนั้นก็คือสวิทช์ที่ต่อกับกราวด์ สำหรับเอาท์พุท “low” สวิทช์นี้จะปิด(ต่อเข้ากับกราวด์) และสำหรับเอาท์พุท “high” สวิทช์นี้จะเปิด

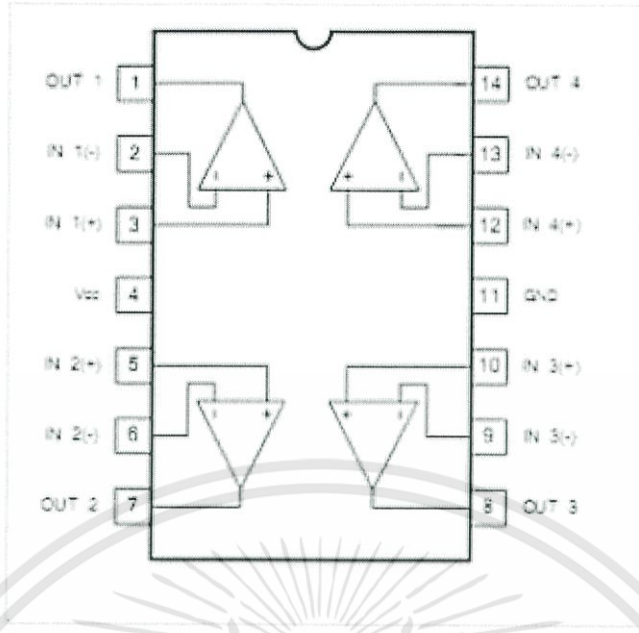


รูปที่ 3.4วงจร Comparator

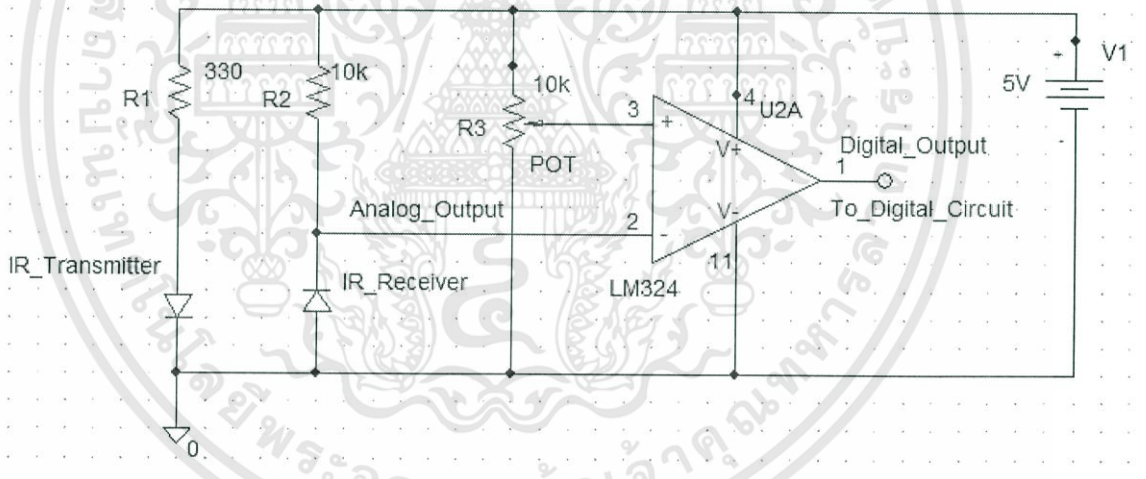
ตารางที่3.2 ข้อมูลสำหรับ Comparator

Case	Action
+Ve> -Ve	+Vsat
+Ve< -Ve	-Vast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.5 Comparator IC LM324



รูปที่3.6IR เซ็นเซอร์พร้อมวงจร comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรดิจิตอลลอจิกเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์

ตารางที่ 3.3ตารางลอจิก สำหรับเอาท์พุทจากเซนเซอร์ทั้ง 4 และรูปแบบการเคลื่อนที่

ตำแหน่งสิ่งกั้นขวางด้านหน้า 0 1 2 3 4 5 6 7 8

ตำแหน่ง(หมายเลข)เซ็นเซอร์ 1 2 3 4

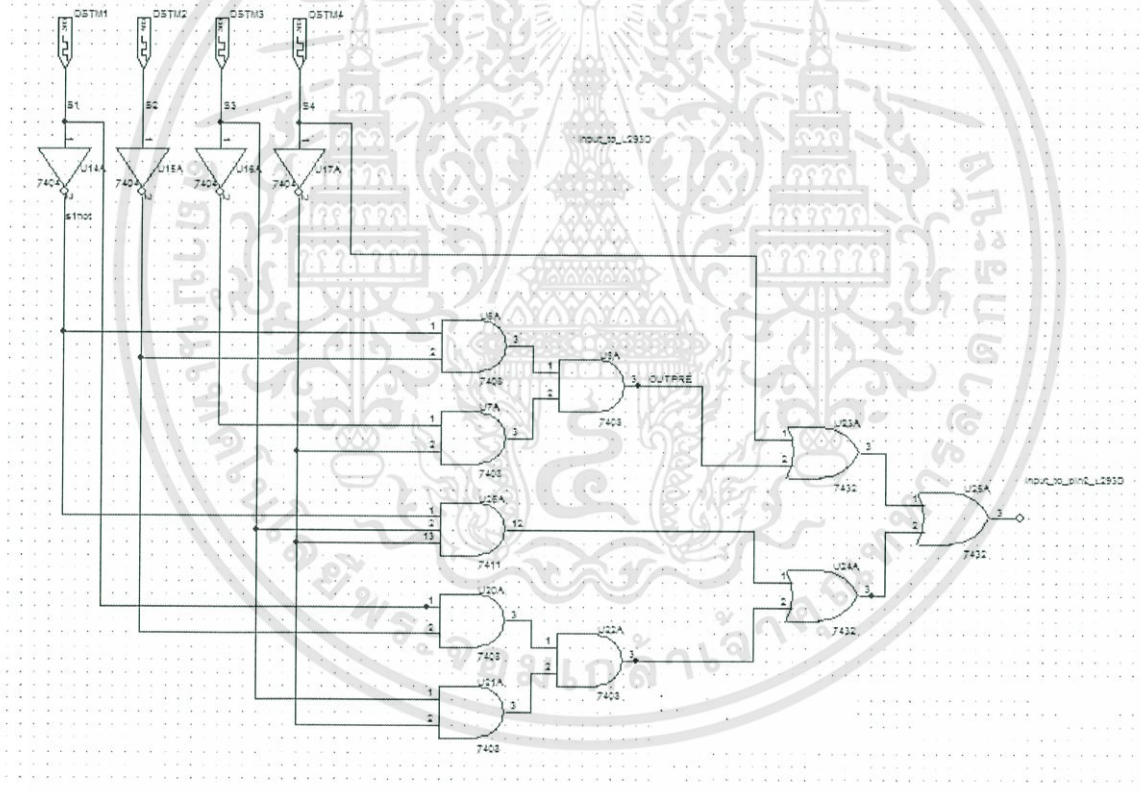
สภาวะดิจิตอลโลกจิก	เซ็นเซอร์(อินพุท)				เอาท์พุท(เข้าที่ขา) IC 293D				รูปแบบการเคลื่อนที่
	1	2	3	4	2	7	15	10	
1	0	0	0	0	1	0	0	1	เดินหน้า
2	0	0	0	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
3	0	0	1	0	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
4	0	0	1	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
5	0	1	0	0	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
6	0	1	0	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
7	0	1	1	0	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
8	0	1	1	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
9	1	0	0	0	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
10	1	0	0	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
11	1	0	1	0	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
12	1	0	1	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
13	1	1	0	0	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
14	1	1	0	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
15	1	1	1	0	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
16	1	1	1	1	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 2

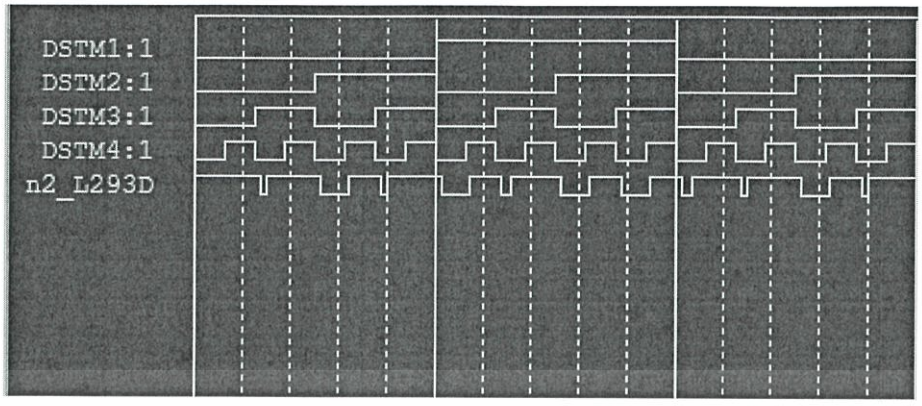
34 / 12	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	0	1	1	1
11	0	1	1	0
10	0	1	1	1

Input ขา 2 ของ L293D = 4 + 1’2’3’4’ + 1’34’ + 12’34’



รูปที่3.7วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท “2” ของ L293D IC ขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



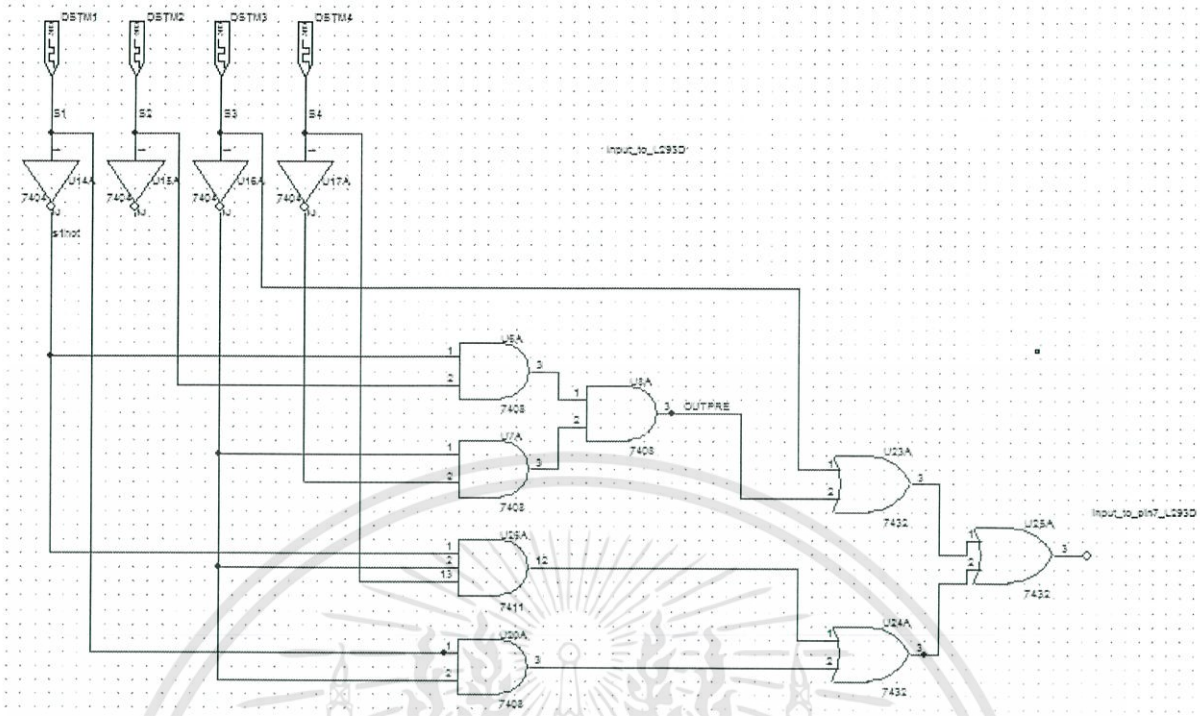
รูปที่ 3.8กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท “2” ของ L293D IC ขับมอเตอร์

ตารางที่3.5Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 7

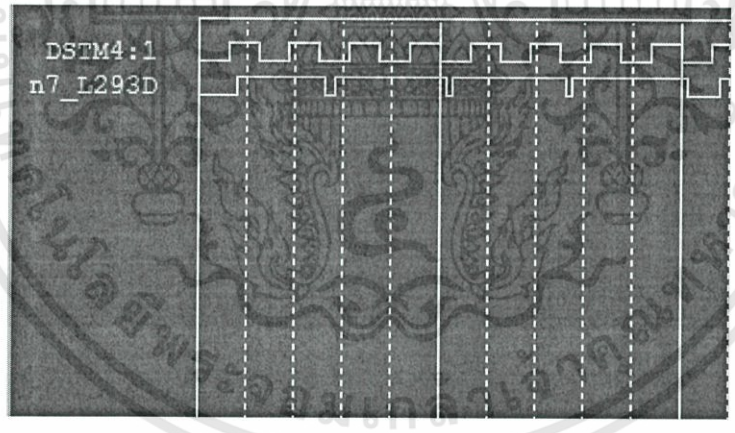
34 / 12	00	01	11	10
00	0	1	1	1
01	1	1	1	1
11	1	1	1	1
10	1	1	1	1

Input ขา 7 ของ L293D = 1’23’4’ + 1’3’4 + 13’ + 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.9วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท “7” ของ L293D IC ขับมอเตอร์



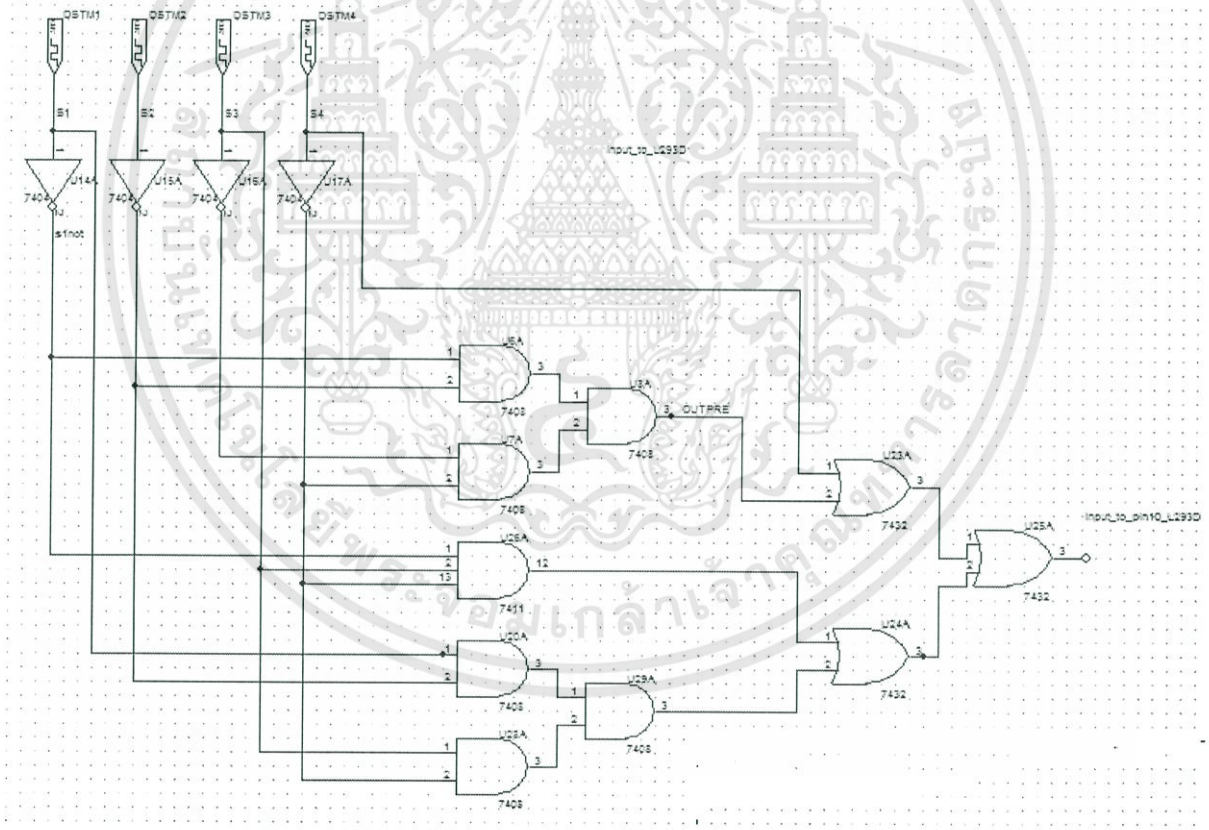
รูปที่3.10กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท“7”ของ L293D IC ขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.6Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 10

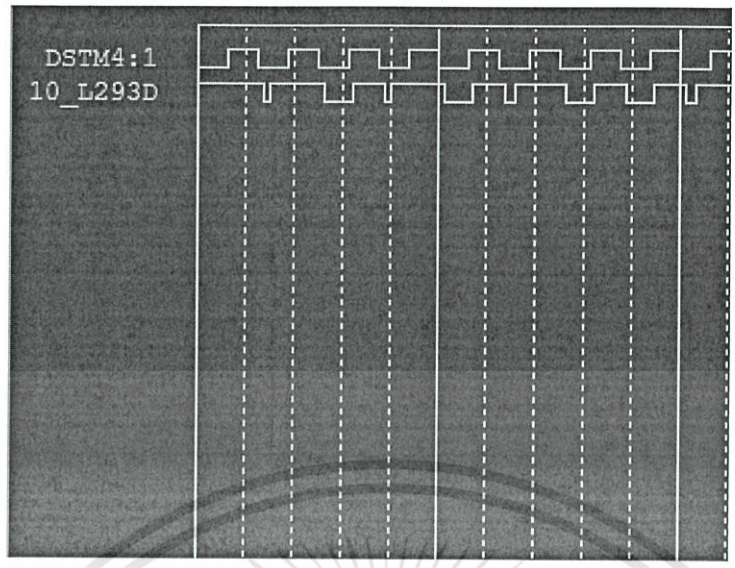
34 / 12	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	0	1	1	1
11	0	1	1	0
10	0	1	1	1

Input ขา 10 ของL293D = 1’2’3’4’ + 4 + 1’34’ + 12’34’



รูปที่3.11วงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท “10” ของ L293D IC ขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.12กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับขาอินพุท “10” ของ L293D IC ขับมอเตอร์

ตารางที่ 3.7Karnaugh map สำหรับอินพุท IC293D ขา 15

34 / 12	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	0	0	0	0
10	0	0	0	0

Input ขา 15 ของL293D = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรขับมอเตอร์L293D

การทำงานของ IC ขับมอเตอร์ L293D

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

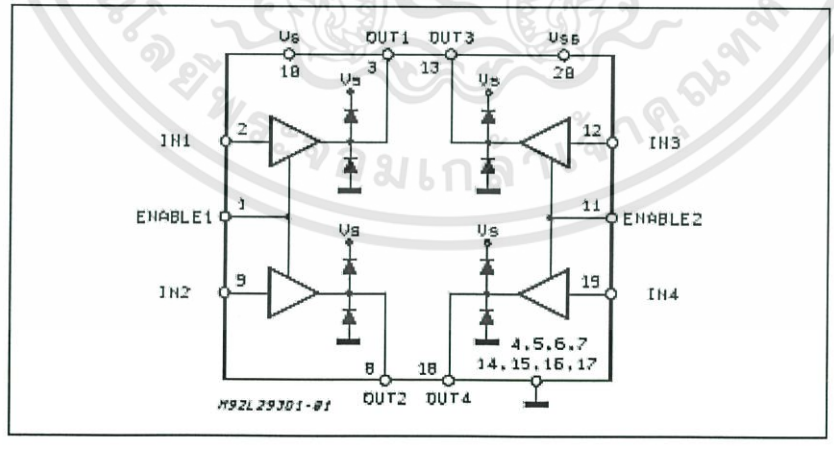
3.4.1 คุณสมบัติ

- ให้กระแสเอาท์พุท 600 mA ต่อช่อง
- ให้กระแสเอาท์พุทสูงสุด 1.2A ต่อช่อง
- ป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน
- รับแรงดันอินพุทในรูปแบบโลจิก “0” ไปจนถึง 1.5V

3.4.2 รายละเอียด

คืออุปกรณ์ขับกระแสสูงและแรงดันสูง 4 ช่อง แบบ monolithic ที่ได้รับการออกแบบเพื่อรับระดับลอจิก DTL หรือ TTL มาตรฐาน และขับโหลดแบบเหนี่ยวนำ(เช่นรีเลย์ชนิดโซลีนอยด์ มอเตอร์ชนิด stepping และ DC รวมถึงทรานซิสเตอร์สวิทช์กำลัง

แผนผังการเชื่อมต่อ



รูปที่3.13แผนผังการเชื่อมต่อขา L293D

L293D คือ IC ขับมอเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป ให้มอเตอร์ DC หมุนได้ 2 ทิศทาง L293D นั้นเป็น IC ชนิด 16 ขาที่สามารถควบคุมมอเตอร์ DC ได้ 2 ตัวพร้อมกัน และในทิศทางใดๆ ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 รายละเอียดการทำงาน

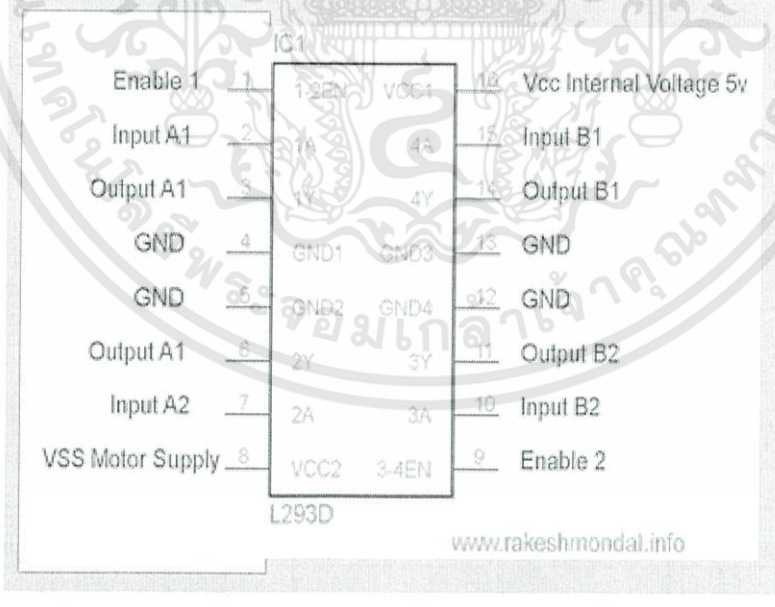
ขับมอเตอร์โดยใช้หลักการของวงจร H-Bridge ซึ่งเป็นวงจรที่ให้แรงดันไฟไหลได้ 2 ทิศทาง โดยการเปลี่ยนขั้วทางไฟฟ้า เพื่อสามารถหมุนมอเตอร์ในทิศตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกาได้

L293D นี้มีวงจร H-Bridge ด้วยกัน 2 วงจร ที่แยกทำงานกันเพื่อขับมอเตอร์ DC ได้อย่างอิสระ เนื่องจาก IC นี้มีขนาดเล็ก จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้งานด้านหุ่นยนต์ รูปด้านล่างแสดงการต่อขา L293D เพื่อนมาควบคุมมอเตอร์

ขา Enable 2 ขา ได้แก่ขา 1 และขา 9 เพื่อที่จะให้มอเตอร์หมุน ขา 1 และขา 9 นี้ต้องมีสภาวะ “High” เมื่อจะขับมอเตอร์ด้วยวงจร H-Bridge ทางด้านซ้าย ต้องทำให้ขา 1 มีสภาวะเป็น “High” เช่นเดียวกัน เมื่อจะขับมอเตอร์ด้วยวงจร H-Bridge ด้านขวา ต้องทำให้ขา 9 มีสภาวะเป็น “High” และหากขา 1 และขา 9 มีสภาวะเป็น “low” มอเตอร์จะหยุดหมุน ในส่วนนี้จึงทำหน้าที่เป็นสวิทช์

การทำให้ขา 1 และขา 9 มีสภาวะเป็น “High” เพียงต่อขาทั้งสองเข้ากับไฟ 5 โวลต์

3.4.4 แผนผังขาL293D



รูปที่3.14แผนผังขา L293D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทำงานของL293D

มีขาอินพุทสำหรับ L293D จำนวน 4 ขาด้วยกัน ขา 2,7 ทางด้านซ้าย และขา 15, 10 ทางด้านขวาดังรูปข้างต้น ขาอินพุททางด้านซ้ายจะรักษาทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับอินพุททางด้านซ้าย และทางด้านขวาสำหรับมอเตอร์ทางด้านขวา และมอเตอร์จะหมุนตามอินพุทที่ให้กับขาอินพุท แล้วแต่สภาวะลอจิกว่าเป็น 0 หรือ 1

3.4.6ลอจิกสำหรับL293D

สำหรับมอเตอร์ที่ต่อเข้ากับขาเอาท์พุททางด้านซ้าย(ขา 3,6) หากต้องการหมุนมอเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกา ต้องให้ขาอินพุทมีสภาวะลอจิกเป็น 1 และ 0

ตารางที่3.8ตารางลอจิก L293D และการหมุนของมอเตอร์

สภาวะลอจิก	ขา		การหมุนของมอเตอร์
	2	7	
	1	0	ตามเข็มนาฬิกา
	0	1	ทวนเข็มนาฬิกา
	0	0	หยุดหมุน
	1	1	หยุดหมุน

เช่นเดียวกัน สามารถควบคุมมอเตอร์อีกตัวได้ โดยใช้ขาอินพุท 10 และ 15 สำหรับมอเตอร์ทางด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.9 ตารางลอจิก L293D สำหรับอินพุททั้ง 4 และการหมุนของมอเตอร์ 2 ตัว

สภาวะดิจิตอลลอจิก	ขา				การหมุนของมอเตอร์		การเคลื่อนที่
	2	7	15	10	มอเตอร์1	มอเตอร์2	
1	0	0	0	0	ตามเข็ม	ทวนเข็ม	เดินหน้า
2	0	0	0	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
3	0	0	1	0	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
4	0	0	1	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
5	0	1	0	0	ตามเข็ม	หยุดหมุน	เลี้ยวขวา
6	0	1	0	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
7	0	1	1	0	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
8	0	1	1	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
9	1	0	0	0	ตามเข็ม	หยุดหมุน	เลี้ยวขวา
10	1	0	0	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
11	1	0	1	0	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
12	1	0	1	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
13	1	1	0	0	ตามเข็ม	หยุดหมุน	เลี้ยวขวา
14	1	1	0	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย
15	1	1	1	0	ตามเข็ม	หยุดหมุน	เลี้ยวขวา
16	1	1	1	1	หยุดหมุน	ทวนเข็ม	เลี้ยวซ้าย

หมายเหตุ : 1. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดูจากตัวมอเตอร์เข้าหาล้อหุ่นยนต์

2. มอเตอร์ 1 คือมอเตอร์ทางด้านซ้ายของหุ่นยนต์

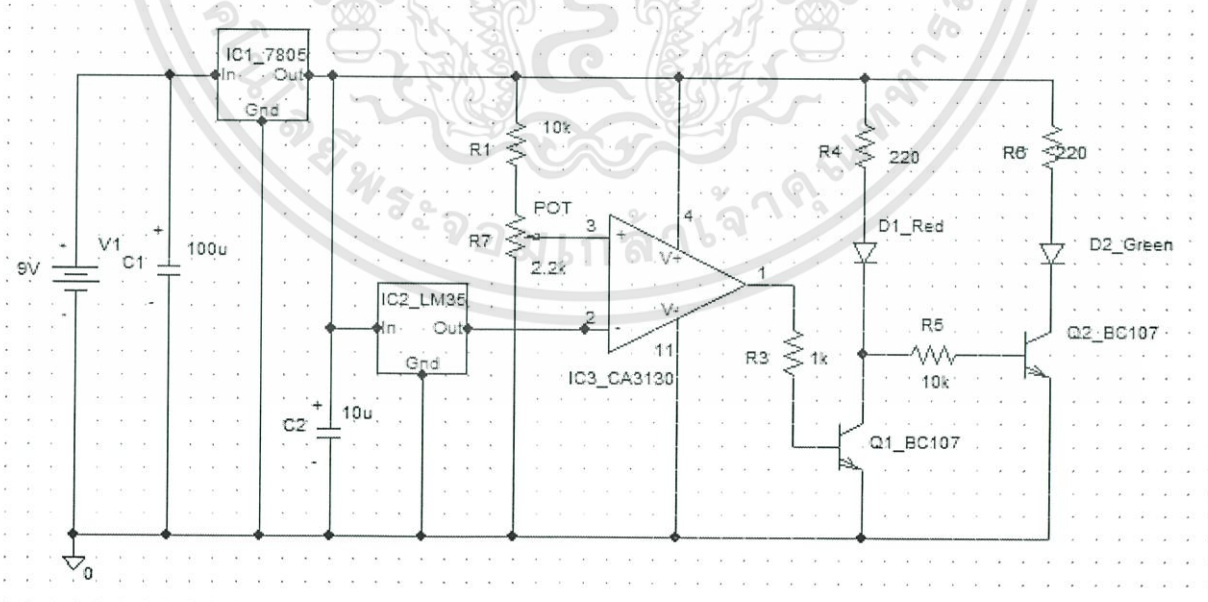
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ

ในส่วนนี้แสดงการออกแบบวงจรตรวจจับอุณหภูมิ แสดงผลโดย LED's ซึ่งบอกระดับของอุณหภูมิที่ตรวจจับได้

วงจรนี้ประกอบด้วย LED 2 ตัว(D1 และ D2) ที่จะติดหรือแสดงระดับอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ คือ หากอุณหภูมิเท่ากับหรือเกิน 80 องศาเซลเซียส LED D1 จะติด(สีแดง) และหากอุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศา LED D2 (สีเขียว จะติด)

วงจรนี้ใช้ IC LM35 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ เอาท์พุทของ LM35 จะเพิ่มขึ้น 10 mV ต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส เอาท์พุทที่ได้จาก LM35 จะต่อเข้ากับอินพุทของ non-inverting op-amps CA3130 เพื่อทำการขยายสัญญาณที่ได้ ส่วนอินพุทแบบ inverting ของ op-amps ตัวเดียวกันนี้สามารถทำได้โดยอาศัยแรงดันอ้างอิง โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ POT R2 หากระดับแรงดันอ้างอิงมีค่า 0.8 V แรงดันที่อินพุทของ inverting op-amp (เอาท์พุทของ LM35) จะมีค่าเป็น 0.8 V ด้วย เมื่ออุณหภูมิคือ 80 องศาเซลเซียส ณ จุดนี้ เอาท์พุทของ IC3 จะอยู่ในโหมดอิ่มตัวด้านบวก ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 "On" และ LED D1 จะติด เนื่องจากขาเบสของ Q2 ต่อเข้ากับขาคอลเลคเตอร์ของ Q1 ทรานซิสเตอร์ Q2 จะ "2 Off" และ LED D2 จะยังคงดับต่อไป แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส จะเกิดสภาวะ reverse ขึ้น ทำให้ IC1 สร้างแรงดันคงที่ 5 V DC จากแหล่งจ่ายไฟ 9 V ที่มีอยู่

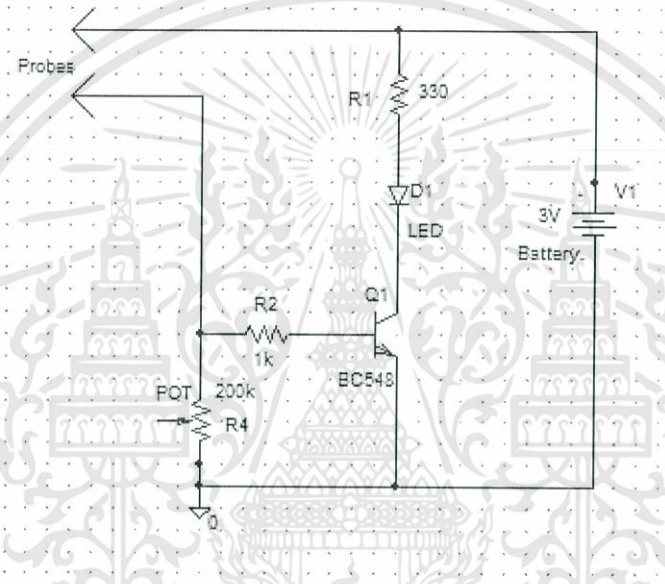


รูปที่3.15 วงจรตรวจจับอุณหภูมิอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6เซ็นเซอร์วัดความชื้น

เมื่อความชื้นในสารใดๆ หรือในอากาศเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะไหลในตัวกลางเหล่านี้ได้มากขึ้น จากวงจรด้านล่าง เมื่อมีความชื้นในตัวกลางมากพอ กระแสที่ไหลผ่าน R3 จะมากพอที่สร้างแรงดันตกคร่อม R2 หรือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 โวลต์ เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์ “On” และทำให้ LED ติด ตัวต้านทาน R1 คือตัวต้านทานจำกัดกระแสสำหรับ LED ซึ่ง R1 จะป้องกันไม่ให้ทรานซิสเตอร์เกิดการลัดวงจร เนื่องจากหัววัดความชื้น(probe) ลัดวงจร



รูปที่3.16วงจรตรวจวัดความชื้นในตัวกลาง

หัววัดความชื้น(probe) นี้ หุ่นยนต์ใช้ เข็มหมุด หรือวัสดุใดๆ ที่นำกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อต้องการทำการปรับวงจรให้มีความไวตามที่ต้องการ ให้เสียบหัววัดเข้าในตัวกลาง แล้วทำการปรับ R3 จนกระทั่ง LED สว่าง ซึ่ง LED นี้จะสว่างเมื่อความชื้นของตัวกลางที่จะวัดเท่ากับค่าระดับความชื้นนี้

หุ่นยนต์ใช้แบตเตอรี่ 3 โวลต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่วงจรนี้ได้ สำหรับทรานซิสเตอร์ Q1 จากวงจรข้างต้นหุ่นยนต์นำ NPN ทรานซิสเตอร์ BC107, BC148, 2N2222 มาใช้แทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

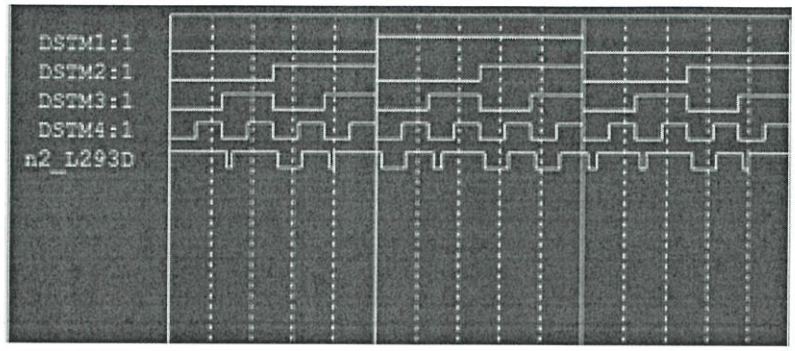
บทที่ 4

ผลการทดลอง

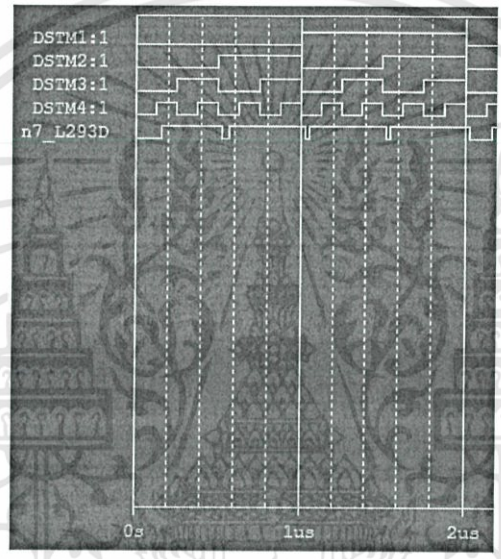
ตารางลอจิก สำหรับเอาท์พุทจากเซนเซอร์ทั้ง 4 และรูปแบบการเคลื่อนที่

สภาวะดิจิตอลโลจิก	เซ็นเซอร์				รูปแบบการเคลื่อนที่
	1	2	3	4	
1	0	0	0	0	เดินหน้า
2	0	0	0	1	เลี้ยวซ้าย
3	0	0	1	0	เลี้ยวซ้าย
4	0	0	1	1	เลี้ยวซ้าย
5	0	1	0	0	เลี้ยวขวา
6	0	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
7	0	1	1	0	เลี้ยวซ้าย
8	0	1	1	1	เลี้ยวซ้าย
9	1	0	0	0	เลี้ยวขวา
10	1	0	0	1	เลี้ยวซ้าย
11	1	0	1	0	เลี้ยวซ้าย
12	1	0	1	1	เลี้ยวซ้าย
13	1	1	0	0	เลี้ยวขวา
14	1	1	0	1	เลี้ยวซ้าย
15	1	1	1	0	เลี้ยวขวา
16	1	1	1	1	เลี้ยวซ้าย

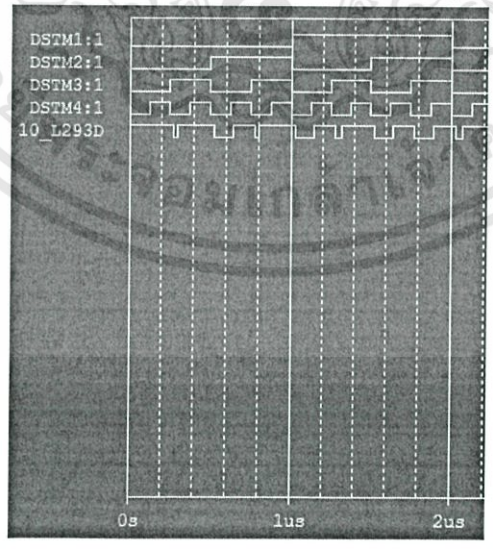
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับอินพุท ขา 2 ของ L293D



กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับอินพุท ขา 7ของ L293D



กราฟแสดงการประมวลผลวงจรดิจิตอลลอจิกสำหรับอินพุท ขา 10ของ L293D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ขณะที่เงินทุนนั้นเป็นตัวแปรในการจำกัดรูปแบบการทำงานของหุ่นยนต์ ทำให้ต้องตัดหน้าที่การทำงานบางส่วนออกไป เหลือเฉพาะส่วนการทำงานหลักดังได้กล่าวมาข้างต้น

การพัฒนาการทำงานของหุ่นยนต์ยนต์นี้ได้แก่การเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์ อันได้แก่กล้องถ่ายรูปทางความร้อน ทำให้หุ่นยนต์สามารถเห็นผิวของความร้อนจากสิ่งกีดขวางเพื่อบอกตำแหน่งสิ่งมีชีวิตที่ต้องการช่วยเหลือได้ ไมโครโฟนจะทำให้หุ่นยนต์บอกเส้นทางและเข้าหาแหล่งที่มาของเสียงได้ สำหรับกรณีวัสดุหรือสารที่เป็นอันตราย หุ่นยนต์จะมีเซ็นเซอร์เพิ่มเพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ของอากาศ อุณหภูมิ ค่า pH การแผ่รังสีและอื่นๆ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ตรวจจับแรงดันไฟฟ้าจากมอเตอร์ที่ควบคุมการเคลื่อนที่เพื่อบอกได้ว่าเมื่อใดจะหยุดมอเตอร์(เช่นเมื่อตัวหุ่นยนต์สัมผัสสิ่งกีดขวางเป็นต้น) และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ที่สถานีภาคพื้นผ่านทาง WiFi ส่วนของหุ่นยนต์ยังประกอบด้วย LED ที่กระพริบด้วยสีที่แตกต่างกัน เพื่อยืนยันว่าได้สัมผัสกับสิ่งกีดขวางแล้ว

สวิทช์และแบตเตอรี่นั้นอยู่ภายในหุ่นยนต์ และมีฝาครอบไว้ เมื่อจะเข้าถึงแบตเตอรี่ต้องใช้เวลาในการถอดฝาครอบออก ซึ่งต้องใช้เวลา ในอนาคตสวิทช์นี้และสายชาร์จแบตเตอรี่จะอยู่ภายนอกหุ่นยนต์เพื่อสะดวกในการชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] http://letsmakerobots.com/node/2074

[2] http://www.circuitstoday.com/digital-thermometer-circuit

[3] http://startrobotics.blogspot.com/2013/05/basic-sensors-used-in-robotics.html

[4] http://www.circuitstoday.com/humidity-tester

[5] http://www.robotplatform.com/howto/L293/motor_driver_1.html

[6] ZP. Horowitz, W. Hill: *"The Art of Electronics"*, 2nd Edition, Cambridge University Press 1989, USA.

[7] R.C. Jaeger: *"Microelectronic Circuit Design"*, International Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc. NY.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้