



รายงานวิชา Pre-Project รหัสวิชา 01216747

นางสาวพัชรินทร์	แย้มเดช	รหัสนักศึกษา 60010684
นางสาวสุริพิชญ์	ธรรมโม	รหัสนักศึกษา 60010811
นางสาวสิริวิมล	มีทอง	รหัสนักศึกษา 60011075

เสนอ

ผศ.ดร.อุดม

จันทร์จรัสสุข

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์    ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

ปัญหาหรือโจทย์ที่ต้องการแก้ไข

ขอบเขตของโครงการ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน

งบประมาณ

สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ

สรุป

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

## 1. บทนำ

ความหมายของ "หุ่นยนต์" โดยสถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (The Robotics Institute of America) ได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้ "หุ่นยนต์ถูกออกแบบมาเพื่อความสามารถหลากหลายโดยสามารถใช้ในการเคลื่อนย้ายวัสดุ อุปกรณ์ ผ่านโปรแกรมที่ถูกตั้งไว้เพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่หลากหลาย" (A robot reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of tasks.) [1] โดยหุ่นยนต์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ 1) หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (fixed robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกล (Robotic arms) ที่สามารถหยิบและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อมักใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ 2) หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (mobile robot) เป็นหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเองโดยการใช้ล้อหรือขาซึ่งปัจจุบันยังมีการทำวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้งานในรูปแบบต่าง การใช้งานหุ่นยนต์ในภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นงานที่ไม่ซับซ้อนมากนัก โดยใช้ระบบอัตโนมัติ (Automation) ควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้เองผ่านการเขียนโปรแกรมโดยหากเป็นงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นจะใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เข้าช่วยควบคุมเพื่อให้หุ่นยนต์มีความสามารถสูงขึ้นหรือฉลาดขึ้นนั่นเอง [2]

ประเทศไทยจึงมีการวางแผนสร้างฐานการผลิตหุ่นยนต์เพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศและภูมิภาคอาเซียนโดยตรง ได้แก่ หุ่นยนต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ โดยเฉพาะหุ่นยนต์ที่ใช้ในการเชื่อมโลหะ ซึ่งมีจำนวนมากเป็นอันดับหนึ่งของจำนวนหุ่นยนต์ที่นำเข้ามาในภูมิภาคอาเซียน หรือนับเป็นร้อยละ 38 ของจำนวนหุ่นยนต์ที่นำเข้าทั้งหมด โดยหุ่นยนต์เหล่านี้ มักจะมาในรูปแบบแขนหุ่นยนต์ที่มีแกนเคลื่อนที่แบบหมุน (Articulated Robot) รองลงมาคือ หุ่นยนต์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตอัดฉีดพลาสติก ที่มีการนำเข้ามาเป็นอันดับสองในภูมิภาค หรือร้อยละ 19 ของจำนวนหุ่นยนต์ที่นำเข้าทั้งหมด โดยหุ่นยนต์เหล่านี้เป็นแขนหุ่นยนต์ที่มีทั้งรูปแบบแกนเคลื่อนที่แบบหมุน และรูปแบบแกนเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น (Linear Gantry Robot) และหุ่นยนต์ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เช่น หุ่นยนต์ดำน้ำ และหุ่นยนต์ที่ใช้ในปฏิบัติการทางการแพทย์ โดยมุ่งเน้นรูปแบบที่ผลิตมาเพื่อสรีระของผู้ป่วยชาวเอเชีย ซึ่งการผลิตหุ่นยนต์ประเภทหลังนี้จะเป็นการพัฒนาหลังจากที่ประเทศไทยมีประสบการณ์จากการผลิตหุ่นยนต์แบบแขนกลแล้ว [3]

จากข้อมูลดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำได้ตระหนักถึงความสำคัญในการการสร้างหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาที่เป็นพื้นฐานและสามารถนำไปต่อยอดได้ในอนาคตและได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหุ่นยนต์จึงนำไปสู่การสร้างหุ่นยนต์จริงที่มีชื่อว่า “Bumblebee” เพื่อใช้ในการแข่งขันการแข่งขันหุ่นยนต์โดยมีลักษณะคล้ายกับการเล่นบอลหุ่นยนต์แบ่งเป็นทีมรุกและทีมรับสลับกันในการแข่งแต่ละรอบ แต่ละทีมจะประกอบด้วยหุ่นยนต์ 7 ตัว ฝ่ายทีมรุกจะต้องวิ่งไปหาทีมรับ จนผ่านเส้นแดงแล้วกลับมาอย่างปลอดภัย(ผ่านเส้นสีเหลือง) โดยที่ไม่ถูกทีมรับจับได้และจะเป็นฝ่ายชนะในการแข่งขัน หากหุ่นยนต์ตัวไหนถูกทีมรับจับได้จะหมดสิทธิ์จากการแข่งขันในรอบนั้น ส่วนทีมรับจะสามารถวิ่งสกัดกั้นฝ่ายตรงข้ามในพื้นที่ป้องกันเท่านั้น หากวิ่ง

ออกนอกพื้นที่ก็จะหมดสิทธิ์จากการแข่งขันในรอบนั้นเช่นกัน ถ้าไม่มีหุ่นยนต์ตัวไหนสามารถผ่านด่านได้ทีมรับจะเป็นฝ่ายชนะ การแข่งขันของแต่ละรอบจะยุติเมื่อทีมรุกสามารถผ่านด่านได้สำเร็จ หรือเมื่อทีมใดทีมหนึ่งไม่เหลือผู้เล่น

## 2. ปัญหาหรือโจทย์ที่ต้องการแก้ไข

การแข่งขันหุ่นยนต์มีลักษณะคล้ายกับการเล่น บอลลุนดำน หรือเล่นเตยโดยแบ่งเป็นทีมรุกสลับกัน ในแต่ละทีมรับ ในการแข่งแต่ละรอบ โดยทีมหนึ่งจะประกอบด้วยหุ่นยนต์ 7 ตัว ฝ่ายทีมรุกจะต้องวิ่งไปหาฝั่งตรงข้าม จนผ่านเส้นแดง แล้วกลับมาอย่างปลอดภัย(ผ่านเส้นสีเหลือง)โดยที่ไม่ถูกทีมรับจับได้ก็จะเป็นฝ่ายชนะ ในการแข่งขันรอบนั้นหุ่นยนต์ที่ถูกจับได้จะถูกตัดออกจากการแข่งขันในรอบนั้นส่วนทีมรับ จะสามารถวิ่งสกัดกันฝ่ายตรงข้ามในพื้นที่ป้องกันเท่านั้น ถ้าวิ่งออกนอกพื้นที่ก็จะถูกตัดออกจากการแข่งขัน ในรอบนั้น เช่นกัน ถ้าไม่มีหุ่นยนต์ตัวไหนสามารถผ่านด่านได้ทีมรับจะเป็นฝ่ายชนะการแข่งขันของแต่ละรอบจะยุติเมื่อทีมรุกสามารถผ่านด่านได้สำเร็จ หรือเมื่อทีมใดทีมหนึ่งไม่เหลือผู้เล่น

### แนวคิดในการแก้ปัญหาหรือในการสร้างหุ่นยนต์

#### กลยุทธ์เกมรุก

สำหรับเกมรุก ทีมเรามีความเห็นว่าตัวรถควรมีเซ็นเซอร์ ทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้า และด้านหลัง หากกำลังเดินหน้า และเซ็นเซอร์ด้านหน้าสามารถจับตัวรถอีกคันได้ ให้ทำการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายหรือขวา และหากเซ็นเซอร์ทางด้านซ้ายและขวา จับได้ว่ามีรถคันอื่น จะทำการถอยหลังแทน และจะมีการเพิ่มความเร็วของตัวรถ หากพบว่าเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ด้าน ไม่พบสัญญาณของรถคันอื่น

รวมไปถึงเราจะมีระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับเส้นทางว่าหากเซ็นเซอร์โดนเส้นสีแดงหมายความว่าได้ผ่านทีมรับมาแล้ว และเตรียมถอยหลังหรือกลับรถเพื่อเคลื่อนตัวกลับไปยังที่เดิม ถ้าเซ็นเซอร์โดนเส้นสีเหลืองหมายความว่า ทีมรุกสามารถกลับมาฝั่งของตัวเองได้สำเร็จ ให้ทำการหยุดเครื่องได้

#### กลยุทธ์เกมรับ

สำหรับเกมรับ ทางทีมเราเห็นว่า อาจให้รถของสมาชิกในทีมอยู่ติดกัน โดยแถวแรก 3 คัน แถวที่ 2 มี 4 คัน แล้วเคลื่อนที่สลับฟันปลา กัน เช่นแถวแรกเคลื่อนที่ไปทางซ้าย แถวที่สองจะเคลื่อนที่ไปทางขวา เพื่อลดช่องโหว่ที่จะให้อีกทีมผ่านเข้ามาได้ หรือหากมีการเคลื่อนที่ของฝ่ายตรงข้ามแบบ 1:1 แล้วนั้นจะมีเพื่อนคันข้างๆ เข้ามาช่วยป้องกันอีกทีม ทั้งนี้จะต้องมีระบบเซ็นเซอร์ที่ตรวจจับเส้นสีดำ เพื่อป้องกันไม่ให้ฝ่ายรับนั้นเคลื่อนรถออกจากโซนป้องกัน หากพบรถจะทำการเดินไปข้างซ้ายหรือขวา ขึ้นอยู่กับขอบของสนามว่าฝั่งไหน

## 3. ขอบเขตของโครงการ

### ขนาด น้ำหนัก ความเร็ว

ขนาดกว้าง x ยาว : 10 x 10 เซนติเมตร ความสูงไม่เกิน 13 เซนติเมตร ใช้ล้อ 4 ล้อในการขับเคลื่อน

### เครื่องมือ อุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำโครงการ

ล้อ 4 ล้อ	Sensor	DC Geared-Motors 2 ตัว	ถ่านชาร์จ Li-ion 18650
ขนาด 3400 mAh 3.7 V ที่ชาร์จถ่าน	สายไฟ	โครงรถ	

## 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 4.1 ภาษา c

#### 4.1.1 ฟังก์ชัน

- ☐ ฟังก์ชัน setup() เป็นฟังก์ชันการกำหนดค่าต่าง ๆ ในส่วนนี้มีการกำหนดค่าเพียงครั้งเดียวเท่านั้น เช่น กำหนดค่าในการใช้งานให้เป็นขาอินพุตหรือขาเอาต์พุต การกำหนดค่าของการเรียกใช้ไลบรารี

```
void setup()
{
    //เป็นส่วนของคำสั่ง สำหรับกำหนดการทำงานในโปรแกรม และทำเพียงครั้งเดียว
}
```

- ☐ ฟังก์ชัน loop() เป็นส่วนในการเขียนโปรแกรมและสั่งให้โปรแกรมทำงาน ซึ่งมีการทำงานเป็นแบบวนลูปไปเรื่อย ๆ ตามการเขียนโปรแกรมของผู้พัฒนาโปรแกรมเพื่อรับค่าจากอินพุต นำค่าที่ได้มาประมวลผล แล้วทำการส่งข้อมูลออกเอาต์พุตเพื่อควบคุมการทำงานตามโปรแกรม

```
void loop()
{
    // เป็นโปรแกรมหลักของคำสั่ง ซึ่งในส่วนนี้โปรแกรมมีการทำงานตลอดเวลา
}
```

#### 4.1.2 คำสั่งควบคุม

- ☐ คำสั่ง if คือการตรวจสอบเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ให้ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดนั้น
- ☐ คำสั่ง if...else คือคำสั่งกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม โดยมี 2 เงื่อนไข ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงทำงานตามคำสั่งที่กำหนดแบบหนึ่ง ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จทำงานตามคำสั่งที่กำหนดอีกแบบหนึ่ง
- ☐ คำสั่ง for คือคำสั่งให้โปรแกรมทำงานซ้ำตามจำนวนรอบที่ต้องการมีรูปแบบคำสั่ง
- ☐ คำสั่ง Switch case คือคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของโปรแกรมหลาย ๆ เงื่อนไข ถ้าตัวแปรที่กำหนดตรงกับเงื่อนไขนั้น ๆ ทำให้โปรแกรมทำงานตามที่กำหนดไว้แต่ละเงื่อนไข

- ☐ คำสั่ง while คือคำสั่งทำซ้ำแบบวนรอบ ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงโปรแกรมทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้ในวงเล็บปีกกา แต่ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จโปรแกรมจบการทำงานในคำสั่ง while
- ☐ คำสั่ง do..while คือคำสั่งทำซ้ำแบบวนรอบ โดยมีการทำงานตรงกันข้ามกับคำสั่ง
- ☐ while คือทำงานตามคำสั่งที่เขียนไว้ในวงเล็บปีกกา แล้วจึงมาตรวจสอบเงื่อนไข แต่ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จ โปรแกรมจบการทำงานในคำสั่ง do
- ☐ คำสั่ง break คือคำสั่งใช้ร่วมกับคำสั่งการทำงานแบบวนรอบ ได้แก่ คำสั่ง do, for white หรือ Switch เพื่อให้โปรแกรมหยุดการทำงานจากการวนรอบโดยไม่มีเงื่อนไข
- ☐ คำสั่ง continue คือคำสั่งใช้สำหรับข้ามการทำงานของคำสั่งถัดไป คำสั่งนี้เขียนอยู่ใน คำสั่งการทำงานแบบวนรอบ ได้แก่ คำสั่ง do, for หรือ while

#### 4.1.3 การดำเนินการเปรียบเทียบ

เป็นเครื่องหมายที่ใช้ในการเปรียบเทียบทางคณิตศาสตร์ มีเครื่องหมายดังต่อไปนี้

- ☐ เครื่องหมาย == เป็นการเปรียบเทียบเท่ากับ
- ☐ เครื่องหมาย != เป็นการเปรียบเทียบไม่เท่ากับ
- ☐ เครื่องหมาย < เป็นการเปรียบเทียบน้อยกว่า
- ☐ เครื่องหมาย > เป็นการเปรียบเทียบมากกว่า
- ☐ เครื่องหมาย <= เป็นการเปรียบเทียบน้อยกว่าหรือเท่ากับ
- ☐ เครื่องหมาย >= เป็นการเปรียบเทียบมากกว่าหรือเท่ากับ

#### 4.1.4 ชุดคำสั่ง

เป็นชุดคำสั่งในการเขียนโปรแกรมเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้ [4]

##### 1. คำสั่งดิจิทัล อินพุต/เอาต์พุต

- ☐ คำสั่ง pinMode() เป็นการกำหนดพอร์ตเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต
- ☐ คำสั่ง digitalWrite() เป็นการเขียนข้อมูลออกพอร์ตที่กำหนด
- ☐ คำสั่ง digitalRead() เป็นการอ่านข้อมูลเข้าพอร์ตที่กำหนด

##### 2. คำสั่งอนาล็อก อินพุต/เอาต์พุต

- ☐ คำสั่ง analogReference() เป็นการกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้สำหรับอนาล็อกอินพุต
- ☐ คำสั่ง analogRead() เป็นการอ่านแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อกและแปลงเป็นจำนวนเต็ม มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1023
- ☐ คำสั่ง analogWrite() เป็นการใช้ PWM เขียนค่าออกทางพอร์ตที่กำหนด

### 3. คำสั่งเวลา

- ☐ คำสั่ง millis() เป็นการหน่วงเวลามีหน่วยเป็นมิลลิวินาทีของ Arduino ทันทีที่มีไฟเลี้ยงเข้า Arduino
- ☐ คำสั่ง micros() เป็นการหน่วงเวลามีหน่วยเป็นไมโครวินาทีของ Arduino ทันทีที่มีไฟเลี้ยงเข้า Arduino
- ☐ คำสั่ง delay() เป็นการหน่วงเวลาตามค่าที่กำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที
- ☐ คำสั่ง delayMicroseconds() เป็นการหน่วงเวลาตามค่าที่กำหนด

### 4. คำสั่งคณิตศาสตร์

- ☐ คำสั่ง min() เป็นการหาค่าต่ำสุด
- ☐ คำสั่ง max() เป็นการหาค่ามากที่สุด

### 5. คำสั่งบิตและไบต์

- ☐ คำสั่ง LowByte() เป็นตัวแปรของไบต์ต่ำสุด
- ☐ คำสั่ง highByte() เป็นตัวแปรของไบต์สูงสุด
- ☐ คำสั่ง bitRead() เป็นการอ่านบิตของตัวแปร
- ☐ คำสั่ง bitWrite() เป็นการเขียนบิตของตัวแปร
- ☐ คำสั่ง bitSet() เป็นการตั้งบิตของตัวแปรเท่ากับ 1
- ☐ คำสั่ง bitClear() เป็นการตั้งบิตของตัวแปรเท่ากับ 0
- ☐ คำสั่ง bit() เป็นการตั้งค่าบิตตามค่าที่กำหนด

### 6. คำสั่งการติดต่อสื่อสาร

- ☐ คำสั่ง Serial.begin() เป็นการกำหนดอัตราการส่งข้อมูล
- ☐ คำสั่ง Serial.end() เป็นการปิดใช้งานการสื่อสารแบบอนุกรม
- ☐ คำสั่ง Serial.available() เป็นการตรวจสอบการรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม
- ☐ คำสั่ง Serial.read() เป็นการอ่านข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรมที่เข้ามา
- ☐ คำสั่ง Serial.peek() เป็นการส่งกลับไบต์ต่อไปของข้อมูลการสื่อสารแบบอนุกรม
- ☐ คำสั่ง Serial.print() เป็นการพิมพ์ข้อมูลไปยังพอร์ตอนุกรม
- ☐ คำสั่ง Serial.println() เป็นการพิมพ์ข้อมูลไปยังพอร์ตอนุกรม และขึ้นบรรทัดใหม่
- ☐ คำสั่ง Serial.write() เป็นการส่งข้อมูลไบต์ไปยังพอร์ตอนุกรม

## 4.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: Microcontroller) คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียูหน่วยความจำและพอร์ต โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกันสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่างๆ และสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขา Input / Output เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งทางด้าน Digital และ Analog ยกตัวอย่างเช่น ระบบสัญญาณตอบระบบอัตโนมัติ, ระบบบัตรคิว, ระบบตอกบัตรพนักงานและอื่นๆ

### หน้าที่ส่วนต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำ ที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เช่น Flash Memory ลักษณะการทำงานของหน่วยความจำนี้เป็นหน่วยความจำที่อ่าน-เขียนได้ด้วยไฟฟ้าเปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกับกระดานทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยงในการทำงานข้อมูลจะหายไปคล้ายกับหน่วยความแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่หน่วยความจำข้อมูลมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมากพอร์ตอินพุตรับสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปแสดงผลที่พอร์ตเอาต์พุต เช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงจังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ดีขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงขึ้น การเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ภาษาซีถือว่าเป็นภาษาระดับกลาง [5]

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEAL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆได้และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ



Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการทำงาน ตัวบอร์ดสามารถนำโมดูลมาต่อเพิ่มซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มของผู้จัดทำใช้บอร์ดรุ่น LGT8F328P

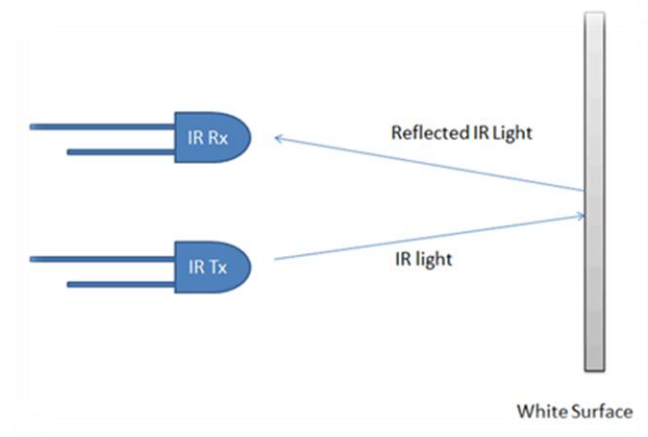
ตารางที่ 1 : รายละเอียดของ IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module [6]

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	LGT8F328P
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	16KB หรือ 32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แฟลช	1 หรือ 2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	512B หรือ 1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	45x18 mm

#### 4.3 โมดูลเซ็นเซอร์แสงสำหรับตรวจจับวัตถุสีขาว

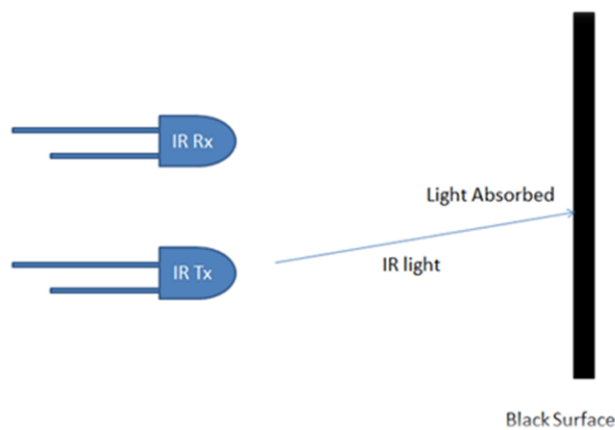
IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module โดยโมดูลนี้มีตัวรับและตัวส่ง infrared ในตัว ตัวสัญญาณ(สีขาว) infrared จะส่งสัญญาณออกมา และเมื่อมีวัตถุมาบังคลื่นสัญญาณ infrared ที่ถูกส่งออกมาจะสะท้อนกลับไปเข้าตัวรับสัญญาณ(สีดำ) สามารถนำมาใช้ตรวจจับวัตถุที่อยู่ตรงหน้าได้และสามารถปรับความไว ระยะการตรวจจับ ใกล้หรือไกลได้ ภายตัวเซ็นเซอร์แบบนี้จะมีตัวส่ง Emitter และ ตัวรับ Receiver ติดตั้งภายในตัวเดียวกัน ทำให้ไม่จำเป็นต้องเดินสายไฟทั้งสองฝั่งเหมือนแบบ Opposed Mode ทำให้การติดตั้งใช้งานได้ง่ายกว่า แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องติดตั้งตัวแผ่นสะท้อนหรือ Reflector ไว้ตรงข้ามกับตัวเซ็นเซอร์เองโดยโพโต้เซ็นเซอร์แบบที่ใช้แผ่นสะท้อนแบบนี้จะเหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะทึบแสงไม่เป็นมันวาว เนื่องจากอาจทำให้ตัวเซ็นเซอร์เข้าใจผิดว่าเป็นตัวแผ่นสะท้อน และ ทำให้ทำงานผิดพลาดได้

เซ็นเซอร์แบบนี้จะมีช่วงในการทำงาน หรือ ระยะในการตรวจจับจะได้ไกลกว่าแบบ Opposed mode ซึ่งในสภาวะการทำงานปกติตัวรับ Receiver จะสามารถรับสัญญาณแสงจากตัวส่ง Emitter ได้ตลอดเวลา เนื่องจากลำแสงจะสะท้อนกับแผ่นสะท้อน Reflector อยู่ตลอดเวลาจะแสดงค่าเป็น 0



รูปที่ 1 : หลักการทำงานของเซ็นเซอร์

หน้าที่หลักของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ จะคอยตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ตัดผ่านหน้าเซ็นเซอร์ เมื่อวัตถุ หรือ ชิ้นงานผ่านเข้ามาที่หน้าเซ็นเซอร์ แล้วจะการขวางลำแสงที่ส่งจากตัวส่ง Emitter ที่ส่งไปยังแผ่นสะท้อน จึงทำให้ตัวรับ Receiver ไม่สามารถรับลำแสงที่จะสะท้อนกลับมาได้จะแสดงค่าเป็น 1



รูปที่ 2 : ลักษณะการทำงานแบบ Dark On หรือ Dark Operate

ซึ่งจะทำให้วงจรภายในรับรู้ได้ว่า มีวัตถุหรือชิ้นงานขวางอยู่ ทำให้สถานะของเอาต์พุตของตัวรับเปลี่ยนแปลงไป โดยเราเรียกลักษณะการทำงานแบบนี้ว่า Dark On หรือ Dark Operate

ตารางที่ 2 : รายละเอียดของ IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module [7]

ไฟเลี้ยง VCC	3.3-5Vdc
ดิจิตอลเอาต์พุต	0 หรือ 1
ระยะตรวจจับ สามารถปรับได้ตั้งแต่	สามารถปรับได้ตั้งแต่ 2-30 cm
มุมในการตรวจจับ	35 องศา
ขนาดบอร์ด	3.1 x 1.5 cm

#### 4.4 เซนเซอร์วัดระยะทาง

เซนเซอร์วัดระยะทางด้วย Ultrasonic ใช้หลักการ ส่งคลื่นเสียงความถี่ต่ำ Ultrasonic ไปเมื่อคลื่นเสียงกระทบกับวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาเซนเซอร์จะจับเวลาที่ส่งคลื่นเสียงออกไปจนถึงคลื่นเสียงสะท้อนกลับมา เมื่อนำมาคำนวณกับเวลาที่เสียงเดินทางในอากาศแล้วจะได้ระยะทางออกมาโมดูล Ultrasonic ตรวจจับวัตถุ คำนวณระยะทางโดยใช้คลื่น มีลักษณะเป็นกรวยและไม่ใช่เส้นตรง จึงเหมาะสำหรับใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วย[8]



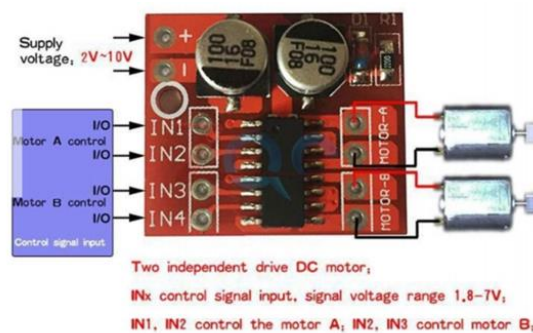
รูปที่ 3 : ตัวอย่างเซนเซอร์ US-205

Operating Voltage	DC 3V-5.5V
Working current	5.3 mA
Operating temperature	-40 °C-85°C
output method	GPIO
Induction angle	Less than 15 degrees
Detection distance	2cm-600cm
Detection accuracy	0.1cm+1%

ตารางที่ 3 : คุณสมบัติของ US-025 [9]

#### 4.5 DC Motor Speed Control

ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ 1) H-bridge Driver และ 2) Pulse-width modulation (PWM) สิ่งที่เป็นพลังขับเคลื่อนหลักให้กับหุ่นยนต์นั้นคือ มอเตอร์ ซึ่งต้องการการควบคุม จาก Motor Driver ที่จะมาควบคุม ทั้ง ทิศทาง และ ความเร็ว ของมอเตอร์ซึ่งทางผู้จัดทำได้เลือกใช้ L298N Dual H-Bridge Motor Controllerคุณสมบัติของ L298N Dual H-Bridge Motor Controller ดังตารางที่ 4 โดยหลักการทำงาน วงจร H-Bridge ของ L298N จะขับกระแสเข้ามอเตอร์ ตามข้อที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วน ความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) เป็นวิธีการควบคุม การจ่ายกำลังโดยการปรับความกว้างของสัญญาณ Pulse ด้วยความถี่สูงเพื่อให้ได้กำลังเฉลี่ยเป็นไปตามส่วนที่ ต้องการ ซึ่งต้องมีการปรับความถี่ให้เหมาะสมกับเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสัดส่วนการทำงาน (ON) ของ Load (มอเตอร์)



รูปที่ 4 : ส่วนประกอบของ L298N Dual H-Bridge Motor Controller

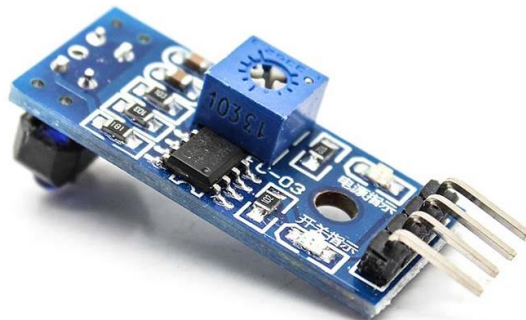
Supply voltage :	2-10V
Signal input voltage: :	1.8-7V
Max output current :	3A (1.5A*2)
Control signal:	PWM

ตารางที่ 4 : คุณสมบัติ L298N Dual H-Bridge Motor Controller

#### 4.6 TCRT5000 Infrared Reflective sensor

เป็นโมดูลตรวจจับวัตถุระยะใกล้ มีราคาถูก ขนาดเล็กสะดวกในการนำไปใช้ติดตั้งกับงานจำพวก หุ่นยนต์, Smart car, หุ่นยนต์หลบสิ่งกีดขวาง เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และคุณสมบัติดังตารางที่ 5 โดยการทำงานของตัวโมดูลนี้ เริ่มต้นโดยให้ หลอด Infrared LED ทำการส่งสัญญาณเป็นแสงอินฟราเรด ออกไปตกกระทบกับวัตถุที่ตรวจพบในระยะ และทำการสะท้อนกลับมายังตัวหลอดโฟโตไดโอดที่ทำหน้าที่รับ

แสงอินฟราเรด โดยส่วนมาก ตัวโมดูลจะให้ค่า output ออกมาเป็น Digital signal แต่สำหรับบางโมดูลอาจจะรองรับ output แบบ Analog signal ด้วย ส่วนตัว R ปรับค่านั้นใช้ในการปรับความไวต่อการตรวจจับแสงอินฟราเรด ซึ่งจะส่งผลต่อระยะในการตรวจพบวัตถุของตัวเซนเซอร์



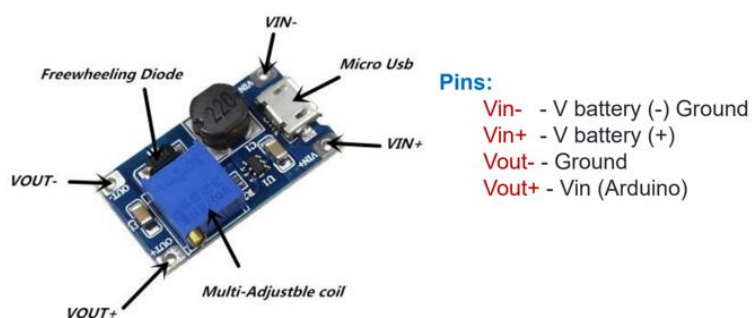
รูปที่ 5 : แสดงส่วนประกอบของ TCRT5000 Infrared Reflective sensor

ไฟเลี้ยง vcc	3.3 – 5 V.
ดิจิตอลเอาต์พุต	0 หรือ 1

ตารางที่ 5 : คุณสมบัติเซ็นเซอร์วัดระยะทาง TCRT5000 Infrared Reflective sensor

#### 4.7 วงจร DC/DC Step-up (แรงดันปรับค่าได้)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้า โดยที่ทางผู้จัดทำเลือกใช้เป็นรุ่น MT3608 สามารถแสดงส่วนประกอบได้ดังภาพที่ 9 และสามารถและคุณสมบัติดังตารางที่ 6 [10]



รูปที่ 6 : ส่วนประกอบของ DC/DC Step-up รุ่น MT3608

กระแสไฟขาออกสูงสุด(I max) :	2 A
แรงดันไฟฟ้าเข้า (V in):	2 V ~ 24 V
แรงดันขาออกสูงสุด(V Out max)	28 V
ประสิทธิภาพ (%Eff)	> 93%

ตารางที่ 6 : คุณสมบัติของ DC/DC Step-up รุ่น MT3608

โดยกฎของโอห์มกระแสไฟฟ้านั้นวงจรไฟฟ้านั้น จะแปรผัน ตรงกับ แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแต่จะแปรผกผันกับค่า ความต้านทานในวงจรไฟฟ้า” ดังสมการ [11]

$$I = \frac{V}{R}$$

เมื่อ  $I$  = กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น แอมป์แปร์ (A)

$V$  = แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$R$  = ความต้านทานมีหน่วยเป็น โอห์ม ( $\Omega$ )

ข้อควรระวังเมื่อแรงดันเพิ่ม กระแสไฟฟ้าจะต้องลดลงดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 7



ถ้าประสิทธิภาพอยู่ที่ 80% กระแส output จะเหลือ 0.4A

รูปที่ 7 : ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเพิ่มกับกระแสไฟลดลง

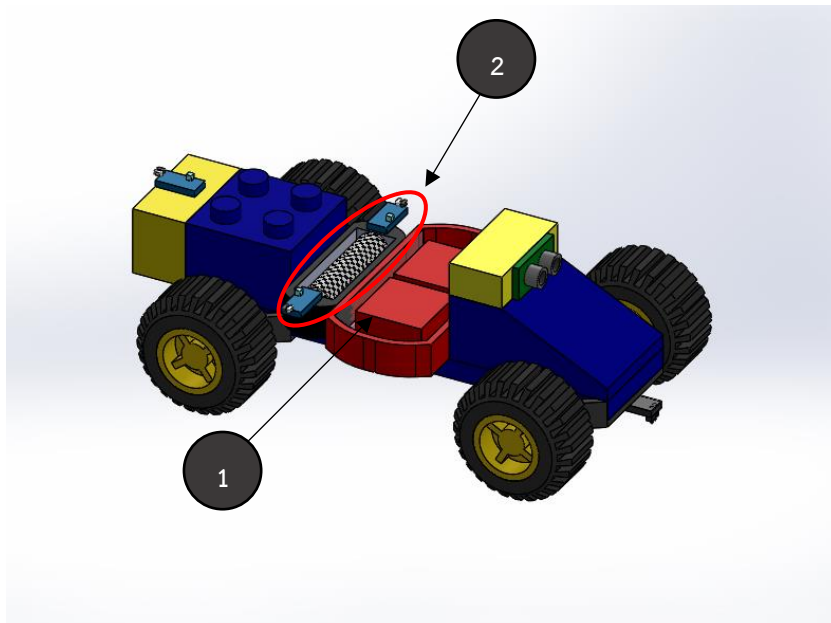
## 5. วิธีการดำเนินงาน

### 5.1 ส่วนประกอบหุ่นยนต์

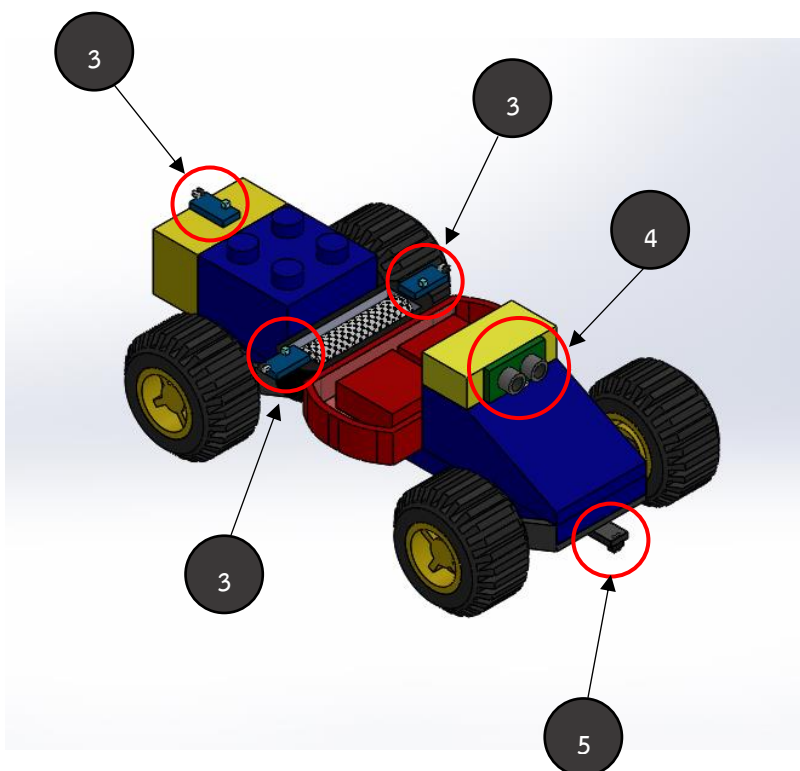
อุปกรณ์ circuit

1. Arduino board รุ่น LGT8F328P	จำนวน 1 ชิ้น
2. 18650 Li-ion battery, Battery case, Li-ion Charging module	จำนวน 1 ชิ้น
3. DC Geared-Motors	จำนวน 2 ก้อน
4. H-bridge Driver	จำนวน 1 ชิ้น
5. Breadboard	จำนวน 1 ชิ้น
6. DC/DC Step-up Converter	จำนวน 1 ชิ้น
7. TCRT5000 Infrared Reflective sensor	จำนวน 1 ชิ้น
8. IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor	จำนวน 3 ชิ้น
9. Ultrasonic Sensor	จำนวน 1 ชิ้น
10. LED	จำนวน 1 ชิ้น
11. ตัวต้านทาน	จำนวน 2 ชิ้น
12. Switch	จำนวน 1 ชิ้น

## 5.2 แบบจำลองหุ่นยนต์

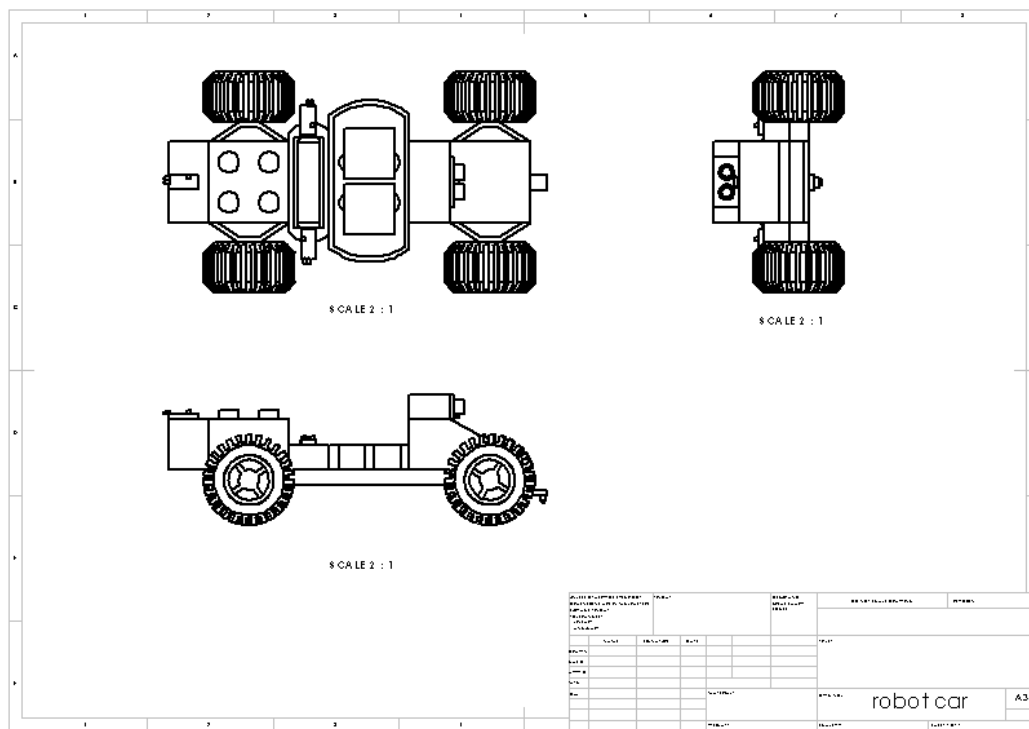


รูปที่ 8 : ภาพ dimetric ของแบบจำลองหุ่นยนต์รถ



รูปที่ 9 : ภาพ isometric ของแบบจำลองหุ่นยนต์รถ





### อธิบายส่วนประกอบต่างๆตามหมายเลข

**หมายเลข 1 :** ที่ใส่บอร์ด 2 ชั้นก็คือ Arduino board รุ่น LGT8F328P และ Breadboard

**หมายเลข 2 :** 18650 Li-ion battery พร้อมรางถ่าน

**หมายเลข 3 :** IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor

จะเห็นได้ว่ามี 3 ชั้น โดยติดข้างรถบริเวณด้านขวา ด้านซ้าย และด้านหลัง โดย sensor ที่ติดฝั่งขวา เมื่อจับวัตถุฝั่งขวาในระยะ 10 ซม. เมื่อพบวัตถุจะชะลอ 2 วิแล้วเลี้ยวรถไปฝั่งซ้ายหรือขวา ตามกลยุทธ์ sensor ที่ติดฝั่งซ้าย เมื่อจับวัตถุฝั่งซ้ายในระยะ 10 ซม. เมื่อพบวัตถุจะชะลอ 2 วิแล้วเลี้ยวรถไปฝั่งขวาหรือซ้าย ตามกลยุทธ์ และ sensor ที่ติดหลังรถ หากจับเส้นสีแดง เมื่อพบแล้วไปชะลอ 3 วิ เพื่อเตรียมถอยหลังกลับหรือกลับรถ

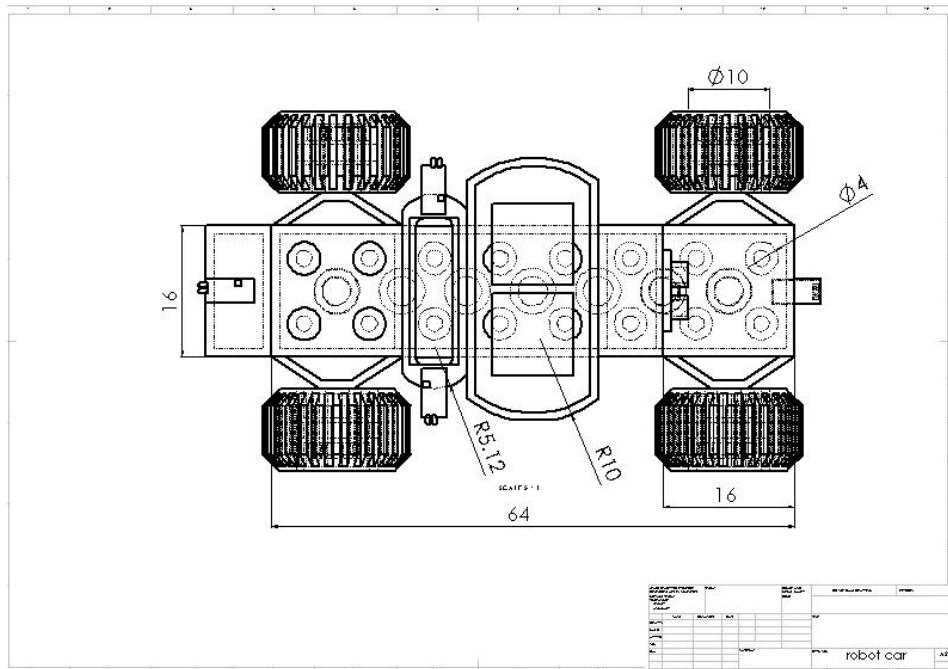
**หมายเลข 4 :** Ultrasonic Sensor

ใช้ Ultrasonic Sensor มาเป็น เซนเซอร์วัดระยะทาง

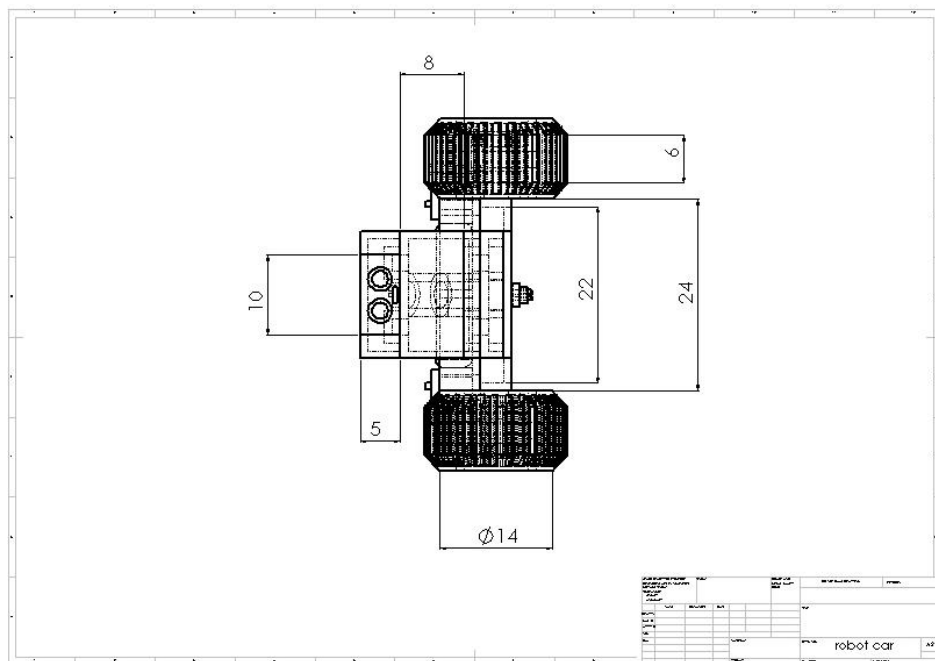
**หมายเลข 5 :** TCRT5000 Infrared Reflective sensor IR Infrared Obstacle Avoidance Sensor

จะติดบริเวณด้านหน้ารถใต้ท้องรถ sensor ตัวนี้จะทำหน้าที่ : จับวัตถุข้างหน้าในระยะ 10 ซม. เมื่อพบวัตถุจะชะลอ 3 วิแล้วหยุดหรืออาจจะไปต่อตามคำสั่ง

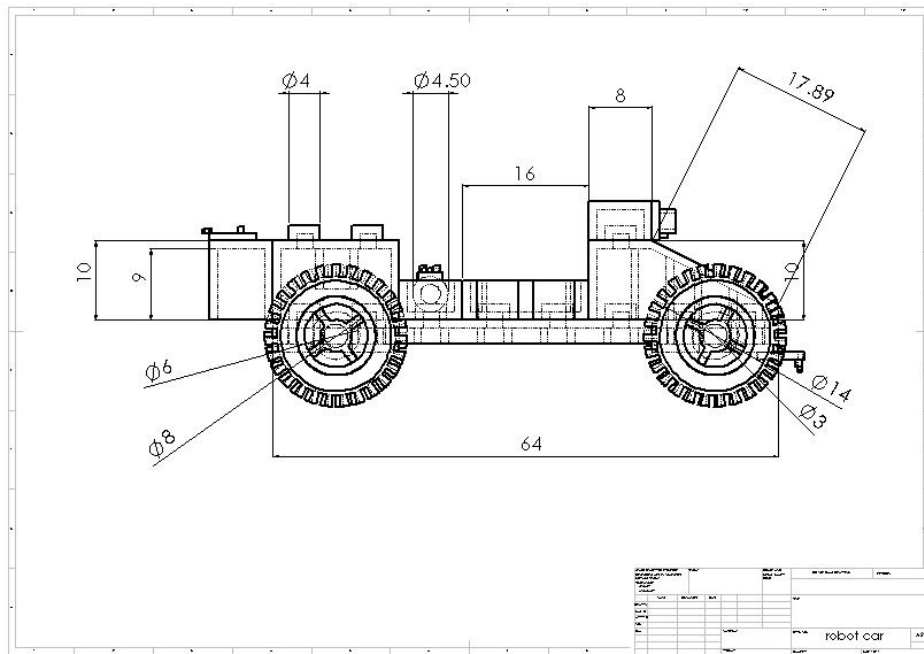
รูป drawing อัตราส่วน 5:1 เพื่อระบุขนาดของแบบจำลองรถ



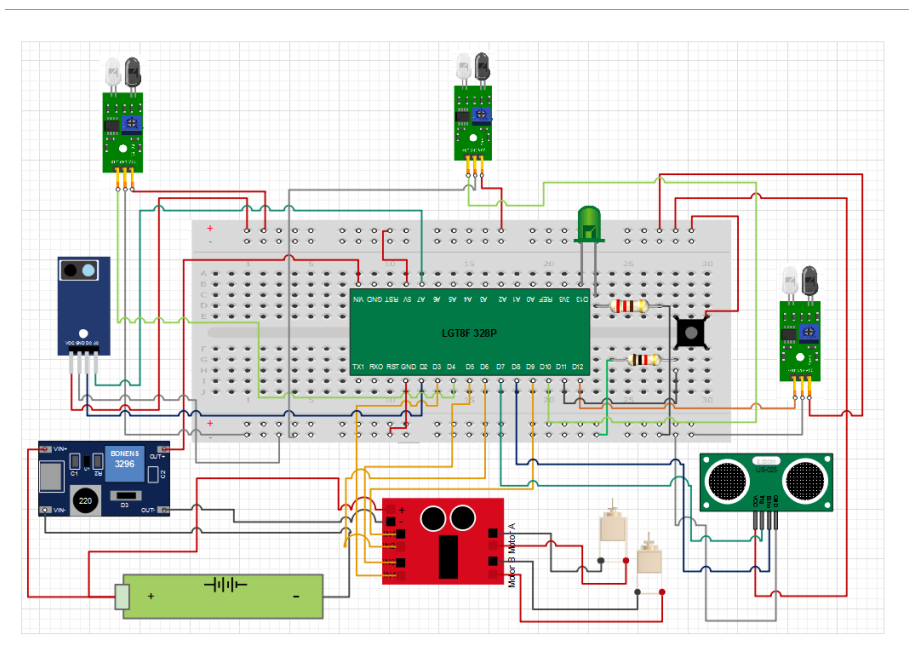
รูปที่ 11 : รูปด้าน TOP



รูปที่ 12 : รูปด้าน FRONT



รูปที่ 13 : รูปด้าน SIDE



รูปที่ 14 : การต่อวงจรภายในหุ่นยนต์

## 6.แผนการดำเนินงาน

### ทีมงาน ความรับผิดชอบของสมาชิกในทีมงาน

1. นางสาวพัชรินทร์ แยมเดช รหัสนักศึกษา 60010684 : ออกแบบตัวรถ
2. นางสาวกฤติพิชญ์ ธรรมโม รหัสนักศึกษา 60010811 : ต่อบางโครง
3. นางสาวสิริวิมล มีทอง รหัสนักศึกษา 60011075 : เขียนโค้ด

(เนื่องจากสถานการณ์ Covid 19 ทำให้แผนการดำเนินงานที่ได้วางแผนไว้ไม่เป็นไปตามแผน)

รายการ	W 1-2	W 3-4	W 5-6	W 7-8	W 9-10	W 11-12	W 13-14	W 15
เรียนรู้เนื้อหา	←→							
เรียนรู้การสร้างหุ่นยนต์		←→	←→	←→	←→	←→	←→	
-3D Printing		←→						
-การขับเคลื่อน			←→					
-Arduino				←→				
-Program Technique					←→			
-Sensor interface						←→		
ทดสอบ		←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
แข่งขัน								←→

## 7. งบประมาณ

ล้อ 4 ล้อ ราคา คู่ละ 65 บาท	ราคา	130	บาท
Sensor	ราคา	85	บาท
DC Geared-Motors 2 ตัว	ราคา	100	บาท
ถ่านชาร์จ Li-ion 18650 ขนาด 3400 mAh 3.7 V	ราคา	55	บาท
ที่ชาร์จถ่าน	ราคา	25	บาท
สายไฟ จำนวน 40 เส้น	ราคา	40	บาท
โครงรถ	ราคา	50	บาท
<b>รวมทั้งสิ้น เป็นเงิน 485 บาท</b>			

8. สิ่งที่คุณคาดว่าจะได้รับ

9. สรุป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Robotics Online, Industirail Robotics Book ข้อมูลจาก [www.robotics.org/robotics/robotics-online-free-resources](http://www.robotics.org/robotics/robotics-online-free-resources) (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [2] จับตาเอเชียตะวันออก, หุ่นยนต์สำหรับการผลิตอัจฉริยะ (Smart Manufacturing) ตามนโยบาย Industry 4.0 ข้อมูลจาก <http://www.eastasiawatch.in.th/th/articles/politics-and-economy/642/> (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษตะวันออก, อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ ข้อมูลจาก [www.eeco.or.th/industry/%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%95%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C](http://www.eeco.or.th/industry/%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%95%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C) (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [4] บทเรียนคอมพิวเตอร์ออนไลน์, ไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลจาก <https://sites.google.com/site/mikhorkhxnthorllexr1/chud-kha-sang> (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [5] เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น ข้อมูลจาก [http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP\\_Unit\\_1.pdf](http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf) (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [6] สื่อการสอนออนไลน์วิชาเทคนิคการอินเทอร์เฟส, บทที่ 1 บอร์ด Arduino คืออะไร ข้อมูลจาก <https://sites.google.com/site/karanwinatkttech/unit1> (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [7] Robot Siam เรียนรู้การสร้างหุ่นยนต์, IR Infrared obstacle avoidance sensor ข้อมูลจาก <https://robotsiam.blogspot.com/2016/10/ir-infrared-obstacle-avoidance-sensor.html> (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)
- [8] Arduino all, เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic Module HC-SR04 ข้อมูลจาก <https://www.arduinoall.com/article/233/33-arduino-%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8>

[%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87-ultrasonic-module-hc-sr04](#) (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)

[9] Arduino all, โมดูลวัดระยะทาง Ultrasonic US-025/US-026 ultrasonic ranging module  
ข้อมูลจาก

[www.arduinoall.com/product/3245/%E0%B9%82%E0%B8%A1%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87-ultrasonic-us-025-us-026-ultrasonic-ranging-module](http://www.arduinoall.com/product/3245/%E0%B9%82%E0%B8%A1%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87-ultrasonic-us-025-us-026-ultrasonic-ranging-module) (วันที่สืบค้น 24 มีนาคม 2563)

[10] วงจร DC/DC Step-up (แรงดันปรับค่าได้) ข้อมูลจาก

<https://www.thaiconverter.com/category/3/dc-step-up> (วันที่สืบค้น 25 มีนาคม 2563)

[11] ความต้านทานไฟฟ้า ข้อมูลจาก [http://www.g-](http://www.g-tech.ac.th/vdo/moterdoc/%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%201/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%202%20%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf)

[tech.ac.th/vdo/moterdoc/%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%201/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%202%20%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf](http://www.g-tech.ac.th/vdo/moterdoc/%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%201/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%202%20%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf) (วันที่สืบค้น 25 มีนาคม 2563)