



ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning

Vehicle control system using Machine learning

ฐิติพงษ์ บุตรขำลี

ณัฐชานนท์ บริกาญจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ปีการศึกษา 2567

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning

Vehicle control system using Machine learning

ฐิติพงษ์ บุตรขำลิ

ณัฐชานนท์ บริกาญจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ปีการศึกษา 2567

## หน้าอนุมัติ

ชื่อโครงการ      ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning  
ผู้เขียน            ฐิติพงษ์ บุตรขำลี  
                          ณัฐชานนท์ บริภาณูจน์  
สาขาวิชา          วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์

คณะกรรมการที่ปรึกษา

คณะกรรมการปริญญานิพนธ์

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(ผศ. กฤต ฝั้นเขียน)

(ผศ. กฤต ฝั้นเขียน)

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

.....(อาจารย์ที่ปรึกษา)

(ผศ. ยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล)

(ผศ. ยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล)

.....(กรรมการ)

(รศ. ดร. วัฒนพงศ์ เกิดทองมี)

.....(กรรมการ)

(ดร. กรัณรัตน์ ธรรมรักษ์)

ชื่อเรื่อง	ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine Learning
ผู้พัฒนา	นายฐิติพงษ์ บุตรขำลี นายณัฐชานนท์ ปริกาญจน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. กฤต ฝั้นเขียน ผศ. ยาวเรศ ศิริสทิพย์กุล
ปริญญาและสาขาวิชา	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรและเทคโนโลยี วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์
ปีการศึกษา	2568

## บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยใช้เทคโนโลยี Machine Learning โดยแบบจำลองนี้จะต้องสามารถตรวจจับเส้นทางและสิ่งกีดขวางจากข้อมูลเซ็นเซอร์ได้อย่างแม่นยำ พร้อมทั้งสร้างคำสั่งควบคุมยานพาหนะให้เคลื่อนที่อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ระบบถูกออกแบบให้สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์การทำงานผ่านการป้อนข้อมูลจากผู้ควบคุมระบบ เพื่อเพิ่มความเหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ทั้งนี้ข้อมูลและผลการทำงานของระบบจะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

Title	Vehicle control system using Machine learning
Student'Name	Thitipong Butchamli Nuchanon Borigran
Advisory Committee	Assistant Professor Krit Funsian Assistant Professor Yaowarat Sirisathitkul
Degree and Program	Computer Engineering and Artificial Intelligence School of Engineering and Technology Walailak University
Academic Year	2024

---

## Abstract

This research report aims to develop a model capable of controlling vehicle movement using Machine Learning technology. The model must accurately detect routes and obstacles from sensor data and generate control commands to ensure safe and efficient vehicle operation. The system is designed to allow parameter adjustments through input from system operators, enhancing adaptability to diverse environments. Additionally, all data and system performance outcomes will be stored in a database for further improvement and development of the model's efficiency in the future

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ. กฤต ฝิ่น  
เขียน และ ผศ. เยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ปรัชญา และ  
ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่และทุ่มเทเป็นอย่างยิ่ง คณะผู้จัดทำขอกราบ  
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจไม่มากนัก  
น้อย หากรายงานฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับไว้เพื่อนำไปแก้ไขและปรับปรุงใน  
โอกาสต่อไป เพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ฐิติพงษ์ บุตรขำลิ

ณัฐชานนท์ บริภาณูจน์

สารบัญ

## สารบัญตาราง



## สารบัญภาพ

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1) ที่มาและความสำคัญ

ในยุคที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมการขนส่งและยานยนต์ ความสามารถในการควบคุมทิศทางและเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัย ระบบควบคุมการเดินตามเส้นทางอัตโนมัติที่สามารถรักษาตำแหน่งให้อยู่ในเลนได้อย่างเสถียรมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจากการ เบี่ยงเบนหรือออกนอกเลน ซึ่งอาจนำไปสู่อุบัติเหตุและลดความน่าเชื่อถือของระบบ

ปัจจุบัน เทคโนโลยีควบคุมเส้นทางอัตโนมัติหลายระบบอาศัยเซ็นเซอร์พื้นฐาน เช่น กล้องและ ระบบ LIDAR อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดในด้านความแม่นยำเมื่อเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของ สภาพแวดล้อม เช่น แสงที่แตกต่างหรือสิ่งกีดขวาง ด้วยเหตุนี้ การนำ Machine Learning เข้ามา ประยุกต์ใช้จึงช่วยยกระดับความอัจฉริยะของระบบ โดยเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์และตอบสนอง ต่อสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เพื่อให้ยานพาหนะรักษาตำแหน่งในเลนได้อย่างมั่นคงและแม่นยำ

แม้จะมีระบบควบคุมอัตโนมัติหลากหลายให้เลือกใช้งาน แต่ยังไม่มียุทธวิธีที่ตอบสนองต่อความ ต้องการด้านความแม่นยำและความซับซ้อนของสถานการณ์ได้อย่างสมบูรณ์ การพัฒนาระบบควบคุมที่ ผสาน Machine Learning จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความแม่นยำของการควบคุมเส้นทาง ช่วยให้ ยานพาหนะวิ่งตามเส้นทางได้อย่างมั่นคงและตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริม ความปลอดภัยในการขับขี่ ยกระดับประสิทธิภาพการขนส่ง และผลักดันการพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ อัตโนมัติในอนาคต

#### 1.2) วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างระบบที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถให้อยู่ในเลนอย่างแม่นยำ โดยนำ เทคโนโลยี Machine Learning เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการตรวจจับและควบคุม ทิศทาง
2. เพื่อพัฒนาโค้ดควบคุมการเคลื่อนที่ของรถให้อยู่ในเลนอย่างอัตโนมัติ โดยรับข้อมูลจากโมเดล Computer Vision เพื่อช่วยให้รถสามารถรักษาทิศทางได้อย่างแม่นยำ

3. เพื่อพัฒนาความสามารถของระบบในการเรียนรู้และปรับตัวจากข้อมูลการใช้งาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการควบคุมในสถานการณ์เช่น การหยุดหรือการชะลอของรถ การเลี้ยวของรถ ในสภาพแวดล้อมจริง
4. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยี IoT ในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนรถ ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามสภาพแวดล้อมจริง

### 1.3) ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning ของยานพาหนะในมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีขอบเขตงานดังต่อไปนี้

#### 1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาและพัฒนาจะมุ่งเน้นไปที่พื้นที่ระหว่างตึก C4 และตึกนวัตกรรม ซึ่งเป็นจุดที่มีการเคลื่อนไหวของผู้คนและยานพาหนะสูง โดยจะมีการสำรวจและเก็บข้อมูลการเดินทางในเส้นทางนี้ ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจลักษณะการสัญจรในพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น

#### 2. การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุม

ระบบจะต้องสามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการของยานพาหนะ ได้แก่

- ระบบจะต้องสามารถควบคุมให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า - ถอยหลังได้
- ระบบจะต้องสามารถควบคุมให้ยานพาหนะเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย - ขวาได้
- ระบบจะต้องสามารถควบคุมให้ยานพาหนะหยุดหรือชะลอจากสิ่งขัดขวางได้
- ระบบจะต้องสามารถควบคุมให้ยานพาหนะเคลื่อนที่โดยรับค่าจาก Machine Learning

#### 3. เทคโนโลยีที่ใช้

ระบบจะนำเทคโนโลยี Machine Learning และ Computer Vision มาใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพประกอบไปด้วย

- การฝึกอบรมโมเดล: ใช้ชุดข้อมูลภาพในการฝึกโมเดลเพื่อให้สามารถตรวจจับและระบุวัตถุต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ
- การประมวลผลภาพ: ใช้กล้องที่ติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อให้สามารถระบุวัตถุในเวลาจริงการทดสอบและประเมินผล

4. ดำเนินการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่ง

- เก็บข้อมูลการเคลื่อนที่และการตรวจจับจากเซนเซอร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ
- เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากระบบกับข้อมูลจริง เพื่อประเมินความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ

5. การประยุกต์ใช้งาน

การศึกษานี้จะมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในระบบขนส่งนักศึกษาในอนาคต เช่น รถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

#### ข้อยกเว้นในขอบเขตของงาน

- งานนี้จะไม่รวมถึงการพัฒนารถยนต์หรืออุปกรณ์ทางกายภาพทั้งหมดแต่จะมุ่งเน้นที่การพัฒนาซอฟต์แวร์และระบบควบคุม
- งานนี้จะไม่รวมถึงการวิเคราะห์ปัญหาหรืออุปสรรคที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง เช่น สภาพการจราจรในเมืองใหญ่

#### 1.4) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบควบคุมการเดินตามเส้นทางของรถโดยใช้ข้อมูลจาก Machine Learning เพื่อสั่งการควบคุมรถให้เคลื่อนที่ในเลนได้อย่างแม่นยำและปลอดภัย ลดความเสี่ยงจากการเบี่ยงเบนออกนอกเลน และลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของรถ โดยสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางได้แบบเรียลไทม์ และช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการขับขี่ด้วยการควบคุมเส้นทางแบบอัตโนมัติ
3. ช่วยพัฒนาความรู้และทักษะของทีมงานในด้าน Machine Learning และระบบควบคุมอัตโนมัติ พร้อมทั้งเป็นต้นแบบสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคต
4. สามารถนำความรู้และระบบที่พัฒนาขึ้นไปปรับใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์และระบบขนส่งสาธารณะ เพื่อส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการขนส่ง

5. สร้างพื้นฐานสำหรับการวิจัยและพัฒนาต่อยอดระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติในระดับสูง และสนับสนุนการพัฒนาระบบขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านการลดความผิดพลาดและการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม

#### 1.5) ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ

1. ระบบสามารถรับข้อมูลจาก Machine Learning เพื่อสั่งการควบคุมรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความเสี่ยงจากการเบี่ยงเบนออกนอกเลน และเพิ่มความแม่นยำในการตอบสนองต่อสถานการณ์ซับซ้อนในสภาพแวดล้อมจริง
2. ระบบที่พัฒนาจะเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมยานยนต์และระบบขนส่งสาธารณะ รวมถึงเป็นต้นแบบสำหรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่
3. ทีมงานจะได้รับการพัฒนาความเชี่ยวชาญในเทคโนโลยี Machine Learning และ IoT ซึ่งจะช่วยยกระดับความสามารถในการสร้างสรรค์นวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการในอนาคต
4. ระบบต้นแบบนี้จะช่วยผลักดันนวัตกรรมใหม่ในอุตสาหกรรมยานยนต์และระบบขนส่ง ทำให้เทคโนโลยีการขับเคลื่อนอัตโนมัติมีความแม่นยำและปลอดภัยมากขึ้น

#### 1.6) ขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				พ.ค.				มิ.ย.				ก.ค.				ส.ค.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
เขียนข้อเสนอโครงการงาน																																												
สอบข้อเสนอโครงการงาน 1					^																																							
พัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ																																												
พัฒนาระบบและติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์																																												
ทดสอบในพื้นที่สภาพแวดล้อมจริง																																												
สอบความก้าวหน้าโครงการงาน													^1																															
วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลจากการทดสอบ																																												
ปรับปรุงระบบตามผลการทดสอบ																																												
สอบกลางภาคโครงการงาน2																									^2																			
ติดตั้งและทดสอบระบบในพื้นที่ใช้งานจริง																																												
ประเมินและสรุปผลการวิจัย																																												
สอบโครงการงาน 2																																												
สอบโครงการงาน 2 ภาคโปสเตอร์																																					^3							

หมายเหตุ

หมายถึง ระยะเวลาแผนการดำเนินงาน

^ หมายถึง สอบข้อเสนอโครงการ

^1 หมายถึง ช่วงเวลาสอบของโครงการ 1

^2 หมายถึง ช่วงเวลาสอบของโครงการ 2

^3 หมายถึง ช่วงเวลาสอบของโครงการ 3

### 1.7) อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนางาน

การพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning ของยานพาหนะ ผู้พัฒนาได้เลือกใช้เครื่องมือที่หลากหลายเพื่อรองรับการทำงาน และสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมการทำงานจริง โดยอุปกรณ์ที่ใช้มีทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ดังนี้

#### 1.7.1 ด้านซอฟต์แวร์ (Software)

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดอุปกรณ์ซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ในการพัฒนา

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
ระบบปฏิบัติการ Windows 11	Windows 11 เป็นระบบปฏิบัติการใหม่ล่าสุดจาก Microsoft ที่มาพร้อมกับอินเทอร์เฟซใหม่ที่ทันสมัยขึ้น พร้อมคุณสมบัติการทำงานแบบไฮบริด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานระยะไกล ปกป้องได้ทั้งฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ไปจนถึงระบบไคลเอด์
ซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาระบบ ● Arduino IDE	ซอฟต์แวร์ Arduino ได้รับการเผยแพร่เป็นเครื่องมือแบบเปิด ซึ่งมีไว้สำหรับนักเขียนที่มีประสบการณ์ ภาษาสามารถขยายได้ผ่านไลบรารีภาษา C++ และผู้ที่ต้องการเข้าใจรายละเอียดทางเทคนิคสามารถก้าวกระโดดจาก Arduino ไปยังภาษาการเขียนโปรแกรม AVR-C ซึ่งเป็นภาษาพื้นฐานในทำนองเดียวกันคุณสามารถเพิ่มรหัสต้นฉบับ AVR-C โดยตรงในโปรแกรม Arduino IDE ของผู้ใช้งาน
ซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการเอกสาร ● Microsoft Office	Microsoft Office: เป็นชุดโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่พัฒนาโดย Microsoft Corporation ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยในงานด้านเอกสาร การนำเสนอ การคำนวณ และการจัดการข้อมูลในสำนักงานและการทำงานส่วนบุคคล

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
<p>การสนับสนุนการทำงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Discord</li> </ul>	<p>Discord: Discord เป็นแพลตฟอร์มการสื่อสารยอดนิยมที่ออกแบบมาสำหรับการสื่อสาร และส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้ ประกอบไปด้วยการส่งข้อความโต้ตอบแบบเรียลไทม์ แชตด้วยเสียง และวิดีโอแชตไว้ในช่องทางเดียว</p>

### 1.7.2 ด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการพัฒนา

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
<p>เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนา</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Acer รุ่น Nitro 5</li> <li>Pc</li> </ul>	<p><b>Acer รุ่น Nitro 5</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CPU: Intel Core i7-12800H</li> <li>GPU: GeForce RTX 3050</li> <li>RAM: 16 GB-</li> <li>OS: Windows 11 Home 64bit</li> </ul> <p><b>Pc</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CPCPU: Intel Core i5 12400f</li> <li>GPU: GeForce RTX 4070</li> <li>RAM: 16 GB</li> <li>OSOS: Windows 11 Pro 64bit</li> </ul>
<p>บอร์ดควบคุม ESP32 38pin ESP32S Chip CP2102 WIFI Bluetooth Board</p>	<p>ไมโครคอนโทรลเลอร์: Xtensa dual-core 32-bit LX6 ความเร็ว 160 หรือ 240 MHz หน่วยความจำ: 520 KiB SRAM และ 448 KiB ROM การเชื่อมต่อไร้สาย:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wi-Fi: รองรับมาตรฐาน 802.11 b/g/n</li> <li>Bluetooth: เวอร์ชัน 4.2 BR/EDR และ BLE</li> </ul>



ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
	<p>พอร์ต USB: ใช้ชิป CP2102 สำหรับการเชื่อมต่อ USB-to-UART</p> <p>ขาเชื่อมต่อ (GPIO): 38 ขา สำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก</p> <p>แรงดันไฟฟ้าอินพุต: รองรับ 7-12V ผ่านขา V5 โดยใช้เรกูเลเตอร์ AMS1117-3.3 เพื่อจ่ายไฟ 3.3V ให้กับบอร์ด</p> <p>การเขียนโปรแกรม: รองรับการพัฒนาโดยใช้ Arduino IDE และแพลตฟอร์มอื่น ๆ</p> <p><b>คุณสมบัติเด่น:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• การเชื่อมต่อไร้สายแบบดูอัลโหมด: รองรับทั้ง Wi-Fi และ Bluetooth ทำให้สามารถสื่อสารได้หลากหลายรูปแบบ</li> <li>• การประมวลผลแบบดูอัลคอร์: ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูล</li> <li>• ขาเชื่อมต่อจำนวนมาก: มีขา GPIO ถึง 38 ขา ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้หลากหลาย</li> </ul>
แหล่งพลังงานและสวิตช์เปิดปิด แหล่งจ่ายไฟ	<p>ประเภทแบตเตอรี่:</p> <p>ใช้แบตเตอรี่แบบ 12V จำนวน 4 ก้อน</p> <p>ประเภทสวิตช์:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• สวิตช์แบบเปิด-ปิดทั่วไป (Single Pole Single Throw - SPST)</li> <li>• เลือกสวิตช์ที่สามารถรองรับกระแสไฟฟ้า (Ampere) และแรงดันไฟฟ้า (Voltage) สูงสุดจากแบตเตอรี่ได้อย่างปลอดภัย</li> </ul>

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
LM2596HVS dc-dc	<p>ประเภทวงจร: DC-DC Step-Down (Buck Converter)</p> <p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input Voltage): 4.5V ถึง 60V (สำหรับรุ่น HVS รองรับแรงดันขาเข้าสูงสุดที่ 60V)</p> <p>แรงดันไฟฟ้าขาออก (Output Voltage): ปรับค่าได้ตั้งแต่ 1.23V ถึง 37V (ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าขาเข้า)</p> <p>กระแสขาออกสูงสุด (Output Current): สูงสุด 3A (ขึ้นอยู่กับ การกระจายความร้อน)</p> <p>ประสิทธิภาพ: สูงสุดประมาณ 90% (ขึ้นกับแรงดันและ โหลด)</p> <p>ความถี่ในการทำงาน: 150 kHz (Fixed Switching Frequency)</p> <p>การป้องกัน: มีระบบป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)</p> <p>มีระบบป้องกันอุณหภูมิเกิน (Thermal Shutdown)</p> <p>คุณสมบัติพิเศษ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• การควบคุมแรงดันขาออกที่แม่นยำ: มีวงจรอ้างอิงแรงดันภายในช่วยรักษาค่าที่แม่นยำ</li> <li>• ความสามารถในการจัดการโหลดสูง: รองรับกระแสโหลดสูงถึง 3A พร้อมการกระจายความร้อนที่ดี</li> <li>• การออกแบบขนาดกะทัดรัด: สามารถใช้งานได้ใน วงจรขนาดเล็กหรือโมดูลแปลงไฟ</li> </ul>
Bldc motor controller 48v 2000w	<p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า: รองรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 48V ถึง 84V</p> <p>กำลังไฟฟ้า: รองรับมอเตอร์ที่มีกำลังสูงสุดถึง 2000W</p> <p>กระแสไฟฟ้าสูงสุด: จำกัดกระแสที่ 45A เพื่อป้องกันความเสียหายต่อมอเตอร์และคอนโทรลเลอร์</p>

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
	<p>โหมดการทำงาน: รองรับทั้งการทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ฮอลล์และแบบไม่มีเซ็นเซอร์ฮอลล์</p> <p>ฟังก์ชันเพิ่มเติม:</p> <p>ควบคุมความเร็วคงที่ (Cruise Speed Control)</p> <p>ระบบเบรกที่สามารถคืนพลังงานกลับสู่แบตเตอรี่ (Regenerative Braking)</p> <p>ป้องกันกระแสเกินและแรงดันไฟฟ้าต่ำ</p> <p>รองรับการควบคุมทิศทางการหมุนไปข้างหน้าและถอยหลัง</p>
BTS7960 43A H-Bridge PWM Drive	<p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Operating Voltage):</p> <p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Motor Supply Voltage): 6V ถึง 27V</p> <p>แรงดันไฟฟ้าสำหรับวงจรควบคุม (Logic Voltage): 3.3V หรือ 5V (รองรับกับ Arduino และไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ)</p> <p>กระแสสูงสุด (Maximum Current):</p> <p>รองรับกระแสสูงสุดที่ 43A (เมื่อใช้ฮีตซิงค์อย่างเหมาะสม)</p> <p>ความถี่ PWM:</p> <p>รองรับความถี่ PWM สูงสุดที่ 25 kHz</p> <p><b>คุณสมบัติพิเศษ:</b></p> <p>ใช้ ชิป BTS7960 ที่ออกแบบมาให้ทนทานต่อการใช้งานที่กระแสวิก</p> <p>มีระบบป้องกันในตัว:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Overcurrent Protection)</li> <li>• ป้องกันแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Undervoltage Lockout)</li> <li>• ป้องกันความร้อนเกิน (Overtemperature Protection)</li> </ul>

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
<p>มอเตอร์ (Motor)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● มอเตอร์ 48V</li> <li>● มอเตอร์ 12V 90W</li> </ul>	<p>อินเทอร์เฟซพิน:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● RPWM และ LPWM: ใช้สำหรับควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ผ่านสัญญาณ PWM</li> <li>● R_EN และ L_EN: ใช้สำหรับเปิด-ปิดการทำงานของแต่ละขา H-Bridge</li> <li>● VCC: จ่ายไฟเลี้ยงสำหรับวงจรควบคุม (3.3V หรือ 5V)</li> <li>● GND: พื้นของวงจรควบคุมและวงจรไฟฟ้า</li> </ul>
KY-040 Rotary Encoder	<p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Operating Voltage): 3.3V ถึง 5V (เหมาะสำหรับการใช้งานร่วมกับ Arduino และไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ)</p> <p>ประเภทอินพุต: แบบ Incremental Encoder (ใช้สำหรับตรวจจับการหมุนและทิศทาง)</p> <p>จำนวนพัลส์ต่อรอบ (Pulses Per Revolution): 20 พัลส์ต่อรอบ (20 Steps/Detents)</p> <p>การใช้งานปุ่มกด (Push Button): มีสวิตช์แบบกดติด-ปล่อยดับ (Push Button) ที่รวมอยู่ในตัว Rotary Encoder</p>
DC-DC converter	<p>DC-DC Converter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง โดยมีรูปแบบการแปลงที่แตกต่างกัน เช่น Buck (Step-Down), Boost (Step-Up) และ Buck-Boost (Step-Up/Step-Down)</p>
บอร์ดแปลงสัญญาณ R/C to Brushless DC controller	<p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input Voltage): โดยทั่วไป 5V ถึง 12V (พลังงานจ่ายจาก Receiver หรือแหล่งจ่ายภายนอก)</p>

ชุดอุปกรณ์/ชุดคำสั่ง	คำอธิบาย
	<p>ประเภทสัญญาณอินพุต (Input Signal): สัญญาณ PPM หรือ PWM จาก Receiver ของระบบ R/C</p> <p>ความถี่สัญญาณ PWM มาตรฐาน: 50 Hz (Pulse Width 1ms ถึง 2ms)</p> <p>ประเภทสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal): สัญญาณ PWM ที่ปรับค่าตามคำสั่ง R/C เพื่อควบคุม BLDC Controller</p> <p>ความถี่ PWM สำหรับ BLDC Controller: สูงถึง 20 kHz (ขึ้นอยู่กับรุ่นของบอร์ด)</p> <p>พอร์ตเชื่อมต่อ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>อินพุต: ขั้วต่อ 3-Pin (Signal, VCC, GND) สำหรับสัญญาณจาก Receiver</li> <li>เอาต์พุต: ขั้วต่อ 3-Pin หรือ 4-Pin (PWM, GND) สำหรับเชื่อมต่อ BLDC Controller</li> </ul> <p>พีเจอร์เสิร์ม (ขึ้นอยู่กับบอร์ด): การปรับค่า Min/Max PWM เพื่อกำหนดช่วงการทำงานของ BLDC</p> <p>ไฟ LED แสดงสถานะการทำงานหรือสัญญาณ</p> <p>การป้องกันแรงดันไฟฟ้าผิิตขั้ว (Reverse Polarity Protection)</p>
Ultrasonic Sensor Module HC-SR04P	<p>แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Operating Voltage): 3.3V ถึง 5V DC</p> <p>กระแสไฟฟ้า (Operating Current): น้อยกว่า 15mA</p> <p>ช่วงการตรวจจับ (Sensing Range): 2 ซม. ถึง 400 ซม. (0.02 ม. ถึง 4 ม.)</p> <p>ความแม่นยำ (Accuracy): <math>\pm 3</math> มม.</p> <p>มุมการตรวจจับ (Measuring Angle): ประมาณ 15 องศา</p> <p>ความถี่อัลตราโซนิก (Ultrasonic Frequency): 40 kHz</p>

## บทที่2

### ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1) Automation and Control Theory

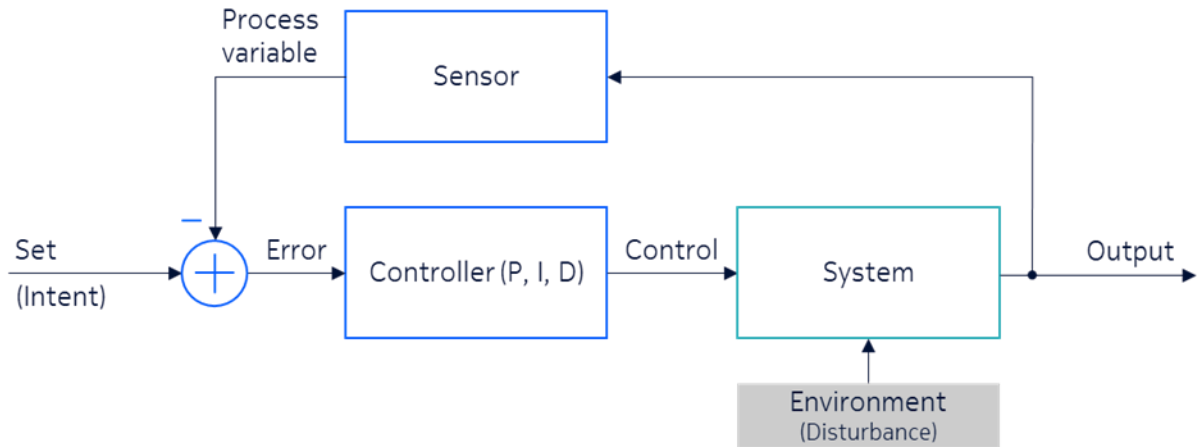
แนวคิดเกี่ยวกับ การดำเนินงานแบบวงปิดสำหรับเครือข่ายโทรคมนาคม มีพื้นฐานจากทฤษฎีวงควบคุม (Control Loop Theory) ซึ่งเป็นแนวคิดสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาเครือข่ายและระบบปฏิบัติการอัตโนมัติในอนาคต บทความนี้เริ่มต้นด้วยการกล่าวถึง ระบบอัตโนมัติ (Automation) ซึ่งหมายถึงการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ โดยไม่ต้องอาศัยการแทรกแซงจากมนุษย์ การทำงานอัตโนมัติอาจมีทั้งรูปแบบง่าย ๆ ที่กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากสัญญาณกระตุ้น (trigger) และดำเนินการไปโดยไม่คำนึงถึงผลลัพธ์ระหว่างทาง หรือเป็นรูปแบบที่ซับซ้อนกว่านั้น โดยพิจารณาปัจจัยป้อนกลับและสถานะเริ่มต้นของระบบ เพื่อปรับการทำงานอย่างเหมาะสม หากเกิดความล้มเหลวในการทำงาน มนุษย์จะเข้ามาดำเนินการแก้ไข เช่น ปรับปรุงสถานะเริ่มต้นหรือดำเนินการด้วยตนเองทั้งหมด

##### การดำเนินงานแบบวงปิดและทฤษฎีควบคุม

ทฤษฎีควบคุมแบบดั้งเดิม (Classical Control Theory) เริ่มต้นจากระบบอนาล็อก โดยผู้ปฏิบัติงานจะกำหนดค่าตั้ง (Set Level) ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการควบคุม ตัวควบคุม (Controller) จะแปลงค่านี้เป็นสัญญาณเพื่อควบคุมอุปกรณ์ เช่น การปรับแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ กระบวนการนี้มีปัจจัยรบกวนจากภายนอก เช่น น้ำหนักบนสายพานลำเลียงหรือแรงลม ซึ่งส่งผลต่อผลลัพธ์ของระบบ เซ็นเซอร์จะวัดผลลัพธ์จริงและเปรียบเทียบกับค่าตั้งเพื่อคำนวณข้อผิดพลาด (Error) ที่นำไปใช้ปรับปรุงการควบคุม ตัวควบคุมพื้นฐานในทฤษฎีนี้ประกอบด้วย:

- P (Proportional) สัญญาณควบคุมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับข้อผิดพลาด แต่จะมีข้อผิดพลาดคงเหลือเล็กน้อย
- I (Integral) สัญญาณควบคุมมาจากผลรวมของข้อผิดพลาด ทำให้สามารถลดข้อผิดพลาดคงเหลือได้ แต่ตอบสนองช้ากว่า

- D (Derivative) สัญญาณควบคุมพิจารณาความเร็วของการเปลี่ยนแปลงข้อผิดพลาด ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ



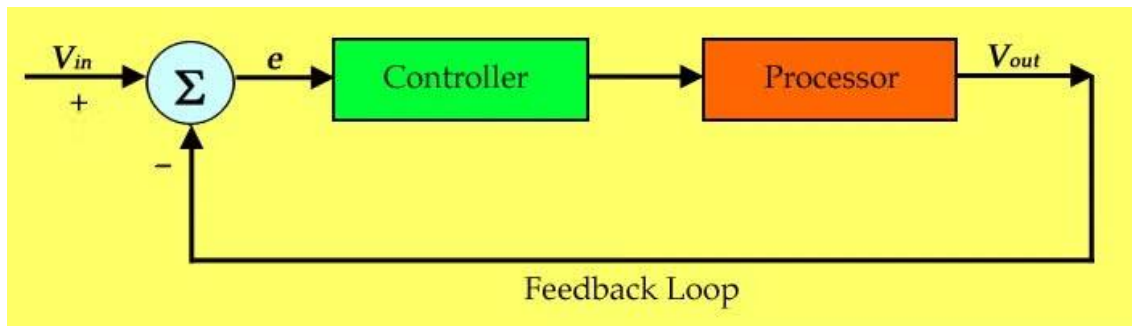
ภาพที่ 2.1 Automation and Control Theory

ตัวอย่างง่าย ๆ ของวงควบคุมแบบอินพุตและเอาต์พุตเดียว (SISO) คือระบบควบคุมความเร็วคงที่ (Cruise Control) ซึ่งรักษาความเร็วรถแม้มีการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น ลมแรงหรือถนนที่มีความชัน ระบบควบคุมแบบหลายอินพุต-หนึ่งเอาต์พุต (MISO) ใช้ควบคุมความเร็วและระยะห่างจากรถคันหน้า และระบบแบบหลายอินพุต-หลายเอาต์พุต (MIMO) สามารถใช้เบรกเพื่อปรับลดความเร็วได้ด้วย

### 2.1.2) ทฤษฎีการควบคุม (Control Theory)

ทฤษฎีการควบคุม (Control Theory) เป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พีชคณิตเพื่อมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของระบบเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ เราสามารถแบ่งแยกระบบสองประเภทที่ทฤษฎีการควบคุมมีบทบาทสำคัญ ได้แก่ ระบบที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made systems) และระบบชีวภาพ (biological systems)

ตัวอย่างง่ายๆ ของระบบที่มนุษย์สร้างขึ้นคือระบบควบคุมความเร็วของรถยนต์ (cruise control) ความเร็วที่แท้จริงจะถูกบันทึกโดยมาตรวัดความเร็ว (speedometer) และจะ "ป้อนกลับ" (feedback) และเปรียบเทียบกับค่าความเร็วในระบบควบคุม หากความเร็วต่ำเกินไป ระบบจะสั่งให้เครื่องยนต์เพิ่มความเร็ว ระบบควบคุมนี้จะถูกเรียกว่า "ตัวควบคุม" (controller) ในระบบนั้น



ภาพที่ 2.2 ทฤษฎีการควบคุม (Control Theory)

ทฤษฎีการควบคุมจึงเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับวิศวกรรมและเทคโนโลยี ซึ่งเป็นพื้นที่ดั้งเดิมของ ทฤษฎีนี้ที่มีผลกระทบมาเป็นเวลาหลายศตวรรษ ตัวอย่างเช่น การประดิษฐ์ตัวควบคุม (regulator) สำหรับเครื่องยนต์ไอน้ำในศตวรรษที่ 18 ซึ่งเป็นกลไกการควบคุมที่มีผลกระทบสำคัญต่อการพัฒนา อุตสาหกรรมในยุโรป อย่างไรก็ตาม การพัฒนาทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ของการควบคุมเริ่มต้นขึ้นใน ภายหลังและได้พัฒนาอย่างมากในช่วง 60 ปีที่ผ่านมาในครึ่งหลังของศตวรรษที่ 20 ทฤษฎีการควบคุมมี บทบาทสำคัญในความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีหลายประการ เช่น:

- การควบคุมยานอวกาศ
- CANADARM แขนหุ่นยนต์ของกระสวยอวกาศ
- เทคโนโลยีหุ่นยนต์
- ระบบเบรกป้องกันล้อล็อก (Antilock Braking Systems)
- เทคโนโลยีของเหลวอัจฉริยะ

ในทางกลับกัน ได้รับการยอมรับมากขึ้นว่า ทฤษฎีการควบคุมมีบทบาทสำคัญในระบบชีววิทยา ซึ่งหลายๆ ด้านของร่างกายมนุษย์สามารถอธิบายบทบาทของการควบคุมในระบบชีวภาพได้ ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการทรงตัวของร่างกายมนุษย์ที่ขึ้นอยู่กับป้อนกลับ โดยทั่วไปคนส่วนใหญ่สามารถ รักษาสมดุลได้เมื่อยืนบนขาข้างเดียว แต่หากปิดตาในสภาวะนี้จะเริ่มสั่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการป้อนกลับ จากการมองเห็นช่วยให้เราทรงตัวได้

นอกจากนี้ การควบคุมแบบป้อนกลับยังช่วยให้ร่างกายมนุษย์รักษาอุณหภูมิภายในให้คงที่ในช่วง แคบๆ ได้ ซึ่งการรักษาสมดุลภายใน (Homeostasis) ของสิ่งมีชีวิตนั้นเกิดขึ้นผ่านการควบคุมแบบ ป้อนกลับเพื่อรักษาสมดุลระหว่างองค์ประกอบที่สัมพันธ์กันภายในร่างกาย



### 2.1.3) Sensor fusion

การรวมเซ็นเซอร์มีประโยชน์หลัก 2 ประการ ประการแรกคือทำให้ผลลัพธ์ข้อมูลสุดท้ายมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เซ็นเซอร์แต่ละประเภทมีคุณลักษณะประสิทธิภาพและจุดอ่อนที่แตกต่างกัน การรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์มากกว่าหนึ่งตัวเข้าด้วยกันจะช่วยให้คุณมั่นใจได้มากขึ้นว่าผลลัพธ์สุดท้ายมีความแม่นยำมากขึ้น

พิจารณา INS ทั่วไป IMU ภายในจะเสี่ยงต่อการเลื่อนตำแหน่งเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่ง IMU ทุกตัวก็เสี่ยงเช่นกัน แต่ GNSS จะไม่เสี่ยงต่อการเลื่อนตำแหน่ง ดังนั้น การรวมจุดข้อมูลทั้งสองเข้าด้วยกันจะช่วยให้คุณใช้การอัปเดตตำแหน่ง GNSS เพื่อชดเชยการเลื่อนตำแหน่งของ IMU และทำให้ข้อมูลสุดท้ายของคุณน่าเชื่อถือมากขึ้น

ความสัมพันธ์ทำงานในทางตรงกันข้ามเช่นกัน GNSS อาจไม่ลอยเหมือน IMU แต่หาก INS สูญเสียสัญญาณดาวเทียม เช่น หากผ่านอุโมงค์หรือใต้ต้นไม้ ข้อมูลตำแหน่งที่ได้รับจาก INS จะกลายเป็นข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม IMU จะไม่ได้รับผลกระทบจากสิ่งเหล่านี้ ดังนั้นเมื่อสัญญาณ GNSS ตก ข้อมูลจาก IMU จะช่วยชดเชยการขาดสัญญาณและทำให้ผลลัพธ์ข้อมูลน่าเชื่อถือมากขึ้น

ประโยชน์ประการที่สองของการรวมเซ็นเซอร์คือช่วยเพิ่มความคล่องตัวของโซลูชันการระบุตำแหน่ง ปัจจุบัน วิศวกรกำลังทำงานเพื่อรวมข้อมูลเซ็นเซอร์ทุกประเภทเข้าด้วยกันเพื่อสร้างโซลูชันการระบุตำแหน่งที่ให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น LiDAR, โดโดมิเตอร์ที่ไวกิ้ง และเซ็นเซอร์ความเร็วล้อ ล้วนถูกนำมาใช้โดยผู้คนหลากหลายกลุ่มเพื่อเอาชนะความท้าทายในการนำทาง

ด้วยเหตุนี้ โซลูชันการระบุตำแหน่งที่ผสานรวมข้อมูลเซ็นเซอร์จึงสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายยิ่งขึ้น หากกำลังสร้างโซลูชันเป็นผลิตภัณฑ์ของธุรกิจ ความคล่องตัวดังกล่าวจะเปิดตลาดที่มีศักยภาพใหม่ๆ หากกำลังสร้างโซลูชันสำหรับใช้งานภาคสนาม ความคล่องตัวที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยให้คุณทำงานได้ในสถานที่ต่างๆ มากขึ้น

หลักสำคัญของการรวมเซ็นเซอร์ส่วนใหญ่เน้นอาศัยตัวกรอง Kalman เพื่อให้ทำงานได้ ตัวกรอง Kalman เป็นอัลกอริทึมที่ช่วยให้ระบบประมาณค่าตัวแปร (เช่น ตำแหน่ง) โดยอ้างอิงจากจุดข้อมูลอื่นๆ ที่หลากหลาย (เช่น ข้อมูลจาก IMU, GNSS และเซ็นเซอร์ความเร็วล้อ) สิ่งสำคัญคือ ตัวกรอง Kalman จะได้รับข้อมูลเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของการวัดแต่ละครั้ง ซึ่งทำให้สามารถละเลยข้อมูลที่มีแนวโน้มจะผิดพลาดได้

### การผสมผสานเซ็นเซอร์ในการทดสอบยานยนต์

ในการทดสอบยานยนต์ การรวมเซ็นเซอร์จะใช้ในสองสภาพแวดล้อมหลักๆ คือ บนถนนโล่งและในอาคาร บนถนนโล่ง การผสมผสานระยะทางที่ไกลและสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ในเมือง ทำให้การนำทาง GNSS แบบดั้งเดิมไม่สามารถให้ความแม่นยำที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติตามมาตรฐาน เช่น NCAP ได้เสมอไป การรวมเซ็นเซอร์ช่วยปรับปรุงผลลัพธ์การนำทางในพื้นที่ที่มีปัญหาเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลการทดสอบยังคงมีความแม่นยำเพียงพอที่จะเป็นประโยชน์

แน่นอนว่าการทดสอบในร่มจะต้องเกิดขึ้นโดยไม่มีสัญญาณ GNSS เลย ในสภาพแวดล้อมเหล่านี้ ข้อมูล IMU จะต้องได้รับความช่วยเหลือจากข้อมูลเซ็นเซอร์/อุปกรณ์อื่น มิฉะนั้น การเบี่ยงเบนจะทำให้ผลลัพธ์สุดท้ายแทบจะไร้ประโยชน์ เทคนิคการผสมผสานเซ็นเซอร์จะให้แหล่งข้อมูลอื่นๆ แก่ INS ที่สามารถใช้ในการประมาณตำแหน่งได้

เซ็นเซอร์ทั่วไปที่ใช้:

- เซ็นเซอร์ความเร็วล้อ
- ระบบกำหนดตำแหน่ง UWB เช่น Poxyx 2GAD
- ไลดาร์

### การผสมผสานเซ็นเซอร์ในระบบนำทางอัตโนมัติ

ระบบนำทางอัตโนมัติมีหลายรูปแบบ ตั้งแต่หุ่นยนต์จัดเก็บสินค้าในอาคารไปจนถึงหุ่นยนต์เก็บผลไม้ ความท้าทายทั่วไปในสภาพแวดล้อมเหล่านี้คือการนำทางด้วยสัญญาณ GNSS ที่ไม่ดีหรือไม่มีเลย การรวมเซ็นเซอร์เป็นคำตอบ โดยนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์รับรู้บนหุ่นยนต์มาใช้เพื่อปรับปรุงความทนทานของโซลูชันการระบุตำแหน่ง

เซ็นเซอร์ทั่วไปที่ใช้:

- ไลดาร์
- กล้องวัดระยะทาง
- เรดาร์

#### 2.1.4) ระบบปฏิบัติการเรียลไทม์ (RTOS)

ระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ (Real-Time Operating System: RTOS) เป็นระบบปฏิบัติการ (OS) ซึ่งมักมีน้ำหนักเบา ที่ออกแบบมาเพื่อรันแอปพลิเคชันแบบมัลติเธรด และสามารถประมวลผลงานให้สำเร็จภายในกรอบเวลาที่กำหนดได้แบบเรียลไทม์ RTOS มีส่วนประกอบสำคัญ เช่น ตัวกำหนดตารางเวลา (Scheduler), การจัดการทรัพยากร (Resource Management) และ ไดรเวอร์อุปกรณ์ (Device Drivers)

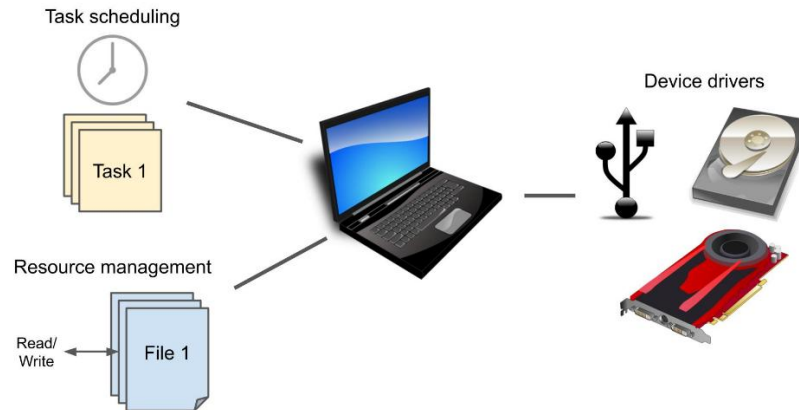
โปรดทราบว่า "การทำงานตามกำหนดเวลา" ในบริบทของ RTOS ไม่ได้หมายความว่า "ทำงานเร็วเสมอไป" แต่หมายถึง "ความแน่นอน" ในการทำงาน กล่าวคือ เราสามารถระบุเวลาที่งานหนึ่งจะดำเนินการได้อย่างชัดเจนก่อนการทำงานจริง (Pre-runtime Scheduling)

#### ระบบปฏิบัติการเอนกประสงค์เทียบกับระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์

เมื่อกล่าวถึง "ระบบปฏิบัติการ" มักจะนึกถึงระบบปฏิบัติการเอนกประสงค์ (General-Purpose Operating Systems: GPOS) เช่น Windows, macOS และ Linux ซึ่งได้รับการออกแบบเพื่อรองรับการโต้ตอบกับผู้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบเหล่านี้มักมาพร้อมกับอินเทอร์เฟซผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นอินเทอร์เฟซแบบบรรทัดคำสั่ง (Command-Line Interface: CLI) หรืออินเทอร์เฟซผู้ใช้แบบกราฟิก (Graphical User Interface: GUI) และสามารถรองรับการทำงานของหลายแอปพลิเคชันพร้อมกันผ่านการใช้งานมัลติเธรด (Multithreading) นอกจากนี้ GPOS ยังมีความสามารถในการจัดการทรัพยากรและไฟล์ รวมถึงการสนับสนุนไดรเวอร์อุปกรณ์ที่หลากหลาย

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการออกแบบ GPOS เน้นไปที่การโต้ตอบกับผู้ใช้เป็นหลัก จึงมีการยอมรับความล่าช้าในระดับหนึ่งได้ トラバディที่ไม่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้ใช้โดยตรง ด้วยเหตุนี้ การคาดการณ์เวลาที่แน่นอนสำหรับการดำเนินงานจึงเป็นเรื่องยาก หรือในบางกรณีอาจเป็นไปได้เลยในระบบ GPOS

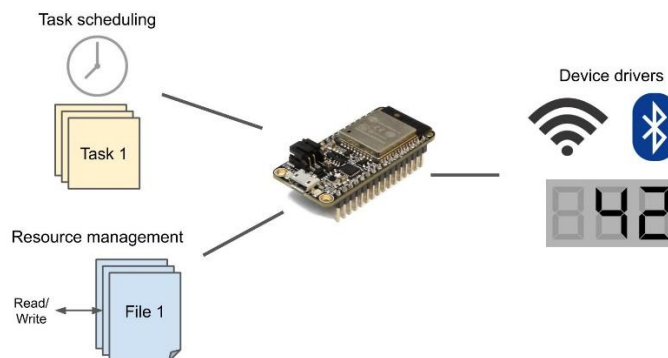
## General Purpose Operating System (GPOS)



ภาพที่ 2.3 General-Purpose Operating Systems: GPOS

ในทางกลับกัน ระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ (Real-Time Operating Systems: RTOS) ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ได้รวมถึงอินเทอร์เฟซผู้ใช้ที่ซับซ้อน เช่น CLI หรือ GUI RTOS มุ่งเน้นที่การดำเนินงานเฉพาะด้านในแต่ละช่วงเวลา โดยไม่ต้องมีการโต้ตอบกับผู้ใช้อย่างต่อเนื่อง การออกแบบนี้เหมาะสมกับงานที่มีกำหนดเวลาที่ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เช่น การจุดประกายหัวเทียนในเครื่องยนต์ในทุกมิลลิวินาที การควบคุมอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของชีวิต หรือการปรับทิศทางเครื่องขับเคลื่อนของดาวเทียมเพื่อให้ยังคงอยู่ในวงโคจร

## Real-Time Operating System (RTOS)



ภาพที่ 2.4 Real-Time Operating Systems: RTOS

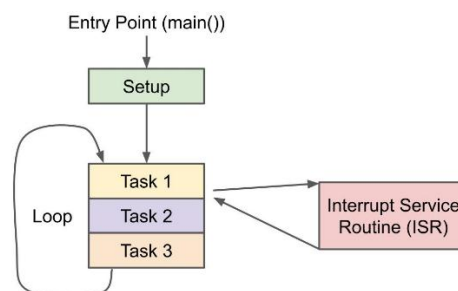
แม้ว่า RTOS หลายตัวจะมาพร้อมกับไลบรารีสำหรับการจัดการทรัพยากร เช่น การอ่านและเขียนไฟล์ รวมถึงไดรเวอร์อุปกรณ์สำหรับงานเฉพาะทาง เช่น สแต็ก WiFi, Bluetooth และไดรเวอร์หน้าจอ LCD แต่โดยทั่วไปแล้ว ไดรเวอร์ใน RTOS จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าไดรเวอร์ใน GPOS เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์มักไม่ได้รับการออกแบบให้จัดการกับงานที่ต้องใช้ทรัพยากรสูง เช่น การควบคุมการด์กราฟิก

ด้วยลักษณะการออกแบบที่แตกต่างกัน ระบบ GPOS และ RTOS จึงเหมาะสมกับการใช้งานในบริบทที่ต่างกัน โดย GPOS เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความยืดหยุ่นและการโต้ตอบกับผู้ใช้ ขณะที่ RTOS ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับงานที่ต้องการความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในเวลาที่กำหนดอย่างเข้มงวด

### การเปรียบเทียบ Super Loop กับแอปพลิเคชันแบบมัลติเธรด

ในงานพัฒนาแอปพลิเคชันฝังตัว (Embedded Applications) สถาปัตยกรรมแบบ Super Loop เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยม โดยเฉพาะสำหรับแพลตฟอร์มอย่าง Arduino สถาปัตยกรรมนี้ไม่ต้องพึ่งพาระบบปฏิบัติการ โครงสร้างการทำงานมีความเรียบง่าย โดยในฟังก์ชัน `main()` ผู้พัฒนาจะทำการตั้งค่าตัวแปร ไดรเวอร์ และไลบรารีที่จำเป็น หลังจากนั้นจะดำเนินการงานต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องในลูป `while(true)` ฟังก์ชันนี้มีความคล้ายคลึงกับ `setup()` และ `loop()` ที่พบในไลบรารี Arduino ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เรียกใช้จาก `main()` อีกครั้งหนึ่ง

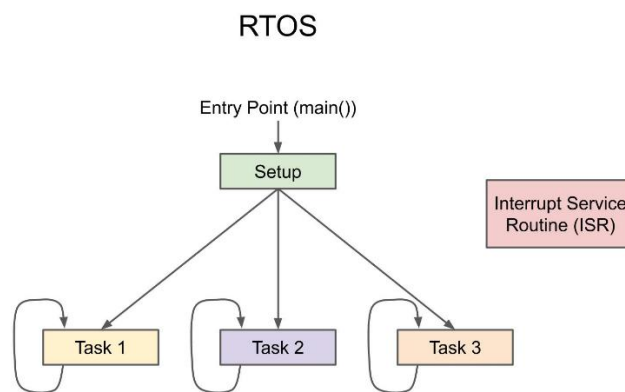
#### Super Loop



ภาพที่ 2.5 Super Loop

แม้ว่าสถาปัตยกรรม Super Loop จะมีข้อจำกัด แต่ก็ยังคงได้รับความนิยมเนื่องจากมีความง่ายต่อการพัฒนาและแก้ไขข้อบกพร่อง นอกจากนี้ยังสามารถรองรับการขัดจังหวะ (Interrupt) ผ่านการเขียนโปรแกรมที่ใช้ Interrupt Service Routine (ISR) โดยการขัดจังหวะจะหยุดการทำงานของลูปเพื่อดำเนินการตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น การหมดเวลาของตัวจับเวลา (Timer) หรือการกดปุ่ม

หากมีงานหลายอย่างที่ต้องดำเนินการในลูปหลัก แนวทางปกติคือการทำงานแบบ Round-Robin อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนงานเพิ่มขึ้น อาจเกิดปัญหาที่บางงานไม่สามารถดำเนินการได้ตรงตามกำหนดเวลาหรือส่งผลต่อความสามารถของพีเจอรอื่น ๆ ในกรณีนี้ ระบบปฏิบัติการแบบเรียลไทม์ (RTOS) สามารถเข้ามาช่วยแก้ปัญหาได้ RTOS ช่วยให้งานสามารถดำเนินการพร้อมกันได้ผ่านการจัดการเธรด โดยในระหว่างการขัดจังหวะ ISR จะทำการหยุดงานที่กำลังดำเนินการและดำเนินการโค้ดตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงส่งการทำงานกลับไปยังงานที่ถูกหยุดไว้



ภาพที่ 2.6 RTOS

ใน RTOS มีคำศัพท์หลายคำที่อาจสร้างความสับสน ได้แก่:

- งาน (Task): ชุดคำสั่งที่ถูกโหลดเข้าสู่หน่วยความจำ อาจหมายถึงหน่วยงานหรือเป้าหมายเฉพาะ
- เธรด (Thread): หน่วยการประมวลผลของ CPU ที่มีตัวนับโปรแกรมและหน่วยความจำสแต็กเป็นของตนเอง
- กระบวนการ (Process): อินสแตนซ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถประกอบไปด้วย

เซตหลายตัว โปรแกรมฝังตัวส่วนใหญ่มักเขียนเป็นกระบวนการเดียว ในขณะที่ GPOS สามารถมีหลายกระบวนการทำงานพร้อมกัน

ในบริบทของ FreeRTOS คำว่า "Task" ถูกใช้ในความหมายเดียวกับ "Thread" ในเฟรมเวิร์กอื่น ๆ เช่น POSIX ดังนั้นในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ผู้พัฒนาควรทราบถึงความหมายที่ใช้ในเอกสารประกอบของ FreeRTOS เพื่อให้เข้าใจตรงกัน

การเลือกใช้ RTOS หรือ Super Loop ขึ้นอยู่กับความต้องการของโครงการ หากไม่จำเป็นต้องใช้มัลติเธรด สถาปัตยกรรม Super Loop อาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมเนื่องจากมีความง่ายในการพัฒนาและแก้ไขข้อบกพร่อง อย่างไรก็ตาม หากมีความจำเป็นต้องรันงานหลายรายการหรือมีข้อกำหนดด้านเวลาที่เคร่งครัด RTOS จะเป็นตัวเลือกที่ตอบโจทย์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ RTOS ยังช่วยให้การพัฒนาโค้ดแบบโมดูลาร์ง่ายขึ้น โดยทีมพัฒนาสามารถแยกงานออกจากกันและพัฒนาพร้อมกันได้ ทำให้เหมาะสำหรับโครงการที่มีขนาดใหญ่หรือมีทีมพัฒนาแบบกระจาย

การแก้ไขข้อบกพร่องใน RTOS อาจมีความซับซ้อนในช่วงท้ายของการพัฒนา เนื่องจากต้องบูรณาการและตรวจสอบความสอดคล้องของงานทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ข้อดีที่ RTOS มอบให้ เช่น การจัดการมัลติเธรดและการรองรับงานแบบเรียลไทม์ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นมากขึ้น

### 2.1.5) Machine learning

Machine Learning (ML) คือกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นสมองของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) โดยสามารถกล่าวได้ว่า AI ใช้ ML เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาความฉลาด และสร้างแบบจำลอง (Model) ที่เกิดจากการเรียนรู้โดยอัตโนมัติ ไม่ได้เกิดจากการเขียนคำสั่งโดยมนุษย์โดยตรง

บทบาทของมนุษย์ในกระบวนการนี้คือการพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยให้ระบบ AI สามารถเรียนรู้จากข้อมูลที่ป้อนเข้าไปได้ เครื่องจะดำเนินการเรียนรู้และพัฒนาตัวเองต่อไปโดยอิสระ การทำงานของ ML จะอาศัยข้อมูลที่ป้อนเข้าไเพื่อกระตุ้นการเรียนรู้ ระบบจะจดจำข้อมูลเหล่านี้เป็นองค์ความรู้ และนำไปประมวลผลให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบตัวเลข โค้ด หรือคำตอบที่สามารถส่งต่อไปยังระบบแสดงผล หรือระบบปฏิบัติการของ AI เพื่อดำเนินการต่อไป

ML ถูกออกแบบมาให้รองรับการใช้งานในหลากหลายรูปแบบ โดยอาศัยกลไกที่เรียกว่า

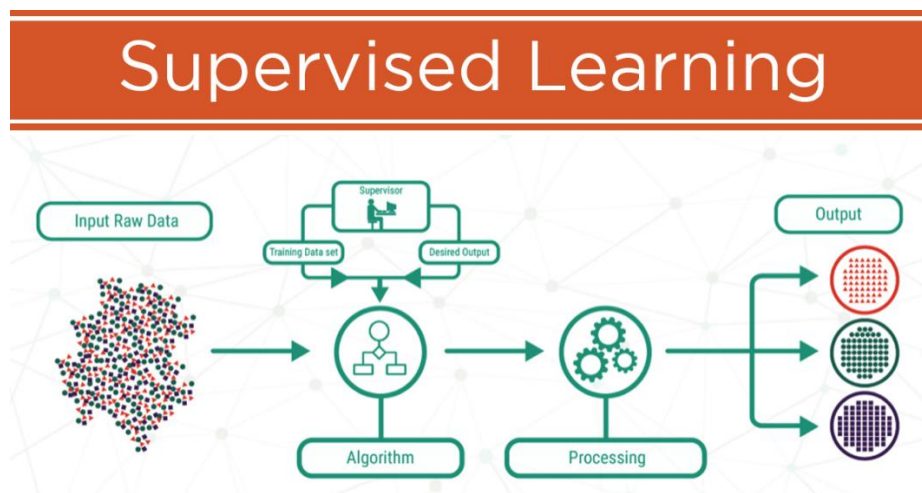
อัลกอริทึม (Algorithm) ซึ่งถูกพัฒนาและออกแบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านข้อมูล (Data Scientist) อัลกอริทึมเหล่านี้มีหลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลและปัญหาที่ต้องการแก้ไข

หนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือ Deep Learning ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ ML และถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานได้ง่าย รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการพัฒนา Data Scientist ต้องวางแผนและกำหนดตัวแปรที่เหมาะสม รวมถึงทดลองเปรียบเทียบอัลกอริทึมหลากหลายรูปแบบเพื่อค้นหาโซลูชันที่มีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับการใช้งานจริง

Machine Learning จึงเป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยให้ AI สามารถพัฒนาศักยภาพในการทำงานและแก้ปัญหาได้อย่างชาญฉลาดและเหมาะสมกับความต้องการในสถานการณ์ต่าง ๆ

### Supervised learning

Supervised Learning หรือการเรียนรู้แบบมีการกำกับดูแล เป็นเทคนิคการเรียนรู้ที่อัลกอริทึมได้รับการฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลที่มีป้ายกำกับ (Labeled Data) ซึ่งแต่ละชุดข้อมูลจะประกอบด้วยอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output) ที่ทราบล่วงหน้า ผู้ปฏิบัติงานจะทำการตรวจสอบและแก้ไขผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของระบบ กระบวนการนี้จะดำเนินไปจนกว่าระบบจะมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้

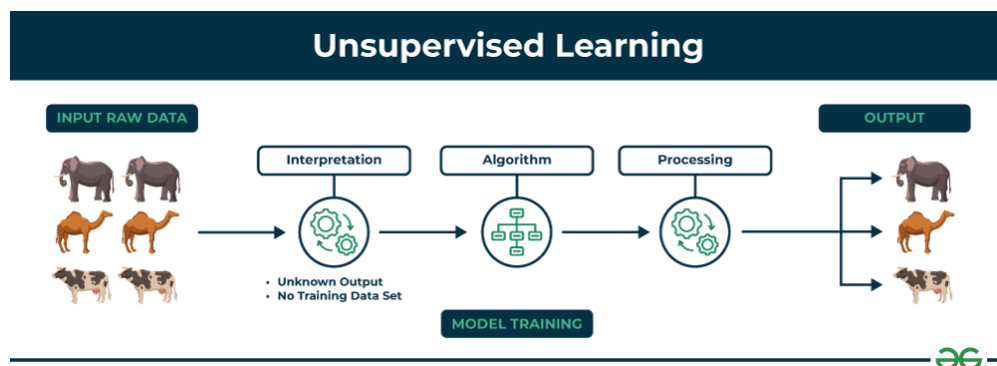


ภาพที่ 2.7 Supervised learning



## Unsupervised learning

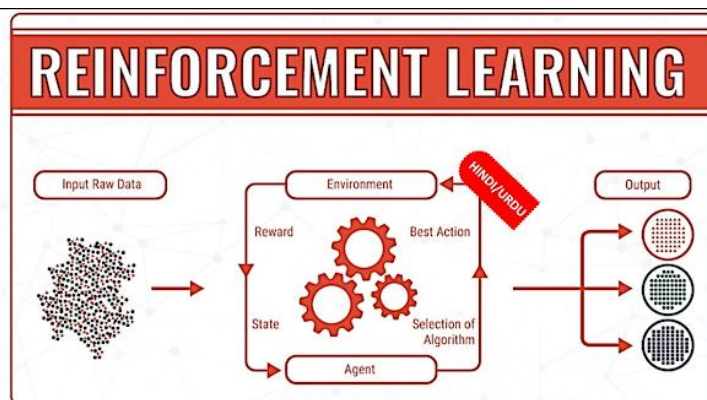
Unsupervised Learning หรือการเรียนรู้แบบไม่มีการกำกับดูแล เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่อัลกอริทึม ML ได้รับข้อมูลจำนวนมากโดยไม่มีคำแนะนำหรือป้ายกำกับใด ๆ อัลกอริทึมมีอิสระในการจัดระเบียบและจัดกลุ่มข้อมูลตามความเหมาะสม ซึ่งมักใช้สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบหรือการค้นหความสัมพันธ์ในข้อมูลที่ไม่รู้จักล่วงหน้า



ภาพที่ 2.8 Unsupervised learning

## Reinforcement learning

Reinforcement learning (การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง) ดำเนินการตามกระบวนการที่กำหนดไว้เพื่อสอนอัลกอริทึมในวิธีที่ใช้การลองผิดลองถูก ผู้ปฏิบัติงานสร้างพารามิเตอร์ที่รัดกุมและให้ชุดการดำเนินการที่กำหนดไว้ชัดเจนแก่ระบบ ML อัลกอริทึมจะสำรวจชุดข้อมูลภายในขอบเขตเหล่านั้นและเรียนรู้ว่ากลยุทธ์ใดให้ผลลัพธ์ที่ต้องการ



ภาพที่ 2.9 Reinforcement learning

## 2.2) การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 การติดตามเส้นทางด้วยอัลกอริธึม (Path Following for Autonomous Ground Vehicle Using DDPG Algorithm: A Reinforcement Learning Approach)

บทความนี้นำเสนอวิธีการควบคุมยานยนต์อัตโนมัติที่ใช้ Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) ซึ่งเป็นอัลกอริธึมการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) ที่ช่วยให้ยานยนต์สามารถติดตามเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การทดลองในสภาพแวดล้อมจำลองเพื่อฝึกอัลกอริธึมในการปรับปรุงพฤติกรรมของยานยนต์เมื่อเผชิญกับสถานการณ์ต่างๆ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ และสามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อน (<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/11/6847>)

#### จุดเด่น

- ใช้การเรียนรู้แบบเสริมในการควบคุม ทำให้ยานยนต์สามารถเรียนรู้จากประสบการณ์และปรับตัวได้ในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน
- ความสามารถในการปรับปรุงการควบคุมยานยนต์ในสภาพแวดล้อมที่มีความไม่แน่นอน

#### จุดด้อย

- ต้องการการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงและข้อมูลจำนวนมากในการฝึกอบรม
- อาจมีความซับซ้อนในการปรับพารามิเตอร์และการออกแบบโมเดล

### 2.2.2 Lane Detection: The 3 types of Deep Learning Algorithms

บทความนี้เสนอภาพรวมของอัลกอริธึมการตรวจจับเลนที่ใช้ Deep Learning โดยแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ Convolutional Neural Networks (CNNs), Recurrent Neural Networks (RNNs) และ Attention-based Networks แต่ละประเภทมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น CNNs มักมีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผลภาพที่มีลักษณะนิ่ง ส่วน RNNs

เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีลำดับและการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ Attention-based Networks มักสามารถจัดการกับข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีขึ้น (<https://www.thinkautonomous.ai/blog/lane-detection/>)

จุดเด่น

- สามารถประมวลผลภาพได้อย่างแม่นยำด้วยการใช้ Deep Learning
- มีความสามารถในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้

จุดด้อย

- ต้องการข้อมูลการฝึกอบรมที่มากและมีคุณภาพ
- อาจมีการใช้พลังงานและทรัพยากรระบบมากเมื่อประมวลผลภาพในเวลาจริง

### 2.2.3 อัลกอริธึมตรวจจับช่องทางเดินรถสำหรับยานยนต์อัตโนมัติ

งานวิจัยนี้พัฒนาอัลกอริธึมที่ใช้ในการตรวจจับช่องทางเดินรถโดยใช้การประมวลผลภาพและเทคนิคต่างๆ เพื่อให้สามารถติดตามเส้นทางได้อย่างแม่นยำในสภาพแวดล้อมจริง อัลกอริธึมนี้สามารถใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์และกล้องเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับเลน โดยมีการประเมินผลในสถานการณ์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ (<https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4879/1/TassanaiAmkamnoet.pdf>)

จุดเด่น

- สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนได้
- ออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการของระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ

จุดด้อย

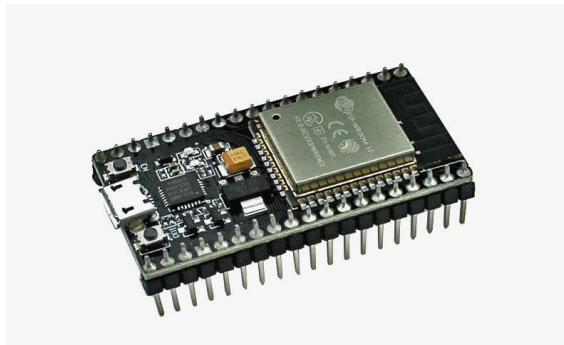
- อาจมีข้อจำกัดในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่รุนแรง

- ความแม่นยำอาจลดลงเมื่อเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ไม่เป็นมาตรฐาน เช่น ฝนตก หรือหิมะตก

## 2.3) เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

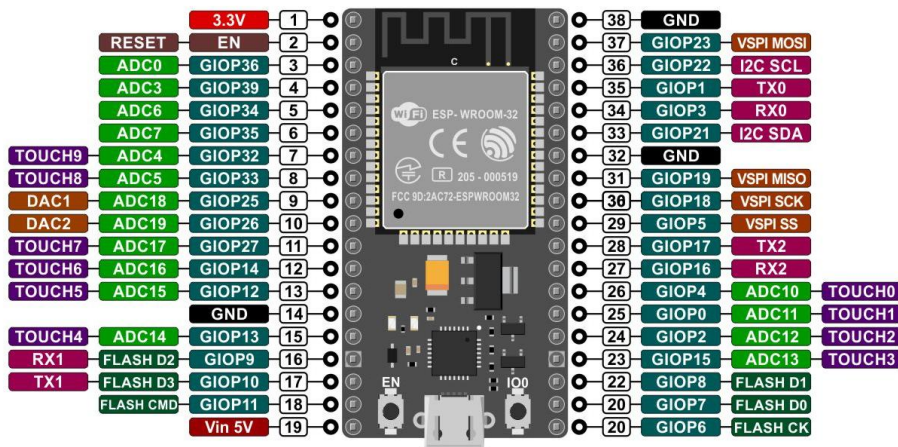
เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้แก่

### 2.3.1 บอร์ดควบคุม ESP32 38pin ESP32S Chip CP2102 WIFI Bluetooth Board ESP-WROOM-32 NodeMCU 38ขา



ภาพที่ 2.10 บอร์ด ESP32 NodeMCU ESP-WROOM-32

บอร์ด ESP32 NodeMCU ESP-WROOM-32 เป็นโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth ซึ่งพัฒนาขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ของ Espressif Systems มีคุณสมบัติเด่นที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) และโปรเจกต์การประมวลผลแบบฝังตัว (Embedded Systems) ด้วยฟังก์ชันครบครันและพลังประมวลผลสูง



ภาพที่ 2.11 ขาการเชื่อมต่อบอร์ด ESP32 NodeMCU ESP-WROOM-32

คุณสมบัติสำคัญ

- 1.) หน่วยประมวลผล: ใช้ Dual-Core Tensilica LX6 CPU ความเร็วสูงสุด 240 MHz  
รองรับการทำงานแบบมัลติทาสก์ (Multitasking)
- 2.) การเชื่อมต่อ: Wi-Fi 802.11 b/g/n Bluetooth 4.2 + BLE (Bluetooth Low Energy)
- 3.) ความจำ: RAM: 520 KB  
Flash Memory: 4 MB (สำหรับเก็บโค้ดและข้อมูล)
- 4.) การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก: GPIO (General Purpose Input/Output) 38 พิน  
ADC (Analog to Digital Converter)  
PWM, SPI, I2C, I2S, UART

บอร์ด ESP32 38pin มีขาทั้งหมด 38 ขา โดยแบ่งหน้าที่ดังนี้

**ขาหลัก (Power Pins):**

1. **Vin:** ใช้สำหรับจ่ายไฟ 5V โดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟภายนอก (เมื่อไม่ได้ใช้ USB)
2. **3.3V:** แรงดันไฟฟ้า 3.3V สำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ภายนอก เช่น เซ็นเซอร์

3. GND: ขากราวด์ (Ground) สำหรับเชื่อมต่อกับกราวด์ของวงจรอื่น

#### ขาดิจิทัล (Digital Pins):

- GPIO 0 ถึง GPIO 39: ขาอินพุต/เอาต์พุตดิจิทัลที่สามารถตั้งค่าเป็น HIGH (1) หรือ LOW (0) ได้

#### ขานาล็อก (Analog Pins):

- ADC (Analog to Digital Converter): ขา GPIO ที่สามารถอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกได้ (0-3.3V)
- DAC (Digital to Analog Converter): ขาที่สามารถส่งสัญญาณอนาล็อกออกได้

#### ขาการสื่อสาร (Communication Pins):

1. UART (Serial):
  - RX และ TX: ใช้สำหรับการส่งและรับข้อมูลแบบอนุกรม เช่น การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Serial อื่นๆ
2. I2C (Inter-Integrated Circuit):
  - SDA (Data) และ SCL (Clock): ใช้สำหรับการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ที่รองรับ I2C
3. SPI (Serial Peripheral Interface):
  - MOSI, MISO, SCK, และ SS: ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ SPI เช่น หน้าจอ OLED

#### ขา PWM (Pulse Width Modulation):

- ขา GPIO หลายขาสามารถใช้ส่งสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์หรือความสว่างของ LED ได้

#### ขาอื่น ๆ:

- EN: ใช้เปิดหรือปิดการทำงานของชิป ESP32
- BOOT (IO0): ใช้สำหรับเข้าสู่โหมดบูตโหลดเดอร์เพื่อเขียนโปรแกรม

### 2.3.2 แหล่งพลังงานและสวิตช์เปิดปิดแหล่งจ่ายไฟ

การจัดการแหล่งพลังงานสำหรับระบบที่ใช้แบตเตอรี่ 12V จำนวน 4 ก้อน ควรออกแบบให้มีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการเพิ่มสวิตช์เปิด-ปิดเพื่อควบคุมการจ่ายไฟฟ้าอย่างสะดวก

#### แบตเตอรี่

- ประเภทแบตเตอรี่: แบตเตอรี่ 12V (ชนิด Lead-Acid, Li-ion หรืออื่น ๆ)
- จำนวน: 4 ก้อน
- แรงดันไฟฟ้า:
  - เชื่อมต่อแบบอนุกรม: แรงดันรวม = 48V
  - เชื่อมต่อแบบขนาน: แรงดันรวม = 12V แต่เพิ่มความจุไฟฟ้า (Ah)
- กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่รองรับ: ขึ้นอยู่กับแบตเตอรี่ (เช่น 7Ah, 10Ah หรือมากกว่า)

#### สวิตช์เปิด-ปิด

- ประเภทสวิตช์: Single Pole Single Throw (SPST) หรือ Double Pole Single Throw (DPST) หากต้องการแยกการควบคุมขั้วบวกและลบ
- ความสามารถของสวิตช์:
  - แรงดันไฟฟ้าสูงสุด: 50V หรือสูงกว่า
  - กระแสไฟฟ้าสูงสุด: ควรเลือกที่รองรับกระแสได้มากกว่ากระแสโหลดเล็กน้อย เช่น 20A, 30A

### 2.3.3 LM2596HVS dc-dc

LM2596HVS เป็นโมดูลแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ชนิด Step-Down (Buck Converter) ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยลดแรงดันไฟฟ้าจากระดับสูงให้ต่ำลงตามความต้องการ โดยเน้นความสะดวกในการใช้งานและประสิทธิภาพสูง ตัวโมดูลนี้สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่มีค่าสูงถึง 60V และให้แรงดันขาออกที่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 1.23V ถึง 37V โดยมีกระแสจ่ายสูงสุดถึง 3A



ภาพที่ 2.12 LM2596HVS dc-dc

โมดูลนี้ใช้เทคโนโลยีการทำงานแบบสวิตชิ่งที่ให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงกว่า 90% ซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน ทำให้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าและการประหยัดพลังงาน

#### คุณสมบัติหลัก

- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input Voltage): 4.5V ถึง 60V
- แรงดันไฟฟ้าขาออก (Output Voltage): 1.23V ถึง 37V (ปรับค่าได้)
- กระแสไฟฟ้าขาออก (Output Current): สูงสุด 3A (ควรเพิ่มระบบระบายความร้อนสำหรับการใช้งานที่กระแสสูง)
- ประสิทธิภาพ: สูงสุด 90%
- ความถี่สวิตชิ่ง (Switching Frequency): 150 kHz
- การป้องกันในตัว:
  - ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)
  - ป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน (Thermal Shutdown)
  - ป้องกันแรงดันไฟฟ้าต่ำเกิน (Undervoltage Lockout)

#### คุณสมบัติพิเศษ

1. ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้อย่างง่ายดาย
  - เพียงหมุนตัวต้านทานปรับค่า (Potentiometer) บนโมดูลเพื่อเลือกแรงดันที่ต้องการ
2. ระบบป้องกันในตัว
  - มีวงจรป้องกันที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยสำหรับการใช้งานในวงจรไฟฟ้าจริง



### 3. การใช้งานหลากหลาย

- สามารถใช้งานกับแบตเตอรี่, ระบบพลังงานแสงอาทิตย์, และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

LM2596HVS เป็นตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า DC-DC ที่มีความสามารถในการลดแรงดันไฟฟ้าขาเข้าได้สูงถึง 60V และปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้หลากหลาย ด้วยคุณสมบัติที่ครบถ้วนและประสิทธิภาพที่สูง จึงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า

#### 2.3.4 Bldc motor controller 48V 2000W

ตัวควบคุมมอเตอร์หรือที่เรียกว่าระบบขับเคลื่อนคือสมองของมอเตอร์ BLDC รับอินพุตจากเซ็นเซอร์ฮอลล์และสัญญาณควบคุมอื่นๆ เพื่อกำหนดลำดับการเปลี่ยนที่ต้องการ จากนั้นตัวควบคุมจะจ่ายพลังงานที่จำเป็นให้กับขดลวดมอเตอร์ เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานจะราบรื่นและมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.13 Bldc motor controller 48V 2000W

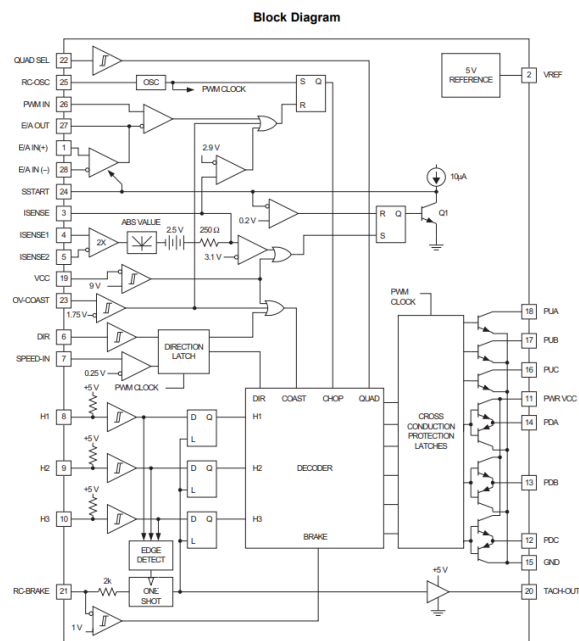
ตัวควบคุมมอเตอร์หรือที่เรียกว่าระบบขับเคลื่อนคือสมองของมอเตอร์ BLDC รับอินพุตจากเซ็นเซอร์ฮอลล์และสัญญาณควบคุมอื่นๆ เพื่อกำหนดลำดับการเปลี่ยนที่ต้องการ จากนั้นตัวควบคุมจะจ่ายพลังงานที่จำเป็นให้กับขดลวดมอเตอร์ เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานจะราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

มอเตอร์บัสเลนนั้นจะใช้ไฟแรงดันต่ำโดยจะมีกล่องควบคุมมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงไฟฟ้าดีซี (DC) มาเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 3 เฟส โดยใช้หลักการทำงาน

ของ Pulse-width modulation (PWM) เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์หมุน โดยกลองควบคุมนี้จะมีหน้าที่หลักคือแปลงไฟฟ้าระบบตีสี่ (DC) มาเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และคอยควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ข้างในมอเตอร์จะมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของมอเตอร์เพื่อป้องกันมอเตอร์ร้อนเกินจนทำให้มอเตอร์ได้รับความเสียหายได้

มอเตอร์บัสเลสจะไม่สามารถต่อกับแหล่งไฟกระแสตรงโดยตรงได้ เพราะในการทำงานนั้นมันต้องผ่านชุดกลองควบคุมเท่านั้น โดยมอเตอร์บัสเลสจะมีสายไฟจากตัวมอเตอร์มาที่กลองควบคุม 3 เส้นและจะมีสายสัญญาณอีก 1 เส้นที่เป็นตัวเซ็นเซอร์สัญญาณความร้อนของมอเตอร์เพื่อส่งมาที่กลองคอนโทรล

Block Diagram:



ภาพที่ 2.14 Block Diagram Bldc motor controller 48V 2000W

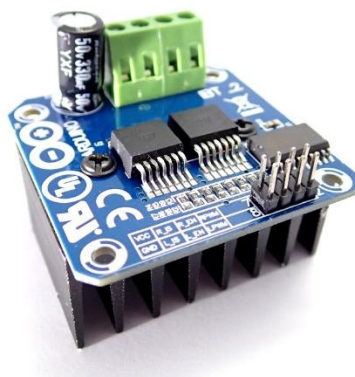
การป้องกันการเกิดการนำไฟฟ้าข้าม

การป้องกันการเกิดการนำไฟฟ้าข้าม (cross conduction) ในมอเตอร์ BLDC (Brushless DC Motor) เกิดขึ้นโดยการควบคุมการเปิดและปิดของอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ในวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ในส่วนบนและล่างเปิดพร้อมกัน ซึ่งสามารถทำได้

โดยการเพิ่มเวลา deadtime ระหว่างการสลับสถานะของ MOSFET หรือใช้วงจรจับเคลื่อนที่มีฟังก์ชันการป้องกันการนำไฟฟ้าข้ามในตัวเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

### 2.3.5 BTS7960 43A H-Bridge PWM Drive

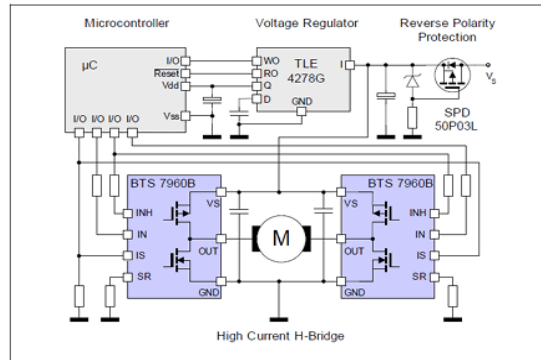
IBT-2 (BTS7960) เป็นโมดูลขนาดกระทัดรัดสำหรับขับ Motor (PWM at 25kHz ร่วมกับ active freewheeling) เหมาะสำหรับควบคุม High Power Motor โดยทำงานที่ 24V และสามารถขับได้ที่กระแสสูงสุดถึง 43A ที่มาพร้อมกับ Protection ต่างๆไม่ว่าจะเป็น Over-Voltage, Under-Voltage, Over-Temperature



ภาพที่ 2.15 BTS7960 43A H-Bridge PWM Drive

BTS7960 เป็นโมดูล H Bridge กระแสสูงแบบรวมศูนย์สำหรับการใช้งานไดรฟ์มอเตอร์ การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทำได้ง่ายด้วย IC ไดรเวอร์ในตัวซึ่งมีอินพุตระดับลอจิก การวินิจฉัยด้วยการตรวจจับสนะไฟฟ้า การปรับอัตราสลับ การสร้างเวลาตาย และการป้องกันอุณหภูมิที่สูงเกินไป แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันตกต่ำ กระแสไฟเกิน และการลัดวงจร และการป้องกันอุณหภูมิเกิน แรงดันไฟเกิน แรงดันไฟต่ำ กระแสเกิน และไฟฟาลัดวงจร BTS7960 มอบโซลูชันที่คุ้มค่าสำหรับไดรฟ์มอเตอร์ PWM กระแสสูงที่ได้รับการป้องกันพร้อมการใช้พื้นที่บอร์ดที่ต่ำมาก

Schematic Diagram:



ภาพที่ 2.16 Schematic Diagram BTS7960 43A H-Bridge PWM Drive

Control Input Pin Function

ตารางที่ 2.1 Control Input Pin Function

Pin No	Function	Description
1	RPWM	สัญญาณ PWM สำหรับควบคุมการเคลื่อนไปข้างหน้า (Forward Level or PWM signal), Active High
2	LPWM	สัญญาณ PWM สำหรับควบคุมการถอยหลัง (Reverse Level or PWM signal), Active High
3	R_EN	พินเปิดใช้งานขับเคลื่อนไปข้างหน้า (Forward Drive Enable Input), Active High/Low Disable
4	L_EN	พินเปิดใช้งานขับเคลื่อนถอยหลัง (Reverse Drive Enable Input), Active High/Low Disable
5	R_IS	เอาต์พุตแจ้งเตือนกระแสสูงเกิน (Forward Drive, Side current alarm output)
6	L_IS	เอาต์พุตแจ้งเตือนกระแสสูงเกิน (Reverse Drive, Side current alarm output)
7	VCC	แหล่งจ่ายไฟ +5V สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์
8	GND	กราวด์สำหรับแหล่งจ่ายไฟของไมโครคอนโทรลเลอร์

## Motor Power Supply & Output Pin Assignment

ตารางที่ 2.2 Motor Power Supply & Output Pin Assignment

Pin No	Func tion	Description
1	B+	แหล่งจ่ายไฟบวกสำหรับมอเตอร์ (6~27VDC)
2	B-	แหล่งจ่ายไฟลบ (กราวด์) สำหรับมอเตอร์
3	M+	ขั้วบวกของมอเตอร์ (Motor Output +)
4	M-	ขั้วลบของมอเตอร์ (Motor Output -)

### 2.3.6 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ ( Motor) เป็นตัวบอกกำลังการขับเคลื่อน แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ มอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed motor) และมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless motor)

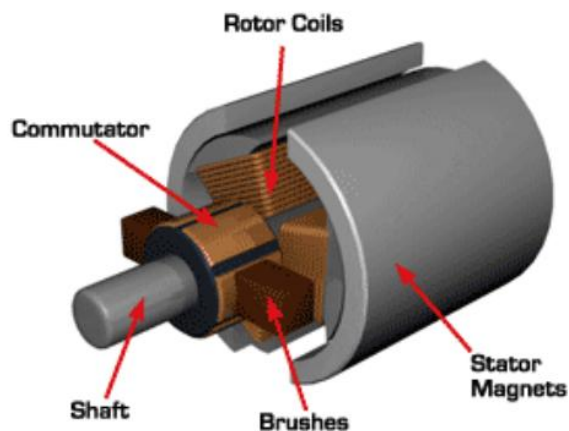
#### มอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำงานจากแหล่งจ่ายกระแสตรงโดยใช้แปรงถ่านในการสับเปลี่ยนภายใน โดยมอเตอร์แบบแปรงถ่าน ให้การควบคุมความเร็วที่แม่นยำ และอัตราส่วนแรงบิดต่อความเฉื่อยที่สูง โดยมีการจ่ายแรงบิดได้มากกว่าแรงบิดที่กำหนดถึงสามถึงสี่เท่า หากจำเป็น มอเตอร์แบบแปรงถ่าน สามารถจ่ายแรงบิดได้มากกว่าถึงห้าเท่าโดยไม่หยุดชะงัก

มอเตอร์แบบแปรงถ่านมีส่วนประกอบดังนี้

1. Axle (เพลา)เป็นแกนกลางที่เชื่อมต่อกับโรเตอร์ ทำหน้าที่ถ่ายพลังงานจากการหมุนไปใช้งาน เช่น ขับเคลื่อนล้อหรือเครื่องจักร
2. Armature/Rotor เป็นส่วนที่หมุนได้ของมอเตอร์ ประกอบด้วย Rotor Windings ที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก
3. Rotor Windings หรือ ขดลวดโรเตอร์ คือ ขดลวดที่พันรอบแกนโรเตอร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะเกิดสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักหรือแรงดึงกับแม่เหล็กในสเตเตอร์

4. Commutator ทำหน้าที่สลับทิศทางการกระแสไฟฟ้าในขดลวดโรเตอร์ ช่วยให้แรงแม่เหล็กที่สร้างขึ้นสามารถหมุนต่อเนื่องได้
5. Stator เป็นแม่เหล็กถาวรหรือแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็กรอบโรเตอร์
6. Magnets หรือ แม่เหล็ก ที่ติดอยู่ในสเตเตอร์ สร้างสนามแม่เหล็กถาวรที่โต้ตอบกับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์
7. Brushes หรือ แปรงถ่าน เป็นตัวนำไฟฟ้าที่สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ และ ส่งกระแสไฟจากแหล่งจ่ายไฟ DC ภายนอกไปยังขดลวดโรเตอร์

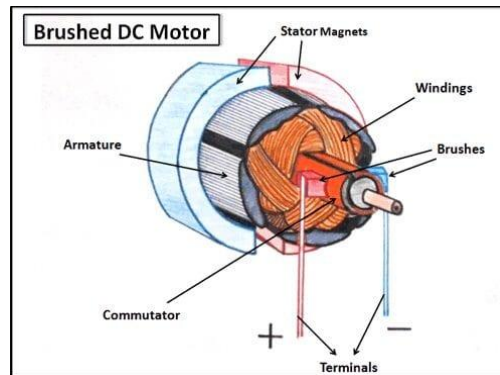


ที่มาของภาพ: electrical4u.com

ภาพที่ 2.17 มอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed motor)

#### การทำงานของมอเตอร์แบบแปรงถ่าน

เมื่อมอเตอร์แปรงถ่านเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดโรเตอร์ ซึ่งสร้างสนามแม่เหล็กที่มีการโต้ตอบกับสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุน เมื่อโรเตอร์หมุน แปรงถ่านจะสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ เพื่อเปลี่ยนทิศทางการกระแสไฟฟ้า ทำให้การหมุนเกิดขึ้นต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 2.18 การทำงานมอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed motor)

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แปรงถ่าน ทำได้โดยความเร็วของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โรเตอร์ ยิ่งแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น ความสัมพันธ์นี้เป็นแบบเส้นตรงจนถึงความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ สามารถควบคุมความเร็วได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย

#### มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

หลักแนวคิดของ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน คือการไม่มีสวิตช์เพื่อส่งกระแสไฟ จึงไม่เกิดการสปาร์ค อีกทั้งยังใช้งานแม่เหล็กถาวรมากขึ้น เมื่อรวมกับทรานซิสเตอร์แรงดันสูงก็ทำให้ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน สามารถผลิตพลังงานได้มากเท่ากับมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน



ภาพที่ 2.19 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

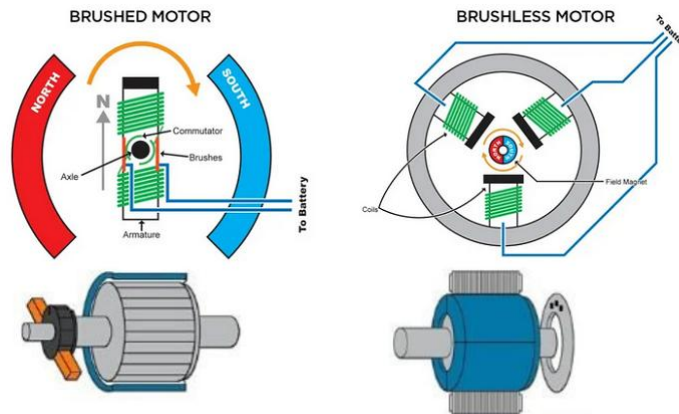
การหมุนของโรเตอร์ที่มีแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะถูกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กจากขดลวดของสเตเตอร์ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน การหมุนของโรเตอร์จะต้องตรวจจับตำแหน่งของมันผ่านเซ็นเซอร์ฮอลล์ หรือเซ็นเซอร์แม่เหล็กอื่นๆ ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังตัวควบคุม (ไมโครคอนโทรลเลอร์) เพื่อปรับ

กระแสไฟฟ้าให้สอดคล้องกับตำแหน่งของโรเตอร์ เพื่อให้การหมุนดำเนินต่อไปอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

#### หลักการทำงานของมอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) ถูกออกแบบให้ไม่ต้องใช้คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน โดยการวางแม่เหล็กถาวรไว้ในโรเตอร์ (ส่วนที่หมุน) การหมุนของโรเตอร์จะดำเนินต่อเนื่องได้ด้วยการตรวจจับตำแหน่งของขั้วแม่เหล็ก และปรับการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดให้เหมาะสม ดังนั้น มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านจึงต้องการตัวขับ (Driver) ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการทำงาน

ในขณะเดียวกัน ตำแหน่งของแกนโรเตอร์จะถูกตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์ Hall Effect หรือเซ็นเซอร์แม่เหล็กชนิดอื่น ๆ (แม้ว่าจะมีมอเตอร์บางประเภทที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้เซ็นเซอร์ก็ตาม)



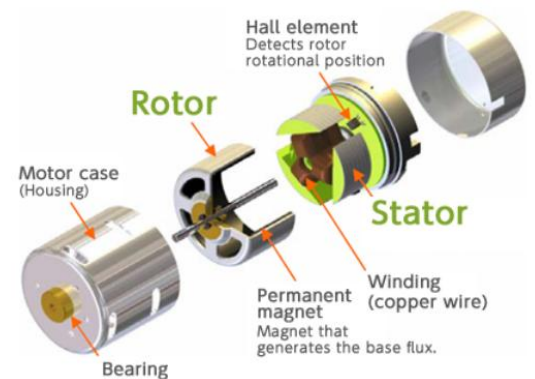
ภาพที่ 2.20 การทำงานมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)



## ประเภทของ Brushless DC motor

โดยลักษณะของโครงสร้างแล้วโรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้จะทำจากแม่เหล็กถาวรและจะหมุนเคลื่อนที่หรือวิ่งตามสนามแม่เหล็กที่เกิดจากฟิลด์หรือขดลวดสเตเตอร์หลังจากได้รับการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวด ซึ่งลักษณะของโรเตอร์โดยทั่วไปก็จะมี 2 รูปแบบดังนี้

1. ชนิดที่โรเตอร์หรือส่วนที่หมุนเคลื่อนที่อยู่ด้านนอก หรือ โรเตอร์อยู่ด้านนอกของขดลวดสเตเตอร์



ภาพที่ 2.21 โรเตอร์อยู่ด้านนอกของขดลวดสเตเตอร์

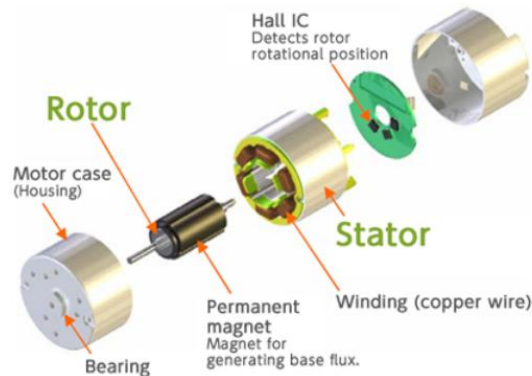
### ข้อดี

- ง่ายต่อการรับแรงบิดหรือทอร์กขนาดใหญ่ หรือรับทอร์กได้มากกว่า
- ความเร็วคงที่ช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสปีดหรือเปรี

### ข้อเสีย

- โรเตอร์มีขนาดใหญ่ การออกตัวหรือการเคลื่อนที่ช้า
- โรเตอร์อยู่ด้านนอกมีความต้องการเรื่องมาตรการด้านความปลอดภัยที่เหมาะสม

2. จุดโรเตอร์หรือส่วนการหมุนของการเคลื่อนที่อยู่หรือโรเตอร์อยู่ของเตอร์ ประเภทโรเตอร์ด้านใน (โรเตอร์อยู่ภายในสเตเตอร์)



ภาพที่ 2.22 โรเตอร์อยู่ภายในสเตเตอร์

ข้อดี

- โรเตอร์มีขนาดเล็กและสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว
- คอยล์อยู่ด้านนอกและระดับการกระจายความร้อนสูง หรือระบายความร้อนได้ดีกว่า

ข้อเสีย

- การทำให้เกิดทอร์คหรือแรงบิดสูงๆทำได้ยาก
- แม่เหล็กสามารถเสียหายได้ด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ความแตกต่างระหว่าง มอเตอร์มีแปรงถ่าน และ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน

1. มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ไม่มีแปรงถ่านในส่วนประกอบ จึงมีขนาดกะทัดรัดกว่า แต่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์สับวิตช์เพิ่มเติม ไม่ว่าจะเป็นตัวควบคุม เครื่องเข้ารหัสแบบโรตารี และไดรฟ์

2. มอเตอร์แบบมีแปรงถ่านมีราคาถูกและซ่อมแซมง่ายกว่า สามารถต่อสายตรงกับกระแส DC และมีการควบคุมเบื้องต้นอย่างง่าย (เช่น สวิตช์) จึงใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน

3. ใน มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน โรเตอร์จะหมุนด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนโรเตอร์แบบมีแปรงถ่านจะหมุนตามกลไกหรือกระแสที่ส่งผ่านแปรงถ่าน

4. มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีสายไฟสามเส้นสำหรับเชื่อมต่อ แต่แบบมีแปรงถ่าน จะมีแค่ 2 เส้น

5. มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีประสิทธิภาพมากขึ้นจากแบบมีแปรงถ่าน (เพิ่มเป็น 85-90% จากเดิม 75-80%) ซึ่งหมายความว่าด้วยกำลังที่เท่ากัน มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน จะให้การหมุนที่มากกว่า ไม่มีแรงเสียดทาน และความร้อนต่ำกว่าแบบมีแปรงถ่าน

6. มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ไม่ต้องบำรุงรักษา และไม่เกิดประกายไฟ เนื่องจากไม่มี สวิตช์เชิงกล ทำให้แปรงถ่านเสื่อมสภาพ

7. มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีแรงเสียดทานและความเฉื่อยของเพลาน้อยกว่าแบบมีแปรงถ่าน เสียงที่ได้ยินจึงน้อยลง รวมถึงอัตราส่วนแรงบิดต่อน้ำหนัก (ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า) ก็ดีกว่ามาก ทำให้ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีขนาดเล็กกว่ามอเตอร์มีแปรงถ่าน

8. เมื่อเทียบกับมอเตอร์มีแปรงถ่าน มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน มีข้อดีด้านประสิทธิภาพหลายประการ มีแรงบิดเริ่มต้นสูง และสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงขึ้นได้ ในบางกรณีอาจถึง 100,000 รอบต่อนาทีเลยทีเดียว และเนื่องจากระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์แบบเรียลไทม์ การควบคุมความเร็วจึงแม่นยำ และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด

9. เนื่องจากความร้อนถูกสร้างขึ้นในสเตเตอร์ภายนอก ไม่ใช่โรเตอร์ภายใน มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน จึงรักษาความเย็นได้ง่ายกว่า

### 2.3.7 KY-040 Rotary Encoder

KY-040 Rotary Encoder เป็นอุปกรณ์ป้อนข้อมูลแบบหมุน (คล้ายปุ่มหมุน) ที่สามารถบอกได้ว่าปุ่มหมุนถูกหมุนไปมากเพียงใด และหมุนไปในทิศทางใด ถือเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมมอเตอร์สแต็ปเปอร์และเซอร์โวมอเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ดิจิทัลโพเทนชิโอมิเตอร์ได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.23 KY-040 Rotary Encoder

#### คุณสมบัติหลัก

- แรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Operating Voltage): 3.3V ถึง 5V
- ประเภทของ Encoder: Incremental Encoder
- จำนวนพัลส์ต่อรอบ (Pulses per Revolution): 20 พัลส์ต่อรอบ (20 Detents)
- การใช้งานปุ่มกด (Push Button): มีปุ่มกดในตัว (กดติด-ปล่อยดับ)
- มิติ (Dimensions):
  - ขนาดโมดูล: ประมาณ 32 x 19 x 30 มม.
- พอร์ตเชื่อมต่อ: 5 พิน

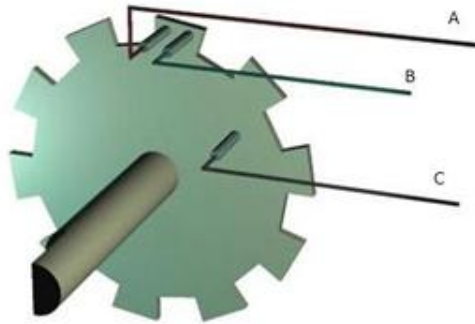


ภาพที่ 2.24 Potentiometer

Rotary Encoder เป็นอุปกรณ์ที่มีจำนวนตำแหน่งที่กำหนดไว้ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ซึ่งตำแหน่งเหล่านี้สามารถรับรู้ได้ง่ายจาก "คลิก" เล็ก ๆ ที่รู้สึกได้เมื่อหมุนอุปกรณ์ สำหรับโมดูล KY-040 มีตำแหน่งทั้งหมด 30 ตำแหน่ง ที่ด้านหนึ่งของสวิทช์จะมีขา 3 ขา โดยทั่วไปจะเรียกว่า A, B และ C โดยในกรณีของ KY-040 ขาเหล่านี้จะถูกจัดวางตามลำดับดังที่แสดง ในตัวเข้ารหัสนี้มีสวิทช์อยู่ภายใน 2 ตัว สวิทช์ตัวหนึ่งเชื่อมต่อระหว่างขา A และ C และอีกตัวหนึ่งเชื่อมต่อระหว่างขา B และ C ในแต่ละตำแหน่งของ Rotary Encoder สวิทช์ทั้งสองจะอยู่ในสถานะ "เปิด" หรือ "ปิด" และการหมุนแต่ละครั้งจะทำให้สถานะของสวิทช์เปลี่ยนไปดังนี้:

- หากสวิทช์ทั้งสองอยู่ในสถานะ "ปิด" การหมุน Rotary Encoder ไปทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาตำแหน่ง จะทำให้สวิทช์ทั้งสองเปลี่ยนเป็นสถานะ "เปิด"
- หากสวิทช์ทั้งสองอยู่ในสถานะ "เปิด" การหมุน Rotary Encoder ไปทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาตำแหน่ง จะทำให้สวิทช์ทั้งสองเปลี่ยนเป็นสถานะ "ปิด"

ภาพประกอบด้านล่างนี้แสดงโครงสร้างของสวิตช์เพื่อให้เข้าใจการทำงานของมันได้ง่ายขึ้น

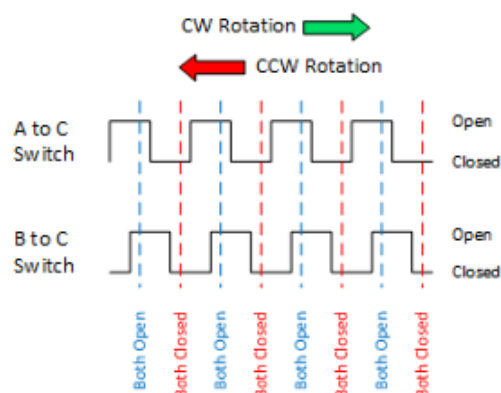


ภาพที่ 2.25 การเชื่อมต่อภายในตัวเข้ารหัสหมุน 3 พิน

ตำแหน่งเชิงมุมของขา A และขา B ถูกออกแบบดังนี้:

- การหมุนตามเข็มนาฬิกาทำให้สวิตช์ระหว่างขา A และ C เปลี่ยนสถานะก่อน
- การหมุนทวนเข็มนาฬิกาทำให้สวิตช์ระหว่างขา B และ C เปลี่ยนสถานะก่อน

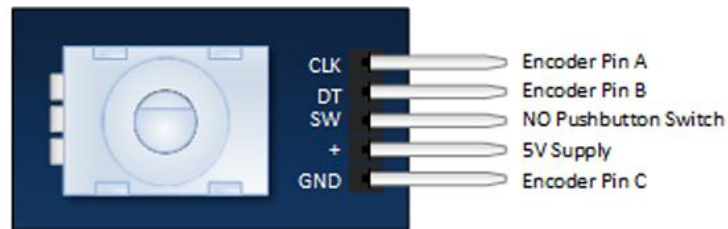
รูปแบบการเปิด-ปิดของสวิตช์สามารถแสดงเป็นคลื่นสัญญาณได้ดังนี้



ภาพที่ 2.26 ตัวเข้ารหัสแบบหมุนสร้างคลื่นในแต่ละรอบการหมุน

โดยพื้นฐานแล้ว การกำหนดว่าสวิตช์ใดเปลี่ยนสถานะก่อนนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการกำหนดทิศทางการหมุน หากสวิตช์ A เปลี่ยนสถานะก่อน สวิตช์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา หากสวิตช์ B เปลี่ยนสถานะก่อน สวิตช์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

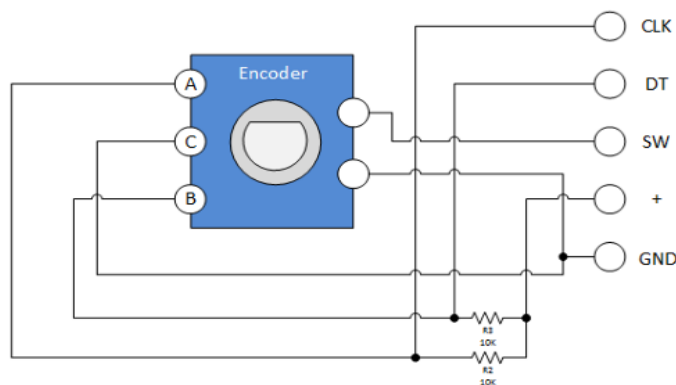
การกำหนดพิน: พินเอาต์สำหรับตัวเข้ารหัสหมุนนี้จะระบุไว้ในภาพประกอบด้านล่าง



ภาพที่ 2.27 ไดอะแกรมพินเอาต์ของตัวเข้ารหัสแบบหมุน

โมดูลได้รับการออกแบบมาเพื่อให้เอาต์พุตต่ำเมื่อสวิตช์ปิดและเอาต์พุตสูงเมื่อสวิตช์เปิด เอาต์พุตต่ำจะสร้างขึ้นโดยวงจราวด์ที่พิน C และส่งต่อไปยังพิน CLK และ DT เมื่อสวิตช์ปิด เอาต์พุตสูงจะสร้างขึ้นโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเข้า 5V และตัวต้านทานแบบดึงขึ้น ทำให้ CLK และ DT มีค่าสูงเมื่อสวิตช์เปิด หมายเหตุที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้คือสวิตช์ปุ่มกดที่เป็นส่วนหนึ่งของตัวเข้ารหัส หากคุณกดที่เพลลา สวิตช์เปิดตามปกติจะปิด คุณลักษณะนี้มีประโยชน์หากต้องการเปลี่ยนฟังก์ชันสวิตช์ ตัวอย่างเช่น คุณอาจต้องการความสามารถในการปรับระหว่างแบบหยาบและแบบละเอียด

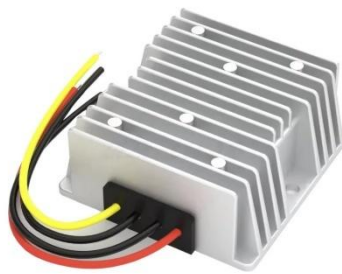
Rotary Encoder Schematic:



ภาพที่ 2.28 แผนผังของโมดูล KY-040

### 2.3.8 DC-DC converter

ตัวแปลง DC-DC เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไปยังระดับอื่นได้ การใช้งานตัวแปลงเหล่านี้มีความจำเป็นในฟังก์ชันการควบคุมพลังงานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ และเชื่อมต่อกับโหลดที่ออกแบบไว้ได้สำเร็จ พลังสามารถแปลงร่างได้ ในรูปแบบต่างๆ เช่น การกำหนดค่าแบบบัค บูสต์ และบัค-บูสต์ ช่วยให้ถ่ายโอนพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและส่งมอบผลลัพธ์ที่ต้องการ การใช้ตัวแปลงเหล่านี้หมายความว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบจะเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพการทำงานของระบบก็ได้รับการปรับปรุงด้วย ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทั้งระบบของผู้บริโภคและระบบอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.29 DC-DC converter

#### ประโยชน์และการใช้งานของตัวแปลง DC-DC:

- เพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน: ช่วยปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้ งาน ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ
- ความยืดหยุ่นและความคล่องตัวในระบบไฟฟ้า: ช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ แม้จะมีความต้องการแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน
- ยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่: ด้วยการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแปลง DC-DC ช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยาวนานขึ้น



## การใช้งานทั่วไปสำหรับพลังงาน DC-DC

ตัวแปลงไฟฟ้า DC-DC ถูกนำมาใช้มากขึ้นในระบบที่ต้องตอบสนองความต้องการแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ดังกล่าวพบได้ในโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต และแล็ปท็อป ซึ่งสร้างเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการทำงานที่เสถียรและการใช้งานแบตเตอรี่เป็นเวลานาน ในการใช้งานยานยนต์ อุปกรณ์เหล่านี้รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อควบคุมส่วนประกอบต่างๆ เช่น ระบบอินโฟเทนเมนต์และ ระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญในระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น แผงโซลาร์เซลล์และเซลล์เชื้อเพลิง โดยช่วยแปลงแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่ไม่เสถียรให้เป็นแรงดันไฟฟ้าขาออกคงที่ที่สามารถเก็บไว้หรือใช้งานได้ นอกจากนี้ ตัวแปลง DC-DC ยังมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบโทรคมนาคม เนื่องจากสามารถส่งเอาต์พุตที่เสถียรได้ แม้ภายใต้โหลดในระดับต่างๆ ที่เกิดจากโครงสร้างเครือข่ายที่ซับซ้อน

### 2.3.9 เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic Module HC-SR04

Ultrasonic Sensor Module HC-SR04 เป็นอุปกรณ์ใช้วัดระยะทางโดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับตำแหน่งที่ต้องการวัด วัดได้ตั้งแต่ 2 cm ถึง 400 cm โดยส่งสัญญาณอัลตราโซนิก เซ็นเซอร์ความถี่ 40 kHz ไปที่วัตถุที่ต้องการวัดและรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา พร้อมทั้งจับเวลาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณระยะทาง



ภาพที่ 2.30 Ultrasonic Sensor Module HC-SR04

### คุณสมบัติหลัก

- แรงดันที่ใช้ในการทำงาน 5V
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ 15mA
- คลื่นความถี่ในการทำงาน 40kHz
- ระยะสูงสุดที่สามารถวัดได้ 4 m (400 cm)
- ระยะต่ำสุดที่สามารถวัดได้ 0.02 m (2 cm)
- ความแม่นยำ  $\pm 3\text{mm}$  – องศาในการวัด 15 องศา
- Trigger Input Signal: 10us TTL Pulse

### หลักการทำงานและทฤษฎีทางฟิสิกส์

โมดูล HC-SR04P ทำงานโดยใช้คลื่นเสียง ซึ่งนำหลักการทางฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้งาน โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นเสียงในอากาศที่สามารถเดินทางได้ด้วยความเร็ว 343 เมตร/วินาที (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) แต่เพื่อความสะดวกในการคำนวณ ในที่นี่จะใช้ค่า 340 เมตร/วินาที

เมื่อทราบความเร็วของเสียงแล้ว จะมีการปล่อยคลื่นเสียงออกมาเป็นช่วงสั้น ๆ จากนั้นจะจับเวลารอให้คลื่นเดินทางไปกระทบวัตถุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับ เวลาในการเดินทางนี้จะถูกนำไปคำนวณระยะกระจัด (ระยะทางสั้นที่สุดจากจุดกำเนิดถึงวัตถุ) โดยใช้สูตร:

$$s = vt$$

ภาพที่ 2.31 สูตรคำนวณความเร็วคงที่

โดยที่:  $s$  คือ ระยะทางระหว่างวัตถุ

$v$  คือ ความเร็วของเสียง

$t$  คือ เวลาที่คลื่นเสียงเดินทาง

เนื่องจากความเร็วของเสียงในอากาศถูกกำหนดให้เท่ากับ 340 เมตร/วินาที หรือแปลงหน่วยได้ 0.034 เซนติเมตร/ไมโครวินาที ค่าความเร็วนี้สามารถแทนค่าในสูตรได้โดยตรง

1. การคำนวณระยะทาง
2. ปล่อยคลื่นเสียงออกไปจากโมดูล
3. จับเวลาการเดินทางของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ (ในหน่วยไมโครวินาที)
4. คำนวณระยะทางทั้งหมด
5. เนื่องจากเวลาที่ได้เป็นเวลาที่คลื่นเดินทางไปและกลับ จึงต้องหาร 2 เพื่อให้ได้ระยะทางที่คลื่นเดินทางออกไปชนวัตถุเพียงอย่างเดียว

ดังนั้น สูตรสุดท้ายที่ใช้คำนวณระยะทางระหว่างวัตถุคือ:

$$s = \frac{0.034 \cdot t}{2}$$

ภาพที่ 2.32 สูตรคำนวณระยะทางระหว่างวัตถุ

## บทที่ 3

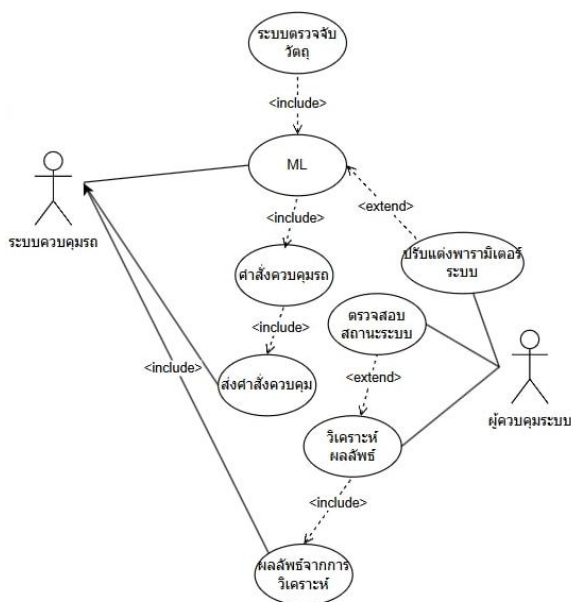
### เอกสารความต้องการของระบบ

โครงการนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดย Machine Learning ซึ่งใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและ Machine Learning เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับเส้นทางและควบคุมการเคลื่อนที่ของรถให้แม่นยำและปลอดภัย ระบบดังกล่าวช่วยให้รถสามารถเคลื่อนที่ในเส้นทางที่กำหนด ลดความเสี่ยงจากการเบี่ยงเบนออกนอกเลน รวมถึงสามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงได้แบบเรียลไทม์

โครงการนี้ยังช่วยส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีระบบอัตโนมัติในด้านยานยนต์และการขนส่ง เช่น การพัฒนาระบบขับเคลื่อนสำหรับยานยนต์อัจฉริยะและการปรับปรุงระบบขนส่งสาธารณะให้ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในอุตสาหกรรมและการวิจัยในอนาคต เพื่อเป็นรากฐานสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมที่สมบูรณ์และตอบโจทย์การใช้งานได้ในระดับสูงสุด

### 3.1 การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis)

#### 3.1.1 ภาพรวมการใช้งานระบบของผู้ใช้ (Use Case Diagram)



ภาพที่ 3.1 Use Case Diagram

### 3.1.2 การศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน (User Requirement Analysis)

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ความต้องการที่แท้จริงถึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine Learning จำเป็นต้องรองรับการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3.1.2 ตารางแสดงความต้องการของผู้ใช้

No.	Requirement	Priority
1	ระบบต้องใช้บอร์ด ESP32 เป็นหน่วยควบคุมหลักเพื่อประมวลผลคำสั่งและควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ	Must have
2	ระบบต้องสามารถควบคุมมอเตอร์สำหรับการเดินหน้า ถอยหลัง และเลี้ยวซ้ายหรือขวา	Must have
3	ระบบต้องสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Wi-Fi หรือ USB เพื่อรับส่งข้อมูลและคำสั่ง	Must have
4	ระบบต้องมีแหล่งพลังงานสำหรับ ESP32 และมอเตอร์ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	Must have
5	ระบบต้องมีเซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น Ultrasonic Sensor หรือ IR Sensor สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง	Could have
6	ระบบต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็ว เช่น Encoder เพื่อวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของล้อ	Could have
7	ระบบต้องรองรับการเชื่อมต่อ กล้อง Webcam เพื่อรับภาพสำหรับการประมวลผล Machine Learning	Must have
8	ระบบต้องรองรับการควบคุมแบบ Real-Time โดยใช้คำสั่งที่ประมวลผลจากโมเดล Machine Learning บนคอมพิวเตอร์	Must have
9	ระบบต้องสามารถส่งสัญญาณภาพจาก Webcam ไปยังคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ผ่าน Wi-Fi หรือ USB	Must have

No.	Requirement	Priority
10	ระบบต้องรองรับการเคลื่อนที่แบบปรับความเร็วอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อม (เช่น หลบสิ่งกีดขวาง)	Could have
11	ระบบต้องรองรับการปรับความเร็วของมอเตอร์	Must have
12	ต้องมีฟังก์ชันหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) เพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของรถในกรณีฉุกเฉิน	Could have
13	ระบบต้องมีโครงสร้างหรือฐานติดตั้งกล้อง Webcam บนรถเพื่อให้ได้มุมมองที่เหมาะสม	Must have

**ตารางที่ 3.2** ตารางแสดงคุณลักษณะของ UC-01: การควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ  
(Vehicle Movement Control)

<b>คุณลักษณะ:</b> UC-01: การควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ (Vehicle Movement Control)		
<b>คำอธิบาย:</b> ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ โดยใช้ ESP32 เป็นหน่วยควบคุมหลักในการรับคำสั่งจากผู้ใช้หรือคอมพิวเตอร์ และสั่งการมอเตอร์ให้รถเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง เช่น เดินหน้า ถอยหลัง หรือ เลี้ยว		
<b>Actor:</b> ผู้ควบคุมระบบ, ESP32		
<b>เงื่อนไข (สำคัญ):</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>ระบบต้องสามารถรับคำสั่งจากผู้ใช้หรือคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว</li> <li>ระบบต้องควบคุมการเคลื่อนที่ของรถได้อย่างเสถียรและปลอดภัย</li> </ol>		
หมายเลข	คำอธิบายข้อกำหนดความต้องการ	ความสำคัญ (M,S,C,W)
Req 1	ระบบต้องใช้ ESP32 เป็นหน่วยควบคุมหลักในการส่งคำสั่งไปยังมอเตอร์	M
Req 2	ระบบต้องสามารถควบคุมมอเตอร์สำหรับการเดินหน้า ถอยหลัง และเลี้ยวซ้ายหรือขวา	M
Req 4	ระบบต้องมีแหล่งพลังงานสำหรับ ESP32 และมอเตอร์ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	M

หมายเลข	คำอธิบายข้อกำหนดความต้องการ	ความสำคัญ (M,S,C,W)
Req 6	ระบบต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็ว เช่น Encoder เพื่อวัดความเร็วการเคลื่อนที่ของล้อ	C
Req 10	ระบบต้องรองรับการเคลื่อนที่แบบปรับความเร็วอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อม (เช่น หลบสิ่งกีดขวาง)	C
Req 11	ระบบต้องรองรับการปรับความเร็วของมอเตอร์	M
Req 12	ต้องมีฟังก์ชันหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop) เพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของรถในกรณีฉุกเฉิน	C

**ตารางที่ 3.3** ตารางแสดงคุณลักษณะของ UC-02: การเชื่อมต่อบระบบควบคุมรถกับ Machine Learning (ML Integration for Vehicle Control)

<b>คุณลักษณะ:</b> UC-01: การเชื่อมต่อบระบบควบคุมรถกับ Machine Learning		
<b>คำอธิบาย:</b> ระบบเชื่อมต่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถกับ Machine Learning (ML) เพื่อประมวลผลข้อมูล เช่น การตรวจจับเส้นทาง การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง หรือการปรับเปลี่ยนการควบคุมตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์		
<b>Actor:</b> ESP32, คอมพิวเตอร์ (ประมวลผล ML), ผู้ใช้งาน		
<b>เงื่อนไข (สำคัญ):</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>ระบบต้องสามารถส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์และ Webcam ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ML</li> <li>ระบบต้องสามารถรับคำสั่งควบคุมจาก ML และนำไปปรับการเคลื่อนที่ของรถได้ทันที</li> </ol>		
หมายเลข	คำอธิบายข้อกำหนดความต้องการ	ความสำคัญ (M,S,C,W)
Req 3	ระบบต้องสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Wi-Fi หรือ USB เพื่อรับส่งข้อมูลและคำสั่ง	M
Req 5	ระบบต้องมีเซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น Ultrasonic Sensor หรือ IR Sensor สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง	C
Req 7	ระบบต้องรองรับการเชื่อมต่อ กล้อง Webcam เพื่อรับภาพสำหรับการประมวลผล Machine Learning	M

หมายเลข	คำอธิบายข้อกำหนดความต้องการ	ความสำคัญ (M,S,C,W)
Req 8	ระบบต้องรองรับการควบคุมแบบ Real-Time โดยใช้คำสั่งที่ประมวลผลจากโมเดล Machine Learning บนคอมพิวเตอร์	M
Req 9	ระบบต้องสามารถส่งสัญญาณภาพจาก Webcam ไปยังคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ผ่าน Wi-Fi หรือ USB	M
Req 13	ระบบต้องมีโครงสร้างหรือฐานติดตั้งกล้อง Webcam บนรถเพื่อให้ได้มุมมองที่เหมาะสม	M



## บทที่4

### การออกแบบ

ในบทนี้จะนำเสนอแนวทางการออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการพัฒนาและทดสอบระบบให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนการออกแบบนี้จะครอบคลุมถึงการกำหนดวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การเลือกใช้เซนเซอร์และอุปกรณ์ที่เหมาะสม การจัดการและประมวลผลข้อมูล รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บรวบรวม เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่ครบถ้วนและมีคุณภาพสำหรับการพัฒนาแบบจำลอง Machine Learning และระบบควบคุมรถ

#### 4.1 สถาปัตยกรรมของระบบ (System Architecture)

ระบบควบคุมรถไฟฟ้าไร้คนขับถูกพัฒนาโดยใช้ 3 ระบบย่อย ได้แก่

##### 4.1.1 ระบบการสั่งงานผ่าน ESP32 และรองรับระบบ Machine Learning

ในระบบนี้ ESP32 ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์โดยตรง ผ่านการเชื่อมต่อแบบ Serial Communication คำสั่งที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์จะถูกประมวลผลโดย ESP32 ก่อนจะส่งต่อไปยังระบบย่อยต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของรถ ซึ่งการสั่งงานนี้รวมถึงการควบคุมการทำงานของมอเตอร์สำหรับการเลี้ยว การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และการถอยหลัง

##### 4.1.2 ระบบบังคับเลี้ยว

ระบบควบคุมรถไฟฟ้าไร้คนขับถูกพัฒนาโดยประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งวงจรไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟฟ้าอีกค่าหนึ่ง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่วนที่สอง วงจรไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าค่าหนึ่งไปเป็นแรงดันไฟฟ้าอีกค่าหนึ่ง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ และมอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน ส่วนที่สาม วงจรรับสัญญาณคำสั่งบังคับเลี้ยวจากคอมพิวเตอร์ผ่าน ESP32 และแปลงสัญญาณ PPM เป็นสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่วนที่สี่ วงจรที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อควบคุมล้อให้รถสามารถเลี้ยวได้ตามคำสั่ง

#### 4.1.3 ระบบเดินหน้าถอยหลัง

ระบบเดินหน้าถอยหลังที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่ง วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรคั่นเร่ง ส่วนที่สอง วงจรไฟฟ้าที่รับสัญญาณจากข้อมูลคำสั่ง เดินหน้า-ถอยหลัง เพื่อแปลงเป็นการเร่งกำลังและควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ส่วนที่สาม วงจรที่รับข้อมูลจากวงจรคั่นเร่ง เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ส่วนที่สี่ วงจรที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อใช้ควบคุมล้อให้เคลื่อนที่ เดินหน้าและถอยหลัง

## 4.2 วิธีการเก็บข้อมูล (Data Collection Method)

ในการพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine Learning และ IoT ข้อมูลที่ใช้ในการฝึกและปรับแต่งโมเดลเป็นสิ่งสำคัญ ระบบต้องมีวิธีการเก็บข้อมูลที่ถูกต้อง ครบคลุม และเชื่อถือได้ เพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมรถได้อย่างปลอดภัยและแม่นยำ

### 4.2.1 ข้อมูลจากเซนเซอร์

ข้อมูลจาก Ultrasonic Sensor (HC-SR04P)

ประเภทข้อมูล: ระยะทางถึงวัตถุด้านหน้า

รูปแบบข้อมูล: ระยะทางในหน่วยเซนติเมตร (cm)

การใช้งาน:

- ใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางหรือวัตถุที่อยู่ใกล้กับรถ
- ใช้สำหรับระบบหลีกเลี่ยงการชน (Obstacle Avoidance)

ความถี่ในการส่งข้อมูล: ทุก 10-50 มิลลิวินาที

ข้อมูลจาก Rotary Encoder (KY-040)

ประเภทข้อมูล:

- ตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position)
- ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity)

รูปแบบข้อมูล: สัญญาณดิจิทัลแบบพัลส์ (Pulse Signals)

การใช้งาน:

- ตรวจสอบความเร็วรอบของล้อหรือการหมุนของมอเตอร์
- ใช้สำหรับคำนวณระยะทางการเคลื่อนที่ของรถ

ความละเอียดของข้อมูล: ขึ้นอยู่กับจำนวนพัลส์ต่อรอบ

#### 4.2.2 ข้อมูลจาก Camera Module

ประเภทข้อมูล: ภาพและวิดีโอ

รูปแบบข้อมูล:

- ภาพสีหรือภาพขาวดำในรูปแบบ JPEG หรือ RAW
- ความละเอียดขึ้นอยู่กับโมดูลกล้อง (เช่น 640x480, 1920x1080)

การใช้งาน:

- ตรวจจับเส้นทาง (Lane Detection)
- วิเคราะห์วัตถุหรือสภาพแวดล้อมโดยใช้ Machine Learning

ความถี่ในการส่งข้อมูล: ขึ้นอยู่กับเฟรมเรตของกล้อง (เช่น 30 FPS)

#### 4.2.3 ข้อมูลจาก Current Sensor

ประเภทข้อมูล: กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร

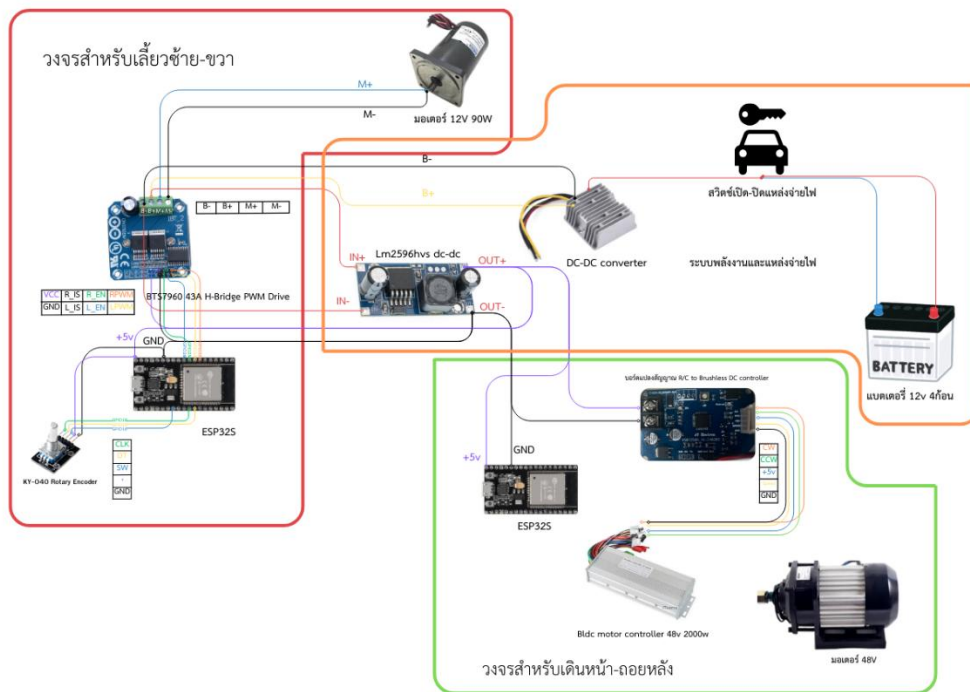
รูปแบบข้อมูล: กระแสไฟในหน่วยแอมแปร์ (A)

การใช้งาน:

- ตรวจสอบการใช้พลังงานของมอเตอร์และระบบ
- ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Overcurrent Protection)

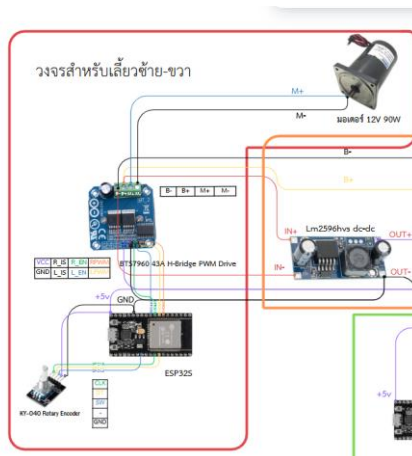
### 4.3 การออกแบบวงจร(Circuit Design)

การออกแบบวงจรจะเป็นภาพรวมทั้งหมดของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Machine learning



ภาพที่ 4.1 สถาปัตยกรรมของทั้งระบบ

#### 4.3.1 วงจรสำหรับเลี้ยวซ้าย-ขวา



ภาพที่ 4.2 สถาปัตยกรรมของวงจรเลี้ยวซ้าย-ขวา

วงจรส่วนนี้เป็นระบบควบคุมทิศทาง (การเลี้ยวซ้ายและขวา) ของยานพาหนะ โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันไฟฟ้า 12V

อุปกรณ์ในวงจร ได้แก่

1.มอเตอร์ 12V 90W

ใช้สำหรับการขับเคลื่อนกลไกเลี้ยวซ้าย-ขวา รับแรงดันไฟฟ้าจาก H-Bridge PWM Driver

2.H-Bridge PWM Driver (L298N)

ใช้ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (ซ้ายหรือขวา) มีขั้วต่อ IN1 และ IN2 ที่เชื่อมต่อกับ ESP32 เพื่อรับคำสั่งควบคุมขั้วต่อ M+ และ M- จะต่อเข้ากับขั้วของมอเตอร์เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้า

3.ESP32S

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุม H-Bridge รับอินพุตจาก Rotary Encoder เพื่อระบุตำแหน่งหรือการหมุนส่ง PWM (Pulse Width Modulation) เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์

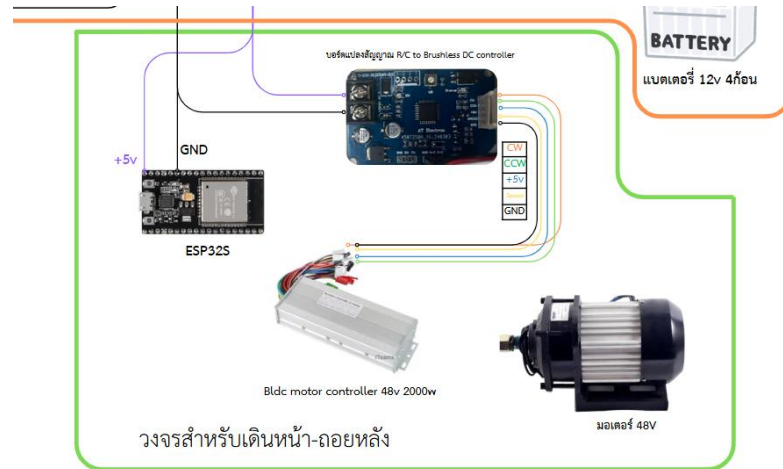
4.Rotary Encoder

ใช้ตรวจจับการหมุนและตำแหน่งของกลไกเลี้ยวส่งสัญญาณกลับไปยัง ESP32 เพื่อประมวลผลและปรับทิศทาง

การเชื่อมต่อและการทำงาน

ESP32 เชื่อมต่อกับ H-Bridge (L298N) ผ่านขั้ว IN1 และ IN2 เพื่อควบคุมการหมุนซ้าย-ขวาของมอเตอร์ Rotary Encoder ส่งข้อมูลการหมุนกลับไปที่ ESP32 เพื่อให้ระบบรู้ตำแหน่งปัจจุบันเมื่อผู้ใช้สั่งให้เลี้ยวซ้าย/ขวา ESP32 จะสั่งงาน H-Bridge ให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ต้องการ

#### 4.3.2 วงจรสำหรับเดินหน้า-ถอยหลัง



ภาพที่ 4.3 สถาปัตยกรรมของวงจรเดินหน้า-ถอยหลัง

วงจรส่วนนี้เป็นระบบขับเคลื่อนหลักสำหรับยานพาหนะ ทำหน้าที่หมุนล้อเพื่อให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (เดินหน้า) หรือถอยหลัง

อุปกรณ์ในวงจร:

1. Bldc motor controller 48v 2000w

มอเตอร์กำลังสูงใช้สำหรับขับเคลื่อนล้อหลักของยานพาหนะใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 48V DC Motor Controller (Brushless) ใช้สำหรับควบคุม

2. มอเตอร์ 48V

รับสัญญาณจาก ESP32 เพื่อกำหนดทิศทาง (เดินหน้า/ถอยหลัง) และความเร็ว มีอินพุตสัญญาณที่เชื่อมต่อกับ ESP32

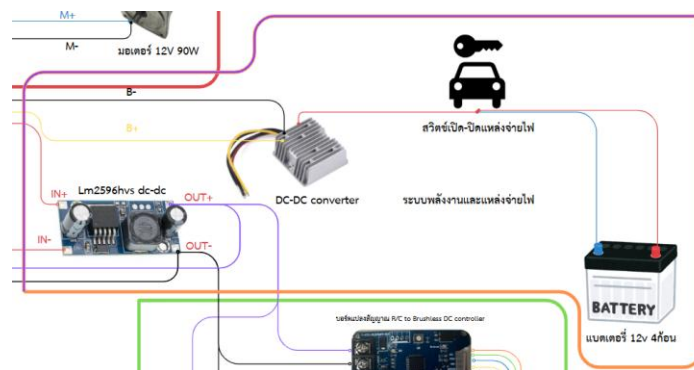
3. ESP32S

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมการทำงานของ Motor Controller ส่งสัญญาณ PWM เพื่อกำหนดความเร็วควบคุมทิศทางโดยส่งสัญญาณดิจิทัล (เช่น HIGH/LOW)

#### 4. DC-DC Converter

แปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (48V) ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า 12V หรือ 5V สำหรับใช้งานในระบบควบคุม OUT+ และ OUT- ต่อเข้าวงจรควบคุม เช่น ESP32 และ Motor Controller

##### 4.3.3 ระบบพลังงานและแหล่งจ่ายไฟ



ภาพที่ 4.4 สถาปัตยกรรมของระบบพลังงานและแหล่งจ่ายไฟ

ทำหน้าที่จัดหาและกระจายพลังงานไฟฟ้าให้กับส่วนต่างๆ ของวงจร อุปกรณ์ในวงจร:

1. แบตเตอรี่ 12V 48Ah

เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักของระบบต่อผ่านสวิตช์เปิด-ปิด เพื่อควบคุมการเปิดการทำงานของระบบ

2. สวิตช์เปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟ

ใช้สำหรับเปิดหรือปิดวงจรพลังงานทั้งหมดของระบบ

3. DC-DC Converter (LM2596HV) แปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 48V เป็น 5V เพื่อจ่ายไฟให้ ESP32 และอุปกรณ์อื่นๆ

การทำงานของระบบโดยรวม

เมื่อเปิดสวิตช์พลังงาน ระบบจะจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยัง DC-DC Converter และมอเตอร์ควบคุมทั้งสองส่วน ESP32 ทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่งจากผู้ใช้งาน (เช่น การเลี้ยวซ้าย-ขวา หรือเดินหน้า-ถอยหลัง) และส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องวงจรเลี้ยว (ซ้าย-ขวา) จะใช้มอเตอร์ 12V ที่ควบคุมผ่าน H-Bridge และรับข้อมูลจาก Rotary Encoder เพื่อปรับมุมเลี้ยวอย่างแม่นยำวงจรขับเคลื่อนหลัก (เดินหน้า-ถอยหลัง) จะใช้มอเตอร์ 48V 2000W ซึ่งควบคุมผ่าน DC Motor Controller และรับสัญญาณ PWM จาก ESP32 ระบบ DC-DC Converter จะลดแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 48V เป็น 5V/12V สำหรับวงจรควบคุมที่ใช้แรงดันต่ำกว่า

#### 4.4 ผลการออกแบบวงจร

หลังจากการออกแบบวงจรทั้งสามส่วนแล้วได้แก่ วงจรสำหรับเลี้ยวซ้าย-ขวา วงจรสำหรับเดินหน้า-ถอยหลัง และ ระบบพลังงานและแหล่งจ่ายไฟ

##### วงจรสำหรับเลี้ยวซ้าย-ขวา

ในส่วนวงจรสำหรับเลี้ยวซ้าย-ขวา วงจรสามารถส่งคำสั่งผ่านคอมพิวเตอร์ได้และวัดองศาการหมุนได้ โดยมีระดับความเร็วของมอเตอร์ ได้แก่ 0, 64, 128, 192, 255 และองศา 0, 15, 30, 45, 60 ตามลำดับ การส่งคำสั่งจะส่งผ่านคอมพิวเตอร์ในรูปแบบคำสั่งเช่น R 0-4, L 0-4

ระดับ 0-4 หมายถึง

- ระดับความเร็วที่ 0 คือความเร็วมอเตอร์ 0 และองศา 0 องศา
- ระดับความเร็วที่ 1 คือความเร็วมอเตอร์ 64 และองศา 15 องศา
- ระดับความเร็วที่ 2 คือความเร็วมอเตอร์ 128 และองศา 30 องศา
- ระดับความเร็วที่ 3 คือความเร็วมอเตอร์ 192 และองศา 45 องศา
- ระดับความเร็วที่ 4 คือความเร็วมอเตอร์ 255 และองศา 60 องศา

คำสั่ง R และ L หมายถึง R คือ Right (ขวา) L คือ Left (ซ้าย)

ตัวอย่างคำสั่ง

R 2 หมายถึง เลี้ยวขวาในระดับความเร็ว 2 ความเร็วมอเตอร์ 128 และเลี้ยวในระดับ 30 องศา



L 4 หมายถึง เลี้ยวขวาในระดับความเร็ว 4 ความเร็วมอเตอร์ 255 และเลี้ยวในระดับ 30 องศา



ภาพที่ 4.5 วงจรสำหรับเลี้ยวซ้าย-ขวา