การพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

นายตะวัน กลิ่นผกา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A MOBILE ROBOTIC CAR

FOR GAMMA SOURCE LOCATION

Mr. Tawan Klinpaka

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology
Department of Nuclear Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017
Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา
โดย	นายตะวัน กลิ่นผกา
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ เดโช ทองอร่าม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรโยธา)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ เดโช ทองอร่าม)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พรรณี แสงแก้ว)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตะวัน กลิ่นผกา : การพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา (DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A MOBILE ROBOTIC CARFOR GAMMA SOURCE LOCATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. เดโช ทองอร่าม, หน้า.

ปัจจุบันได้มีการใช้งานสารกัมมันตรังสีอย่างแพร่หลาย เป็นเหตุให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุทางรังสีหรือการปนเปื้อนทางรังสีขึ้นได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีจำเป็นที่จะต้องเข้าไปตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี เพื่อทำการเก็บกู้ต้นกำเนิดรังสีในภายหลัง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีได้รับรังสีจากการปฏิบัติหน้าที่ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีโดยไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสี ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาขึ้น เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีสามารถอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีขณะตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งรถหุ่นยนต์ต้นแบบที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้ใช้หลักการทำงานของล้อแบบแมคานุม (Mecanum wheel) ทำให้รถหุ่นยนต์ต้นแบบสามารถเคลื่อนที่ได้หลายทิศทาง (Omni directional) โดยไม่ต้องใช้การควบคุมบังคับเลี้ยวล้อเหมือนรถทั่วๆ ไป

การทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบมีโหมดควบคุมการทำงาน 2 โหมดคือ โหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก และโหมดควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งทั้ง 2 โหมดจะทำงานผ่านทางอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ การทำงานในขั้นแรกจะทำงานในโหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก โดยรถหุ่นยนต์ต้นแบบจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่เข้าไปยังพื้นที่ที่ต้องการ หลังจากนั้นผู้ควบคุมจะเปลี่ยนโหมดการทำงานไปเป็นโหมดควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งในโหมดนี้จะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบวัดรังสีแกมมา เพื่อให้รถหุ่นยนต์ตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ผลจากการทดสอบปรากฏว่ารถหุ่นยนต์ต้นแบบมีรัศมีควบคุมได้ไกล 60 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง สามารถเคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยความเร็วสูงสุด 2.12 กม./ชั่วโมง ระยะเวลาทำงานประมาณ 15 นาที เคลื่อนที่ได้ระยะทางทั้งหมดประมาณ 530 เมตร ความแม่นยำในการตรวจหาทิศทางที่มีความแรงรังสีสูงสุดอยู่ในช่วง ±10 องศา โดยอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมนิวเคลียร์	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2560		

5770418221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEYWORDS: รถหุ่นยนต์, ต้นกำเนิดรังสีแกมมา, ROBOTIC CAR, GAMMA SOURCE LOCATION

TAWAN KLINPAKA: DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A MOBILE ROBOTIC CARFOR GAMMA SOURCE LOCATION. ADVISOR: DECHO THONG-ARAM, pp.

Radioactive materials are widely used today. There is a potential for radiation accidents or radiation contamination. Therefore, radiation workers need to investigate the location of the radiation source. To recover the source of radiation later. Cause radiation operator are exposed to radiation from there duties. To achieve safety and avoid unnecessary radiation exposure Researchers have ideas, to develop a prototype a mobile robotic car for locating the source of the gamma rays. which can positioning the location of gamma source to help radiation operator stay away from gamma source while working. The development of a mobile robotic car has been designed to used Mecanum wheel which make a mobile robotic car can be move in omni directions without having to steer the wheel.

The prototype robot car has two modes of operation: Manually controlled mode via joystick. And automatic control mode. Both of two modes working through wireless 2.4 GHz module. First operating by manual to control a mobile robotic car to the position, after that the radiation operator will change mode to automatic mode. Automatic mode a mobile robotic car will working by cooperate between microcontroller and gamma radiation detector. A mobile robotic car will scan for the gamma source location.

The result of the research shown that a mobile robotic car can performed at ranges up to 60 meters without obstacle, maximum speed is 2.12 km/hr., 15 minutes operating time, moving distance around 530 meters, the effective angle of highest activity detection ±10 degree and close to the gamma source around 30 centimeters.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Nuclear Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Nuclear Technology	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

พ่อ ที่สนับสนุนและไม่บ่นเรื่องที่ผมมาเรียน ป.โท เอาป่านนี้ จริงๆก็แอบบ่นนั่นแหละ อันนี้แม่เล่าให้ฟัง, แม่ ที่สนับสนุนและช่วยโทรปลุกผมตอนเช้าให้มาทำวิทยานิพนธ์ ถึงแม้ว่าความจริงแล้วผมจะแอบนอนต่อก็ตาม 55555, น้องชาย ที่อาจจะไม่ได้สนับสนุนโดยตรง แต่คอยช่วยเหลือตอนเข้าโรงพยาบาลช่วงทำวิทยานิพนธ์

อาจารย์เดโช ทองอร่าม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำ สอนวิธีการ ร่วมลงมือทำและช่วยตัดสินใจในหลายๆ เรื่อง ไม่อย่างนั้นผมคงทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่เสร็จ, ดร.กมลทิพย์ พลอยกระจ่าง ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยทำวงจรอิเล็กทรอนิกส์, ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์และระบบวัดรังสี, ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยทางรังสี, รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์, รศ.ดร.สุพิชชา จันทรโยธา ที่ช่วยให้คำแนะนำในการเรียนและร่วมเป็นหนึ่งในคณะกรรมการ, อ.ดร.พรรณี แสงแก้ว ที่ช่วยเหลือในการประชุมวิชาการและเป็นหนึ่งในคณะกรรมการ

อ.วไลพร เจนสาริกรณ์ ที่ห้ามไม่ให้ผมมาเรียน ป.โทใหม่ แต่กับคอยเคี่ยวเข็ญให้ผมเรียนให้จบ "จะกี่สิบปี เอ็งก็ต้องเรียนให้จบให้ได้", บุญเลิศ สันทัดอนุวัตร ที่อาจจะไม่ได้ช่วยในเรื่องวิทยานิพนธ์แต่คอยช่วยดูแล อ.วไลพร

สรายุทธ์ ฝูงวรรณลักษณ์ เพื่อนสถาปนิกที่สนับสนุนเงินทุนและคอยหางานนอกมาให้ผมทำระหว่างที่เรียน ถ้าไม่มีสรายุทธ์ผมคงเรียนไม่ได้, สุทธศักดิ์ วิพัฒนบวรวงศ์, ศุภชัย สุธีรภัทรานนท์, ฐาปณีย์ ศิริบุญมา กลุ่มเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ...คิดว่านะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญภาพ .....ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนและระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 รังสีแกมมา (Gamma Radiation, γ)..... 5

2.1.1 รังสีแกมมา 5

2.1.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา (Gamma Ray Interaction) 5

2.1.3 หน่วยวัดทางรังสี..... 6

2.1.4 ความปลอดภัยทางรังสี 8

2.2 ระบบตรวจวัดรังสีแกมมา (Gamma Ray Detection System)..... 9

2.2.1 ส่วนสร้างข้อมูลทางการวัดรังสี (Data Production)..... 10

2.2.2 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี (Signal Processing)..... 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2.3 ส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสีและส่วนแสดงผล (Data Processing and Display) 13

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit, MCU) 14

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ 14

2.3.2 Arduino Mega 2560 15

2.3.3 Arduino Uno R3 16

2.4 การสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) 17

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สาย 17

2.4.2 โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz 17

2.5 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor Control) 18

2.6 ล้อแบบแมคานุม (Mecanum Wheel) 23

2.7 การวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic Range Finder) 27

บทที่ 3 อุปกรณ์วิจัย 30

3.1 การออกแบบและสร้างรถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุต้นกำเนิดรังสีแกมมา 30

3.1.1 การออกแบบและพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบ 30

3.1.2 การออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีแกมมา 39

3.1.3 รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา 46

3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา 49

3.2.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของจอยสติก 49

3.2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ 50

3.2.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมา 51

บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย 53

4.1 วิธีดำเนินงานวิจัย 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.1.1 การทดสอบโครงรถหุ่นยนต์ 53
4.1.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุม 53
4.1.3 การทดสอบระบบพื้นฐาน 53
4.1.4 การทดสอบโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 54
4.1.5 การทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา 54
4.1.6 การทดสอบรถหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาแล้ว 55
4.1.7 การทดสอบการทำงานของรถหุ่นยนต์เพื่อระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา 56
4.2 ผลการวิจัย 57
4.2.1 ผลการทดสอบโครงรถหุ่นยนต์ 57
4.2.2 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุม 58
4.2.3 ผลการทดสอบระบบพื้นฐาน 58
4.2.4 ผลการทดสอบโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 59
4.2.5 ผลการทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา 61
4.2.6 ผลการทดสอบรถหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาแล้ว 63
4.2.7 ผลการทดสอบการทำงานของรถหุ่นยนต์เพื่อระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 71
5.1 สรุปผลการวิจัย 71
5.1.1 สรุปผลการทดสอบ 71
5.1.2 สมรรถนะของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ 72
5.2 ข้อเสนอแนะ 72
..... 73
รายการอ้างอิง 73
ภาคผนวก 74

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ภาคผนวก ก 75
ภาคผนวก ข 76
ภาคผนวก ค 77
ภาคผนวก ง 82
ภาคผนวก จ 84
ภาคผนวก ฉ 89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 - 1 ปัจจัยทางชีวภาพ (Radiation Weighting Factor, W_R) 7

ตารางที่ 2 - 1 คุณสมบัติของผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (NaI(Tl), NaI) 11

ตารางที่ 2 - 2 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 15

ตารางที่ 2 - 3 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 16

ตารางที่ 2 - 4 ขาอุปกรณ์ของโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 18

ตารางที่ 2 - 5 ขาอุปกรณ์ของโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 28

ตารางที่ 3 - 1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของหัววัดรังสีแกมมาขนาดต่างๆ 40

ตารางที่ 4 - 1 ผลการทดสอบการควบคุมระยะไกล 59

ตารางที่ 4 - 2 ผลการทดสอบความแม่นยำในแนวตั้งฉากกับผนัง 59

ตารางที่ 4 - 3 ผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective Angle) 60

ตารางที่ 4 - 4 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 61

ตารางที่ 4 - 5 ผลการทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม 65

ตารางที่ 5 - 1 สมรรถนะของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

รูปที่ 2 - 1 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดรังสีแกมมา 10
รูปที่ 2 - 2 หลักการทำงานของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน........ 12
รูปที่ 2 - 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560........ 15
รูปที่ 2 - 4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3........ 16
รูปที่ 2 - 5 โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 18
รูปที่ 2 - 6 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง........ 19
รูปที่ 2 - 7 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 20
รูปที่ 2 - 8 Pulse Width Modulation, PWM 21
รูปที่ 2 - 9 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ H-Bridge 22
รูปที่ 2 - 10 บอร์ดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง H-Bridge แบบ 4 ช่องทาง 23
รูปที่ 2 - 11 โครงสร้างของล้อแบบแมคานุม 23
รูปที่ 2 - 12 รูปแบบการติดตั้งล้อแบบแมคานุม 25
รูปที่ 2 - 13 รูปแบบการทำงานของล้อที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ 26
รูปที่ 2 - 14 แผนภาพความสัมพันธ์ในการทำงานของแต่ละล้อเทียบกับการควบคุมจากปุ่มควบคุม........ 27
รูปที่ 2 - 15 โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 28

รูปที่ 3 - 1 แผนภาพการทำงานของจอยสติก........ 31
รูปที่ 3 - 2 แผนภาพการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ........ 31
รูปที่ 3 - 3 มุมมองจากด้านหน้าขวา........ 33
รูปที่ 3 - 4 มุมมองจากด้านหลังซ้าย........ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3 - 5 จอยสติกด้านบน 35

รูปที่ 3 - 6 จอยสติกด้านล่าง 35

รูปที่ 3 - 7 ส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์ 37

รูปที่ 3 - 8 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถหุ่นยนต์ต้นแบบ 38

รูปที่ 3 - 9 รถหุ่นยนต์ต้นแบบก่อนนำไปติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมา 39

รูปที่ 3 - 10 แผนภาพระบบวัดรังสีแกมมา 40

รูปที่ 3 - 11 หัววัดรังสีแกมมา 41

รูปที่ 3 - 12 แผนภาพส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี 42

รูปที่ 3 - 13 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี 42

รูปที่ 3 - 14 กล่องบรรจุส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี 43

รูปที่ 3 - 15 แผนภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 44

รูปที่ 3 - 16 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 44

รูปที่ 3 - 17 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา 45

รูปที่ 3 - 18 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านหน้า 47

รูปที่ 3 - 19 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านขวา 47

รูปที่ 3 - 20 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านซ้าย 48

รูปที่ 3 - 21 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านหลัง 48

รูปที่ 3 - 22 พิกัดคาร์ทีเซียนของดิจิตอลนัมเบอร์ของปุ่มควบคุม 49

รูปที่ 3 - 23 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของจอยสติก 50

รูปที่ 3 - 24 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ 51

รูปที่ 3 - 25 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของเรตมิเตอร์ 52

รูปที่ 4 - 1 ผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective Angle) 60

รูปที่ 4 - 2 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±σ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4 - 3 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±2σ 67

รูปที่ 4 - 4 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±3σ 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบัน มนุษย์ได้มีการศึกษาและมีการประยุกต์ใช้งานทางด้านรังสีจากสารกัมมันตรังสีและวัสดุนิวเคลียร์อื่น ๆ ในด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ฯลฯ การที่เราจะได้รับรังสี นอกจากแหล่งกำเนิดรังสีที่นำมาใช้งานแล้วนั้น เรายังมีโอกาสได้รับรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อมนุษย์ศึกษาทำความเข้าใจกับรังสีมากขึ้น จึงได้ตระหนักถึงผลกระทบที่มีต่อร่างกาย อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ประโยชน์จากรังสีได้ การกำกับดูแลความปลอดภัยในการใช้จึงเป็นสิ่งสำคัญ

รังสีมีทั้งประโยชน์และโทษต่อมนุษย์ ถ้าร่างกายเราได้รับรังสีในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อร่างกายได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว สำหรับการดำเนินชีวิตของคนปรกติโดยทั่วไปแล้วแทบจะไม่มีโอกาสได้รับรังสีจนถึงขั้นอันตรายได้เลย แต่สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานทางด้านรังสีแล้วคงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีได้ ดังนั้นการจำกัดปริมาณการได้รับรังสีไม่ให้เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อทั้งผู้ที่ปฏิบัติงานทางด้านรังสีและผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ โดยได้มีการกำหนดเป็นหลักการ ALARA คือ “As Low As Reasonably Achievable” ซึ่งเป็นหลักความปลอดภัยพื้นฐานเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีได้รับปริมาณรังสีให้น้อยที่สุดและอย่างสมเหตุสมผลจากการปฏิบัติงาน โดยอาศัยการควบคุมช่วงระยะเวลาในการปฏิบัติงานกับแหล่งกำเนิดรังสี (Time) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีมีโอกาสได้รับรังสีในช่วงเวลาที่สั้นที่สุด การอยู่ให้ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้ไกลที่สุด (Distance) และสุดท้ายคือการป้องกันด้วยการกำบังรังสี (Shielding) เพื่อลดทอนปริมาณรังสีที่ตกกระทบกับผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีให้เหลือน้อยที่สุด

เนื่องจากปัจจุบันได้มีการใช้งานสารกัมมันตรังสีอย่างแพร่หลาย เป็นเหตุให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุทางรังสีหรือการปนเปื้อนทางรังสีขึ้นได้ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีจำเป็นที่จะต้องเข้าไปตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีหรือการปนเปื้อนทางรังสี เพื่อทำการเก็บกู้ต้นกำเนิดรังสี จึงเป็นเหตุให้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีอาจได้รับปริมาณรังสีที่สูงจากการปฏิบัติหน้าที่ นอกจากนั้นแล้วปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ควบคุมระยะไกลมีความเจริญก้าวหน้า มีแหล่งข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้ในการศึกษา มีการพัฒนาและประยุกต์ในการใช้งานทางด้านต่างๆ มากขึ้น จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบที่สามารถควบคุมการทำงานได้ในระยะไกล ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีแกมมาสำหรับระบุตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมา เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีสามารถทำการตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดรังสีนั้นๆ เป็นไปตามหลักความปลอดภัย ALARA ในเรื่องการควบคุมระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี (Distance) ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีมีโอกาสได้รับรังสีในปริมาณที่น้อยลง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างรถหุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่บนพื้นเรียบ ควบคุมด้วยระบบไร้สายในระยะไม่ เกิน 50 เมตร

1.3.2 ออกแบบและสร้างระบบวัดความแรงของรังสีแกมมาที่ใช้งานร่วมกับหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม (NaI(Tl)) พร้อมทั้งทดสอบหาขนาดของหัววัดรังสีที่เหมาะสมในการใช้งาน

1.3.3 พัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบการทำงานของรถหุ่นยนต์และโปรแกรมสำหรับการรับส่งข้อมูล

1.3.4 ทดสอบสมรรถนะของระบบที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ความถูกต้องในการหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาและความไวในการตรวจจับรังสีแกมมาได้ตั้งแต่ 10 μCi ขึ้นไป

1.4 ขั้นตอนและระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบและสร้างรถหุ่นยนต์พร้อมระบบควบคุมการทำงาน

1.4.3 ออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีที่ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ และเรตมิเตอร์ เป็นต้น

1.4.4 พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานและรับส่งข้อมูลของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.4.5 ทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.4.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีได้ เนื่องจากทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีเมื่อปฏิบัติงานในการวัดรังสีสามารถอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีได้ไกลขึ้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Ioan Doroftei, Victor Grosu and Veaceslav Spinu [1] ได้ให้ข้อคิดเห็นเอาไว้ว่า "Omnidirectional vehicles have great advantages over conventional (non-holonomic) platforms"

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของ Omnidirectional vehicles สามารถเคลื่อนที่ไปได้รอบทิศทาง ไม่มีจุดบอดของมุมในการเคลื่อนที่ดังนั้นจึงมีความแม่นยำของตำแหน่งอ้างอิงของหุ่นยนต์ การทำงาน

ของ Omnidirectional vehicles ล้อจะต้องสัมผัสกับพื้นผิวอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้การควบคุมการเคลื่อนทีมีความถูกต้องดังนั้นในบางครั้งจึงต้องมีการเพิ่มเติมระบบ suspension เพื่อให้ล้อสัมผัสกับพื้นผิวอยู่ตลอดเวลา การเคลื่อนที่ไปด้านหน้าของพาหนะเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ไปด้านข้างเมื่อใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์เท่ากันจะมีความแตกต่างกันเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปด้านข้างเหมือนกับการไถลมากกว่า

2. มงคล เทียนวิบูลย์ [2] ได้ทดลองเคลื่อนที่หุ่นยนต์แบบ Omni-directional โดยให้มีการเคลื่อนที่เป็นรูปปิดแบบสี่เหลี่ยมและแปดเหลี่ยมผลปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อนทั้งทางตำแหน่งและองศาอยู่ และได้เสนอวิธีการเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งโดยเพิ่มเติมอุปกรณ์เซนเซอร์เทียบเคียงกับสภาพแวดล้อม

3. ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง [3] ได้พัฒนาโมดูลวัดรังสีขนาดเล็ก ขนาด 45 x 90 mm และผลจากการทดลองนำไปใช้กับหัววัดรังสีชนิด NaI(Tl) ก็ได้ผลเป็นที่น่าพอใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยต่อไปได้ เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่ามีขนาดเหมาะสมสำหรับการติดตั้งบนแพลตฟอร์มของหุ่นยนต์

4. ติรพัฒน์ สว่างโกศล [4] ศึกษาการควบคุมระยะไกลผ่านบลูทูธ ผลจากการวิจัยปรากฏว่าการรับส่งสัญญาณสามารถทำได้ในระยะ 6 เมตรในที่โล่ง เนื่องจากความสามารถในการรับส่งสัญญาณขึ้นกับคราสของ บลูทูธ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้คราสของบลูทูธให้เหมาะสมกับการใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีแกมมา (Gamma Radiation, γ)

2.1.1 รังสีแกมมา

ธาตุกัมมันตรังสีหรือนิวไคลด์กัมมันตรังสี (Radioactive Nuclide) [5] เป็นธาตุที่ไม่เสถียรเกิดการสลายตัวได้ตามธรรมชาติ เมื่อธาตุกัมมันตรังสีเกิดการสลายตัวปลดปล่อยรังสีแล้วจะกลายเป็นธาตุใหม่ ในกรณีที่นิวเคลียสของธาตุใหม่ยังมีพลังงานส่วนเกินเหลือซึ่งเรียกว่าอยู่ในสถานะกระตุ้น นิวเคลียสจะลดระดับพลังงานเพื่อไปอยู่ที่สถานะพื้น ในการลดระดับพลังงานนี้นิวเคลียสจะปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ด้วยเหตุผลนี้ทำให้รังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก ความยาวคลื่นน้อยกว่า 10^{-11} m มีคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัตถุได้ดี และมีคุณสมบัติทำให้สสารแตกตัวเป็นประจุหรือไอออไนเซชัน (Ionization)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา (Gamma Ray Interaction)

2.1.2.1 Photoelectric Effect เป็นปรากฏการณ์ที่รังสีแกมมาตกกระทบกับอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรแล้วรังสีแกมมาสูญเสียพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนนั้นๆ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากชั้นวงโคจร โดยอิเล็กตรอนมีพลังงานเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรนั้นๆ

2.1.2.2 Compton Scattering สำหรับรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงเมื่อตกกระทบกับอิเล็กตรอนในวงโคจร แล้วถ่ายโอนพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอน รังสีแกมมาจะมีพลังงานลดลง และเมื่อตกกระทบกับอิเล็กตรอนในวงโคจรแล้วจะสูญเสียพลังงานไปเรื่อยๆ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

2.1.2.3 Pair Production เป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานถูกเปลี่ยนไปเป็นมวล ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นใกล้กับบริเวณนิวเคลียสของอะตอม เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบกับนิวเคลียส รังสีแกมมาจะเปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนและโพซิตรอน และเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโพซิตรอนต่างก็มีมวลที่เท่ากันคือ 0.511 MeV ดังนั้นการที่รังสีแกมมาจะทำให้เกิดปรากฏการณ์แพร์โปรดักชันได้จะต้องมีพลังงานสูงกว่า 1.022 MeV เมื่อเกิดปรากฏการณ์แพร์โปรดักชัน โพซิตรอนที่เกิดขึ้นจะชนกับอิเล็กตรอนแล้วสลายมวลพร้อมทั้งปล่อยรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ในทิศทางตรงกันข้ามกันออกมา ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า แอนนิฮิเลชัน (Annihilation) และรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ที่เกิดขึ้นก็เรียกว่า แอนนิฮิเลชันเรดิเอชัน (Annihilation radiation)

2.1.3 หน่วยวัดทางรังสี

2.1.3.1 กัมมันตภาพ (Activity) หรือความแรงของสารกัมมันตรังสี คือปริมาณที่แสดงอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น คูรี่ (Curie, Ci) หรือ เบ็กเคอเรล (Becquerel, Bq) โดย

1 Ci = 3.7×10^{10} disintegration per second (dps)

1 Bq = 1 disintegration per second (dps)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3.2 เอ็กซ์โพเชอร์ (Exposure) คือปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นประจุ (Ionization) ที่เกิดขึ้นในอากาศมาตรฐาน (standard air) เมื่อมีรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านอากาศนั้น ๆ มีหน่วยเป็น เรินต์เกน (Roentgen, R) โดย

1 R = 2.58 x 10-4 coulomb per kilogram (C/kg)

1 C/kg = 3881 R

2.1.3.3 ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose) คือปริมาณพลังงานของรังสีที่ตัวกลางได้รับเทียบกับน้ำหนักของตัวกลางนั้น ๆ มีหน่วยเป็น แร็ด (radiation absorbed dose, rad) หรือ เกรย์ (Gray, Gy) โดย

1 rad = 100 erg/g

$$= 0.01\ J/kg$$

$$1\ Gy = 1\ J/kg$$

$$= 100\ rad$$

2.1.3.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent) คือปริมาณพลังงานของรังสีดูดกลืนที่เนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้รับ เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดให้ผลทางชีวภาพแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มปัจจัยทางชีวภาพ (Radiation Weighting factor, W_R) ตามตารางที่ 1-1 เพื่อแสดงผลทางชีวภาพที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น เร็ม (radiation equivalent man, rem) หรือ ซีเวิร์ต (Sievert,Sv) โดย

$$H\ (rem) = D\ (rad) \times W_R$$

$$H\ (Sv) = D\ (Gy) \times W_R$$

ตารางที่ 1 - 1 ปัจจัยทางชีวภาพ (Radiation Weighting Factor, W_R)

Radiation Type and Energy	Radiation Weighting Factor, W_R
X-rays and γ rays, all energy	1
Electrons Positrons and Muons, all energy	1
Neutrons	
< 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, energy > 2 MeV	5
α particles, Fission fragments, Heavy nuclei	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.4 ความปลอดภัยทางรังสี

2.1.4.1 ผลกระทบของรังสีทางชีวภาพ

Non-stochastic effects (Deterministic effects) เป็นผลกระทบที่จะแสดงอาการเมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับรังสีถึงปริมาณหนึ่งๆ (threshold) เมื่อร่างกายแสดงอาการแล้ว อาการจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ

Stochastic effects เป็นผลกระทบที่มีโอกาสเกิดกับร่างกายมนุษย์ โดยที่ร่างกายอาจจะมีผลกระทบหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ จากรังสีเลยก็ได้

2.1.4.2 หลักความปลอดภัยทางรังสี

หลักความปลอดภัยทางรังสีมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันมนุษย์จากผลกระทบทางรังสีทั้งแบบ deterministic effects และแบบ stochastic effects ร่างกายมนุษย์สามารถรับรังสีได้ทั้งจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอกและแหล่งกำเนิดรังสีภายในร่างกาย การป้องกันการได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีภายนอกร่างกายสามารถทำได้โดย การควบคุมช่วงระยะเวลาในการปฏิบัติงานกับแหล่งกำเนิดรังสี (Time) เพื่อให้ร่างกายมีโอกาสได้รับรังสีในช่วงเวลาที่สั้นที่สุด การอยู่ให้ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีให้ไกลที่สุด (Distance) และสุดท้ายคือการป้องกันด้วยการใช้กำบังรังสี (Shielding) เพื่อลดทอนปริมาณรังสีที่ตกกระทบร่างกายให้เหลือน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานมีผลทำให้ร่างกายได้รับปริมาณรังสีแตกต่างกัน การใช้เวลาในการปฏิบัติงานให้สั้นที่สุดทำให้ร่างกายมีโอกาสได้รับปริมาณรังสีลดน้อยลงไปด้วย นอกจากนั้นแล้วยังรวมถึงการปล่อยให้สารกัมมันตรังสีสลายตัว จนกระทั่งปริมาณความแรงรังสีลดลงอยู่ในช่วงที่มีความปลอดภัยต่อการปฏิบัติงานด้วย

Distance ในกรณีของแหล่งกำเนิดรังสีมีขนาดเล็ก (point source) ความแรงรังสีจะลดลงผกผันในแบบกำลังสองเมื่อระยะทางมากขึ้นตามกฎ Inverse square law

$$I_1/I_2 = D_2^2/D_1^2$$

เมื่อ I_1 คือความเข้มของรังสีที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีเท่ากับ D_1

I_2 คือความเข้มของรังสีที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีเท่ากับ D_2

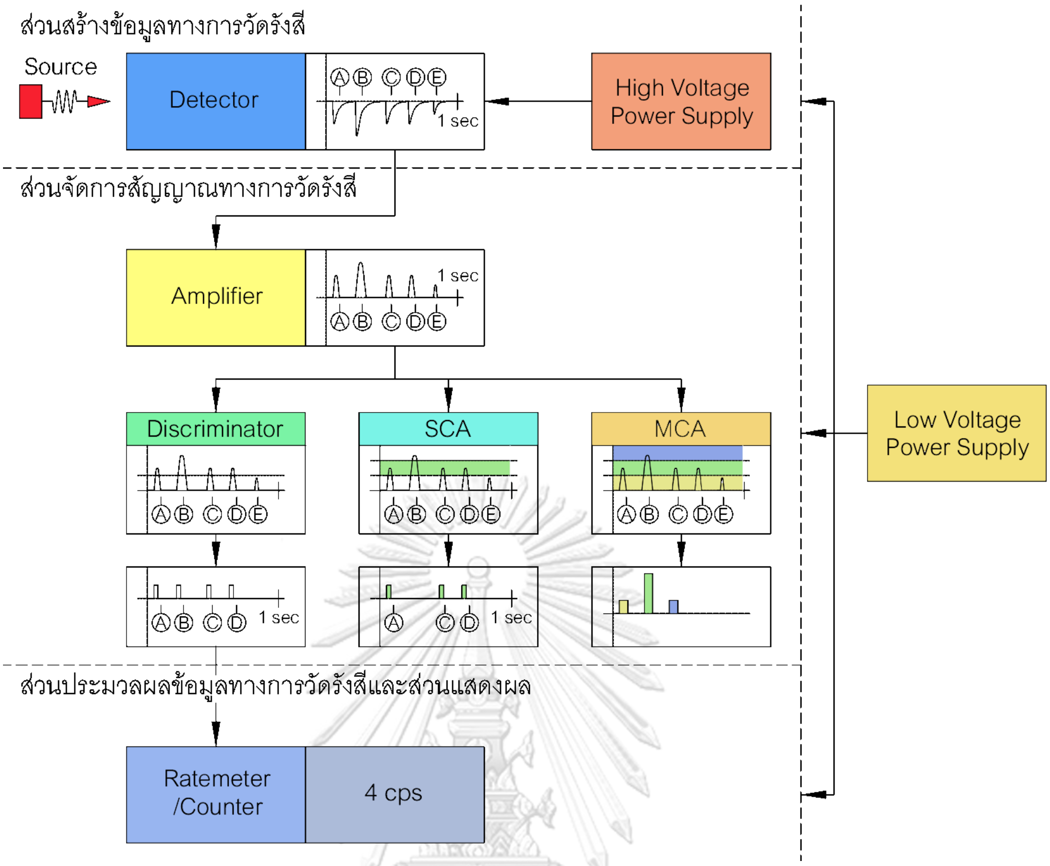
Shielding เนื่องจากรังสีมีอำนาจในการทะลุทะลวงต่างกัน ดังนั้นการใช้วัสดุให้เหมาะสมในการกำบังรังสีในแต่ละชนิดจึงช่วยลดปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับได้

2.2 ระบบตรวจวัดรังสีแกมมา (Gamma Ray Detection System)

ระบบตรวจวัดรังสีแกมมา [6] เป็นระบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการแปลงรูปพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีแกมมาให้เป็นสัญญาณวัดทางไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นหลังจากที่รังสีแกมมาตกกระทบและทำอันตรกิริยาถ่ายโอนพลังงานให้กับตัวกลางของหัววัดรังสี แล้วถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นระบบจะทำการจัดการรูปแบบสัญญาณทางไฟฟ้านั้นๆ เพื่อแสดงเป็นข้อมูลอัตรานับและพลังงานของรังสีแกมมา

ระบบตรวจวัดรังสีแกมมาทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่เฉพาะสำหรับการจัดการสัญญาณในแต่ละส่วน โดยเริ่มจากการแปลงปริมาณสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี ที่เกิดจากการที่รังสีแกมมาตกกระทบและทำอันตรกิริยาถ่ายโอนพลังงานให้กับตัวกลางในหัววัดรังสี ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลพลังงานของรังสีและอัตรานับของรังสีแกมมา เนื่องจากลักษณะสัญญาณอนาล็อกที่ได้ยังไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางรังสี ดังนั้นสัญญาณอนาล็อกที่ได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกที่มีลักษณะเป็นรูปสัญญาณแบบเซมิเกาส์เซียน (Semi-Gaussian) ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางรังสี หลังจากนั้นระบบอิเล็กทรอนิกส์จะทำการคัดเลือกเฉพาะสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการวัดรังสี สัญญาณที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกนับจำนวนสัญญาณเทียบกับเวลา ทั้งในรูปแบบของการนับแบบไม่แจกแจงพลังงานและการนับเฉพาะพลังงานที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลข้อมูลทางรังสีต่อไป แผนภาพของระบบตรวจวัดรังสีแกมมา แสดงในรูปที่ 2-1

ระบบตรวจวัดรังสีแกมมานอกจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางรังสีแล้ว ยังรวมถึงระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ทำงานร่วมกันในการตรวจวัดรังสีแกมมาด้วย สามารถแบ่งการทำงานตามลักษณะหน้าที่การทำงานได้เป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่



รูปที่ 2 - 1 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดรังสีแกมมา

2.2.1 ส่วนสร้างข้อมูลทางการวัดรังสี (Data Production)

ส่วนสร้างข้อมูลทางการวัดรังสี ประกอบด้วยหัววัดรังสีที่ได้รับการไบอัสด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งหัววัดรังสีทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของรังสีให้เป็นปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อการถ่ายโอนพลังงานของรังสีให้กับตัวกลางในหัววัดรังสี ส่วนสร้างข้อมูลทางการวัดรังสีประกอบด้วย

2.2.1.1 หัววัดรังสีแกมมาชนิดหัววัดเรืองรังสี (Scintillation Detector) หลักการทำงานของหัววัดเรืองรังสีนี้ อาศัยหลักการที่เมื่อรังสีแกมมาเมื่อตกกระทบกับผลึกของหัววัด เมื่อรังสีแกมมาทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photoelectric Effect หรือ Compton Scattering ทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอน (Photo Electrons) หลุดออกมา โฟโตอิเล็กตรอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนอื่นๆ ที่อยู่ในชั้น Valence Band ซึ่งเป็นสถานะพื้น เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงาน อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้นไปอยู่ระดับพลังงานในชั้น

Conduction band ซึ่งเป็นสถานะกระตุ้น หลังจากนั้นอิเล็กตรอนจะลดระดับพลังงานจากสถานะกระตุ้นกลับมาอยู่ในสถานะพื้นเช่นเดิม ในการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนนั้นอิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วงต่างๆ รวมถึงในช่วงแสงที่ตามองเห็นด้วย (Visible Light) ขึ้นกับความแตกต่างของระดับชั้นพลังงานในสถานะกระตุ้นกับระดับชั้นพลังงานในสถานะพื้นของสสารนั้นๆ นอกจากนั้นแล้วเมื่อโฟโตอิเล็กตรอนหลุดออกมา ทำให้ชั้นวงโคจรนั้นว่างลง อิเล็กตรอนจากชั้นพลังงานที่สูงกว่าจะลดระดับพลังงานลงมาแทนที่ ในการลดระดับพลังงานนี้อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงเช่นกัน

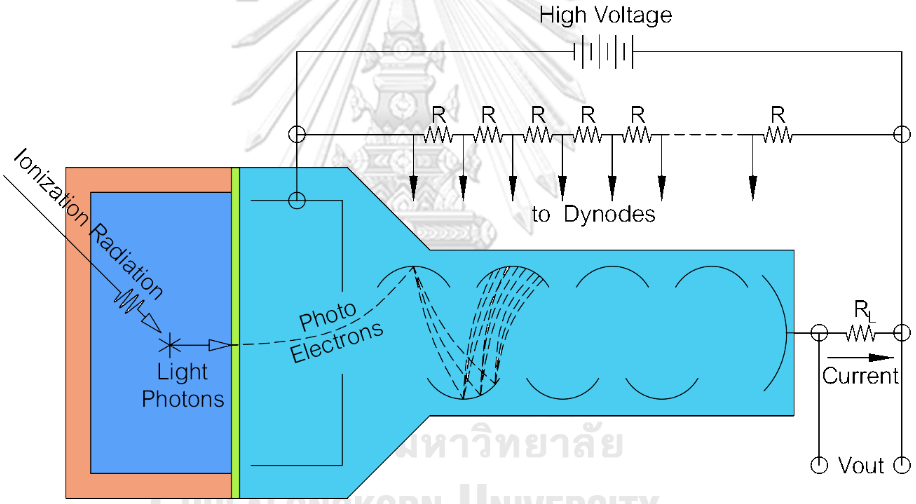
หัววัดเรืองรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม NaI(Tl) เป็นหัววัดเรืองรังสีที่ใช้งานทางด้านนิวเคลียร์อย่างแพร่หลาย ผลึกของหัววัดเป็นผลึกของโซเดียมไอโอไดด์มีการเจือด้วยทัลเลียม เหตุที่มีการเจือผลึกโซเดียมไอโอไดด์ด้วยทัลเลียมก็เพื่อให้แสงที่ปลดปล่อยออกจากผลึกมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อ-การทำงานของโฟโตคาโทดในหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน คุณสมบัติของผลึกโซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม NaI(Tl) แสดงในตารางที่ 2-1 [7]

ตารางที่ 2 - 1 คุณสมบัติของผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (NaI(Tl), NaI)

Scintillator	Specific gravity	Wavelength of maximum emission (Angstrom)	Decay time constant light (Second)	Relative light output for γ-rays
NaI(Tl) 0.1% crystal	3.67	4130	0.23×10^{-6}	230
NaI pure at 77 °K crystal	3.67	3030	0.06×10^{-6}	440

2.2.1.2 หลอดทวีคูณอิเล็กตรอน (Photo Multiplier Tube, PMT) ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงที่เกิดภายในผลึกของหัววัดรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยเมื่อแสงที่เกิดจากการเรืองรังสีในหัววัดรังสีสะท้อนเข้าไปในหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน และตกกระทบเข้ากับโฟโตคา

โทด (Photocathode) ที่บริเวณด้านหน้าของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน ทำให้เกิดปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) ทำให้มีโฟโตอิเล็กตรอน (Photo Electrons) หลุดออกมา สนามไฟฟ้าภายในหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนจะเหนี่ยวนำให้โฟโตอิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปภายในหลอด หลังจากนั้นโฟโตอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าความต่างศักย์สูงให้ชนเข้ากับไดโนด อิเล็กตรอนจะหลุดออกจากไดโนดมากขึ้นและถูกเร่งให้ไปชนกับไดโนดในอันดับต่อๆ ไป ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนทวีคูณขึ้นเรื่อยๆ จนสุดท้ายตกกระทบเข้ากับขั้วแอโนดกลายเป็นสัญญาณไฟฟ้า ก่อนที่จะส่งต่อไปยังส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีในลำดับต่อไป วัตถุประสงค์ของการไบอัสหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อให้ได้ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ไปวิเคราะห์ทางรังสี หลักการทำงานของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน แสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2 - 2 หลักการทำงานของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

2.2.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ทำหน้าที่ไบอัสไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนเพื่อเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอน แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่เหมาะสมกับหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนจะต้องสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนได้โดยที่ไม่มีการสูญเสียแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากหากเกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้า ความสามารถในการกำเนิดสัญญาณทางรังสีจะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ข้อมูลทางการวัดรังสีผิดพลาดได้

2.2.2 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี (Signal Processing)

ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีทำหน้าที่จัดการรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากส่วนข้อมูลทางการวัดรังสีให้เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางรังสี ซึ่งสามารถจัดระบบวัดได้ทั้งแบบระบบนับรวม (Integral counting system) และระบบวัดแบบแจกแจงพลังงาน (Differential counting system) โดยส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีประกอบด้วย

2.2.2.1 ส่วนวงจรตัดสัญญาณรบกวนและแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณพัลส์ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสัญญาณแบบเซมิเกาส์เซียน

2.2.2.2 ส่วนวงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณพัลส์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งขนาดของสัญญาณพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานที่ได้รับการถ่ายโอนจากรังสี

2.2.2.3 ส่วนวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์ ได้แก่ วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว (Single Channel Analyzer, SCA) และวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi-Channel Analyzer, MCA) โดยทำงานของ SCA จะทำการวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณในช่วงที่ต้องการครั้งละหนึ่งช่องวัดเท่านั้น จึงต้องทำการสแกนเพื่อวัดค่าความสูงของสัญญาณพัลส์ ส่วน MCA จะทำการวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์พร้อมๆ กัน ในทุกช่องวัด ข้อมูลจากส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีนี้จะถูกส่งเข้าส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสีและส่วนแสดงผลต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3 ส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสีและส่วนแสดงผล (Data Processing and Display)

ส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสีและส่วนแสดงผล ประกอบด้วยส่วนวงจรที่ทำหน้าที่สร้างข้อมูลจำนวนนับรังสีเทียบกับเวลา ทั้งรูปแบบการนับรังสีแบบไม่เจาะจงค่าพลังงานหรือการนับรังสีแบบเจาะจงค่าพลังงาน พร้อมทั้งการแสดงผล ได้แก่ วงจรนับรังสี (Counter/Scaler) และวงจรเรตมิเตอร์ (Ratemeter) เป็นต้น

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller Unit, MCU)

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (Integrated Circuit, IC) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานล่วงหน้าได้ เปรียบเสมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ทำงานโดยการรับส่งข้อมูล (Data) กับอุปกรณ์ต่อพ่วงรอบข้าง (Peripheral) ในรูปแบบของสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล จากนั้นก็จะนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้กำหนดเอาไว้ แล้วส่งข้อมูล (Output) ออกมาในรูปสัญญาณดิจิตอล ความแตกต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์คือไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาให้ทำงานเฉพาะอย่าง ในขณะที่คอมพิวเตอร์สามารถทำงานหลายๆ หน้าที่ในเวลาเดียวกันได้ โดยโครงสร้างหลักของของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย

2.3.1.1 หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit, CPU) เปรียบเสมือนกับสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลจากข้อมูลที่ได้ตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

2.3.1.2 หน่วยความจำ (Memory) หน่วยความจำมี 2 ส่วน คือหน่วยความจำหลัก ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ได้กำหนดเอาไว้ (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

2.3.1.3 ส่วนติดต่อกับข้อมูลภายกับนอก (I/O Port) ประกอบด้วย ส่วนรับข้อมูลอินพุต (Input port) และส่วนติดต่อเพื่อส่งข้อมูลเอาต์พุต (Output port)

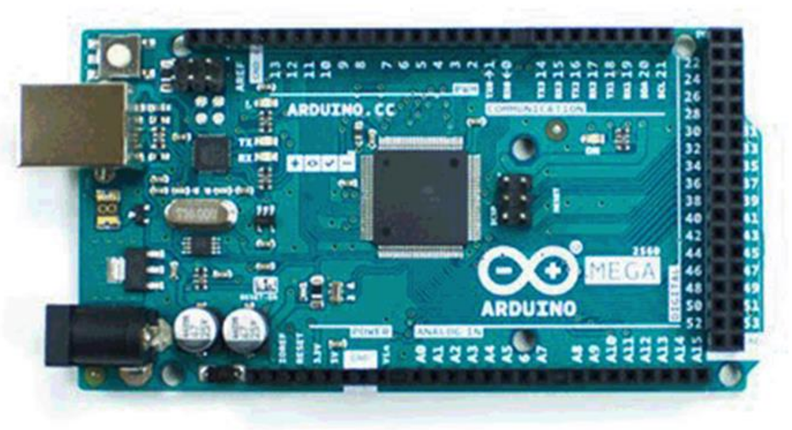
2.3.1.4 ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (Bus) คือเส้นทางแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและส่วนติดต่อกับข้อมูลภายนอก แบ่งเป็นสัญญาณข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และสัญญาณควบคุม (Control Bus)

2.3.1.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เปรียบเสมือนเหมือนหัวใจในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา ถ้าไม่มีสัญญาณนาฬิกา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่สามารถทำงานได้เลย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.2 Arduino Mega 2560

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 [8] เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานบนพื้นฐานของ CPU ATmega2560 โปรแกรมผ่าน USB Port โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมภาษา C บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 แสดงในรูปที่ 2-3 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 แสดงในตารางที่ 2-2



รูปที่ 2 - 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

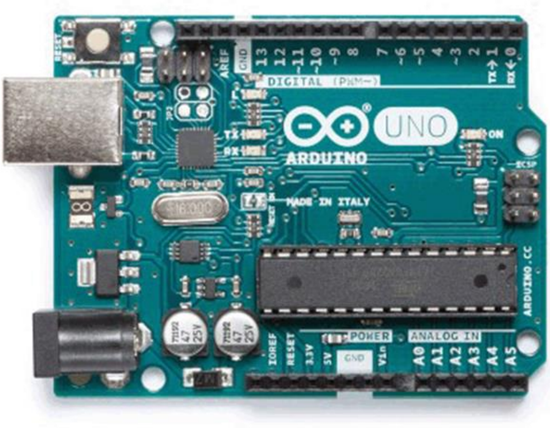
ตารางที่ 2 - 2 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5 V
Input Voltage	7-12 V
Limit Input Voltage	6-20 V
Digital I/O Pins	54 Pins (15 Pins PWM Output)
Analog Input Pins	16 Pins
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB (8 KB used by Bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.3 Arduino Uno R3

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 [8] เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานบนพื้นฐานของ CPU ATmega328P สามารถโปรแกรมผ่าน USB Port โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ได้เช่นเดียวกันกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 แสดงในรูปที่ 2-4 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 แสดงในตารางที่ 2-3



รูปที่ 2 - 4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

ตารางที่ 2 - 3 คุณลักษณะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage	7-12 V
Limit Input Voltage	6-20 V
Digital I/O Pins	14 Pins (6 Pins PWM Output)
Analog Input Pins	6 Pins
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3 V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (0.5 KB used by Bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 การสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication)

2.4.1 การสื่อสารแบบไร้สาย

การสื่อสารแบบไร้สายคือการรับส่งสัญญาณข้อมูล (Data) ระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ โดยไม่ใช้ตัวนำไฟฟ้าในการส่งสัญญาณข้อมูลแต่ใช้ตัวกลางอื่นๆ ในการส่งสัญญาณข้อมูลแทน เช่น การใช้คลื่นเสียงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณข้อมูล คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณข้อมูล อาจเป็นคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ แสงอินฟาเรดหรือแสงเลเซอร์ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน ในการวิจัยนี้ใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณข้อมูล

การสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีข้อได้เปรียบกว่าการสื่อสารแบบใช้สายคือไม่ต้องมีการวางสายสัญญาณในระบบโครงข่าย ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน สามารถเพิ่มเติมชุดอุปกรณ์ได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องมีการวางสายสัญญาณของระบบเครือข่าย แต่ข้อเสียคือ การสื่อสารแบบไร้สายขณะใช้งานอาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นกับระบบได้มากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพและคุณภาพของสัญญาณจากการสื่อสารแบบไร้สายต่ำกว่าการสื่อสารแบบใช้สาย อย่างไรก็ตาม การสื่อสารแบบไร้สายก็ยังคงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสะดวกในการสื่อสารมากกว่าระบบการสื่อสารแบบใช้สาย สำหรับอุปกรณ์การสื่อสารแบบไร้สายที่มีการใช้งานในชีวิตประจำวันมีหลายประเภท ซึ่งสามารถจำแนกเป็นอุปกรณ์การสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้งานในระยะใกล้ ได้แก่ รีโมทที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น รีโมทโทรทัศน์ รีโมทเครื่องปรับอากาศ และ รีโมทรถยนต์ เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์การสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้งานในระยะไกล ได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องระบุตำแหน่งพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) และเครื่องรับส่งวิทยุ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2 โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz

อุปกรณ์การสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณข้อมูล ใช้โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นอุปกรณ์โมดูลที่ใช้ได้ทั้งรับและส่งข้อมูลย่านความถี่ 2.400-2.4835 GHz ทำงานผ่าน Serial Peripheral Interface (SPI) มีช่องสัญญาณวิทยุจำนวน 126 ช่องสัญญาณ สามารถรับส่งสัญญาณได้ไกลที่สุดประมาณ 100 เมตร โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz แสดงในรูปที่ 2-5

รูปที่ 2 - 5 โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01

สำหรับโมดูล Nordic Semiconductor nRF24l01 สำเร็จรูปจะประกอบด้วยขาอุปกรณ์ต่อพ่วงสำหรับใช้งาน จำนวน 8 ขา ตามตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 - 4 ขาอุปกรณ์ของโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01

VCC	3.3 V
GND	Ground
CSN	SPI chip selected
CE	Chip enable activates RX or TX mode
MOSI	SPI slave data input
SCK	SPI clock
MISO	SPI slave data output, with tri-state option
IRQ	Maskable interrupt pin. Active low

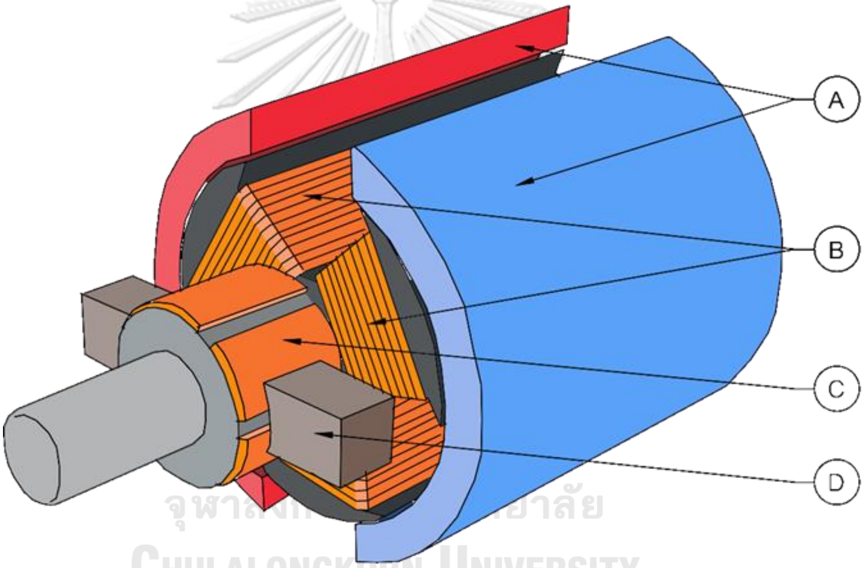
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor Control)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือดีซีมอเตอร์ (DC Motor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยอาศัยกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ซึ่งเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กและเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กเหล่านี้ไปตัดกับสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงผลัก

กับตัวนำไฟฟ้านั้นๆ ทิศทางของแรงผลักจะเกิดตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง ข้อแตกต่างระหว่างกฎมือซ้ายและกฎมือขวาของเฟลมมิงคือ กฎมือซ้ายของเฟลมมิงใช้สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนกฎมือขวาของเฟลมมิงใช้สำหรับเจนเนอเรเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยสองส่วนหลักๆ ได้แก่ ขดลวดอยู่กับที่หรือแม่เหล็กถาวรซึ่งทำหน้าที่เป็น สเตเตอร์ (Stator) และขดลวดเคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor) นอกจากนี้ยังมีแปรงถ่าน (Brush) ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกเข้าไปยังตัวโรเตอร์ผ่านทางคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนโลหะที่ติดอยู่กับโรเตอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากแปรงถ่านแล้วส่งต่อกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดโรเตอร์ ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงในรูปที่ 2-6



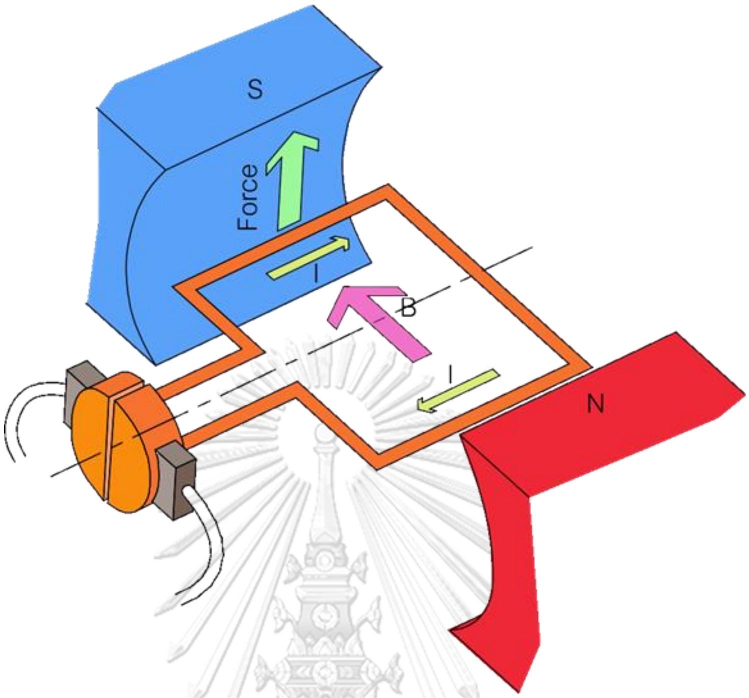
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2 - 6 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

A แม่เหล็กถาวรหรือสเตเตอร์ (Stator), B ขดลวดเคลื่อนที่หรือโรเตอร์ (Rotor), C แปรงถ่าน (Brush), D คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแปรงถ่านไปยังคอมมิวเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดบนโรเตอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กบนโรเตอร์ สนามแม่เหล็กนี้จะเกิดการเหนี่ยวนำกับสนามแม่เหล็กจากสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นบนโรเตอรแล้วผลักให้โรเตอร์หมุน เมื่อโรเตอร์หมุนผ่านไปยังขั้วแม่เหล็กอีกขั้ว คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่กลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าส่งผลให้

สนามแม่เหล็กบนโรเตอร์กลับทิศ เกิดแรงบิดขึ้นบนโรเตอร์ต่อเนื่องทำให้มอเตอร์หมุนทำงานต่อไปเรื่อยๆ หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงในรูปที่ 2-7

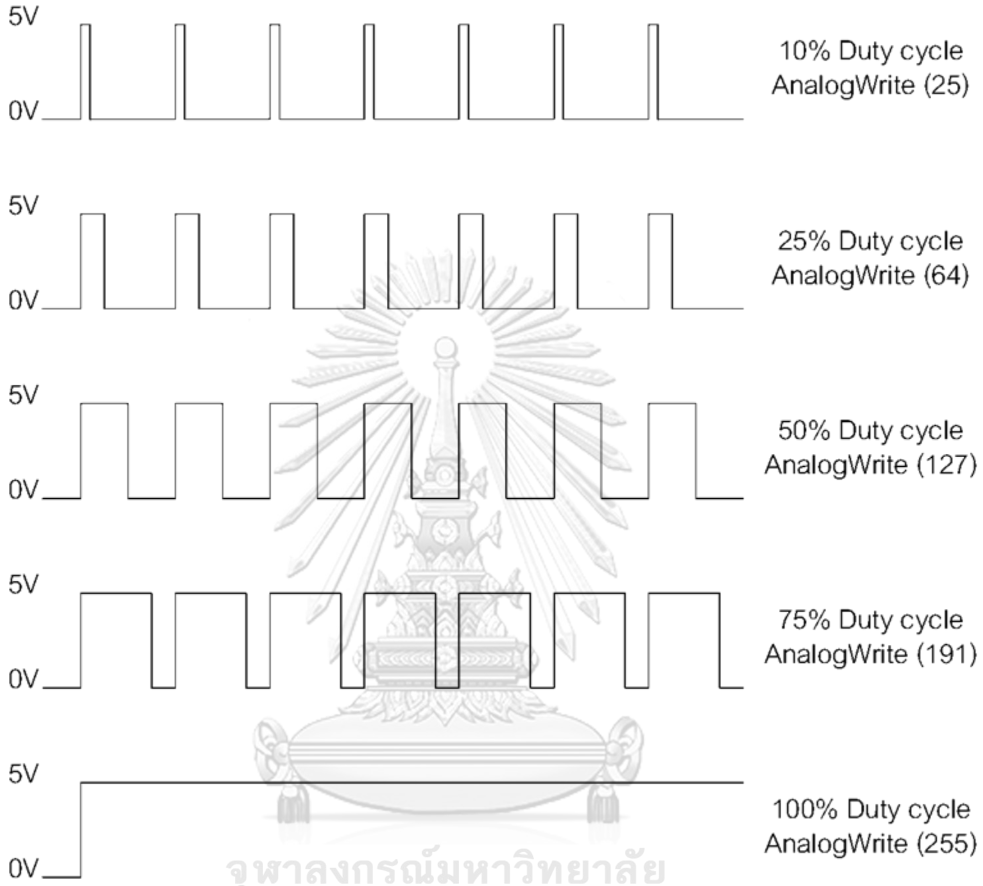


รูปที่ 2 - 7 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไป จะทำการควบคุมในส่วนของความเร็วมอเตอร์ (Speed Control) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction Control) และแรงบิดของมอเตอร์ (Torque Control) ซึ่งในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงนั้นทำได้โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์สูงความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ก็จะสูงตามไปด้วย ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ต่ำความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ก็จะช้าตาม ส่วนการควบคุมทิศทางการหมุนสามารถทำได้โดยการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ สำหรับการควบคุมแรงบิดทำโดยการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดของตัวโรเตอร์ และขดลวดสเตเตอร์ในกรณีที่สเตเตอร์เป็นแบบขดลวด ซึ่งถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดมากมอเตอร์แรงบิดก็จะมากและในทางกลับกันถ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้น้อยแรงบิดก็จะน้อยตามไปด้วย แต่สำหรับกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้แม่เหล็กถาวรเป็นสเตเตอร์ จะควบคุมแรงบิดได้ยาก

ปัจจุบัน การควบคุมความเร็วของมอเตอร์มักนิยมใช้การควบคุม โดยอาศัยหลักการของพัลส์วิธมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation, PWM) คือจะใช้วิธีจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เป็นช่วงๆ

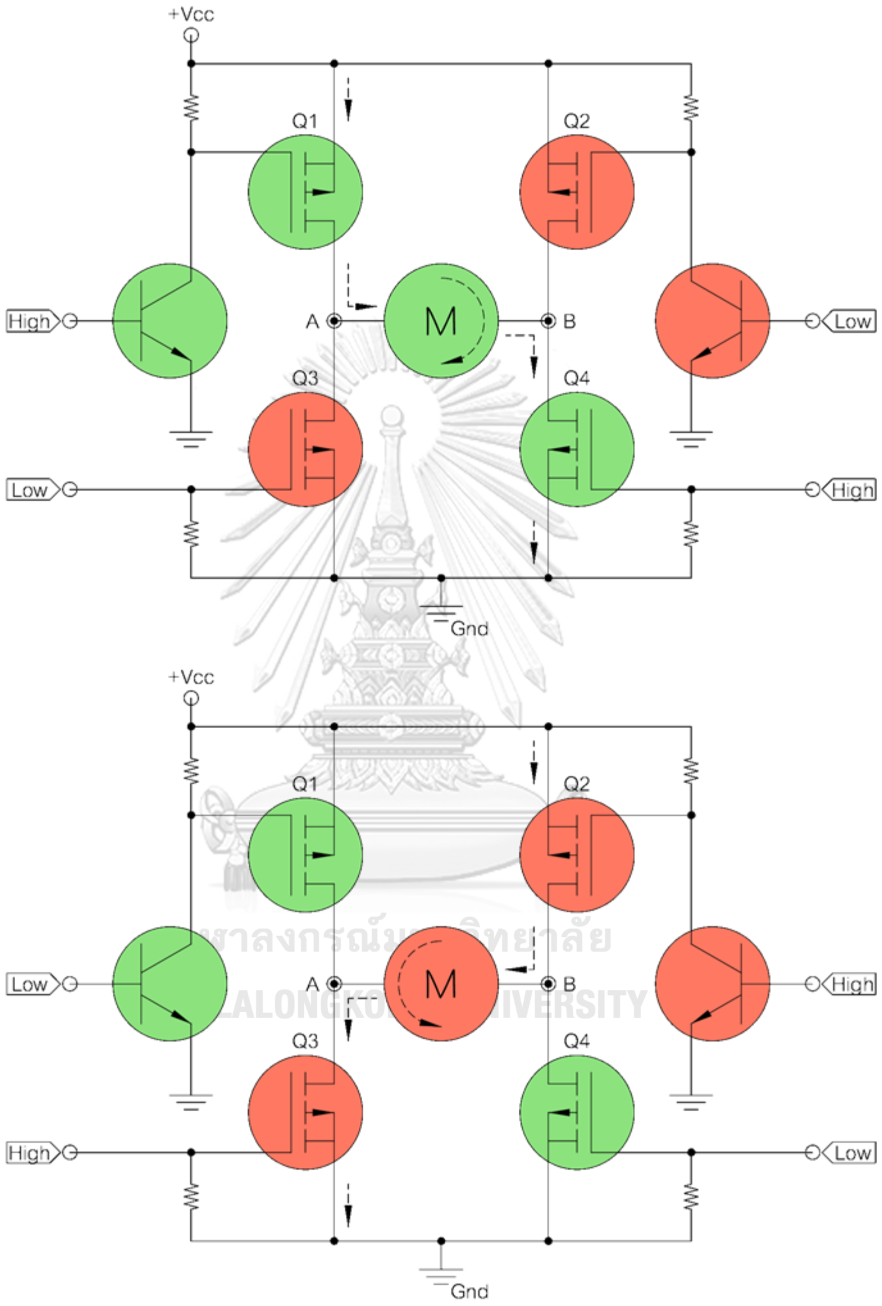
ตามความถี่ที่กำหนดซึ่งเรียกว่า Duty cycle ซึ่งทำให้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามขนาดความกว้างของพัลส์ที่จ่ายให้ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบลดลง Pulse Width Modulation, PWM แสดงในรูปที่ 2-8



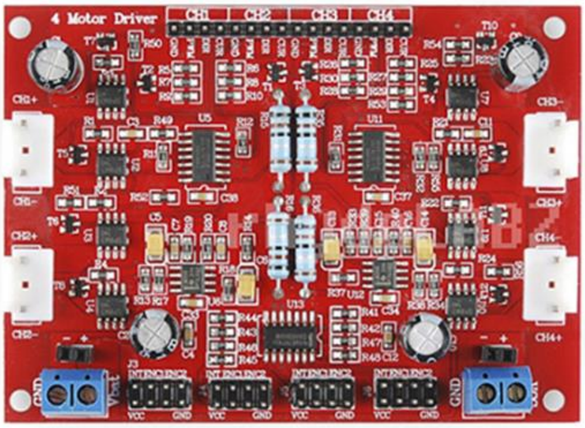
รูปที่ 2 - 8 Pulse Width Modulation, PWM

ในการควบคุมทิศทางการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนใหญ่จะอาศัยวงจรขับมอเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ H-Bridge แสดงในรูปที่ 2-9 ซึ่งวงจรประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ (Transistor) หรือมอสเฟต (MOS-FET) ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิด จำนวน 4 ชุด (Q1-Q4) ซึ่งการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์สามารถทำได้ด้วยการควบคุมการทิศทางการไหลของกระแสที่เกิดขึ้นในวงจร เช่น เมื่อส่งสัญญาณควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 ทำงานและปิดการทำงานของทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 กระแสจะไหลจากจุด A ไปจุด B จะทำให้มอเตอร์เริ่มหมุนไปในทิศทางหนึ่งแต่เมื่อส่งสัญญาณควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ทำงาน และปิด

การทำงานของทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q4 กระแสจะไหลจากจุด B ไปจุด A จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทาง บอร์ดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง H-Bridge แบบ 4 ช่องทาง แสดงในรูปที่ 2-10



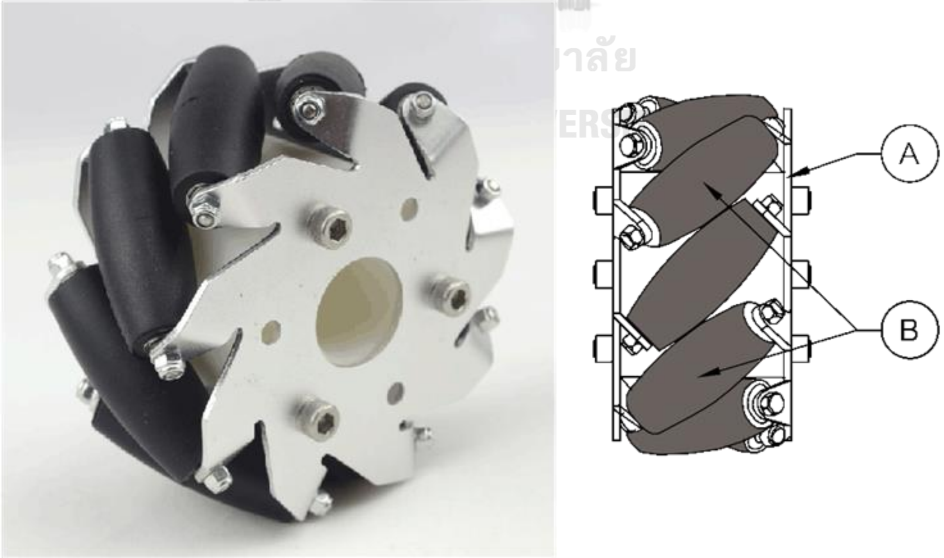
รูปที่ 2 - 9 วงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ H-Bridge



รูปที่ 2 - 10 บอร์ดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง H-Bridge แบบ 4 ช่องทาง

2.6 ล้อแบบแมคานุม (Mecanum Wheel)

ล้อแบบแมคานุมถูกออกแบบโดยบริษัท แมคานุม (Mecanum Company) ประเทศสวีเดน โครงสร้างของล้อแบบแมคานุมจะประกอบด้วยล้อหลัก (Wheel) ซึ่งติดตั้งกับแกนหมุน และล้อเล็ก (Roller) ติดตั้งทำมุม 45 องศา กับล้อหลัก โครงสร้างของล้อแบบแมคานุมแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2 - 11 โครงสร้างของล้อแบบแมคานุม

A ล้อหลัก (Wheel), B ล้อเล็ก (Roller)

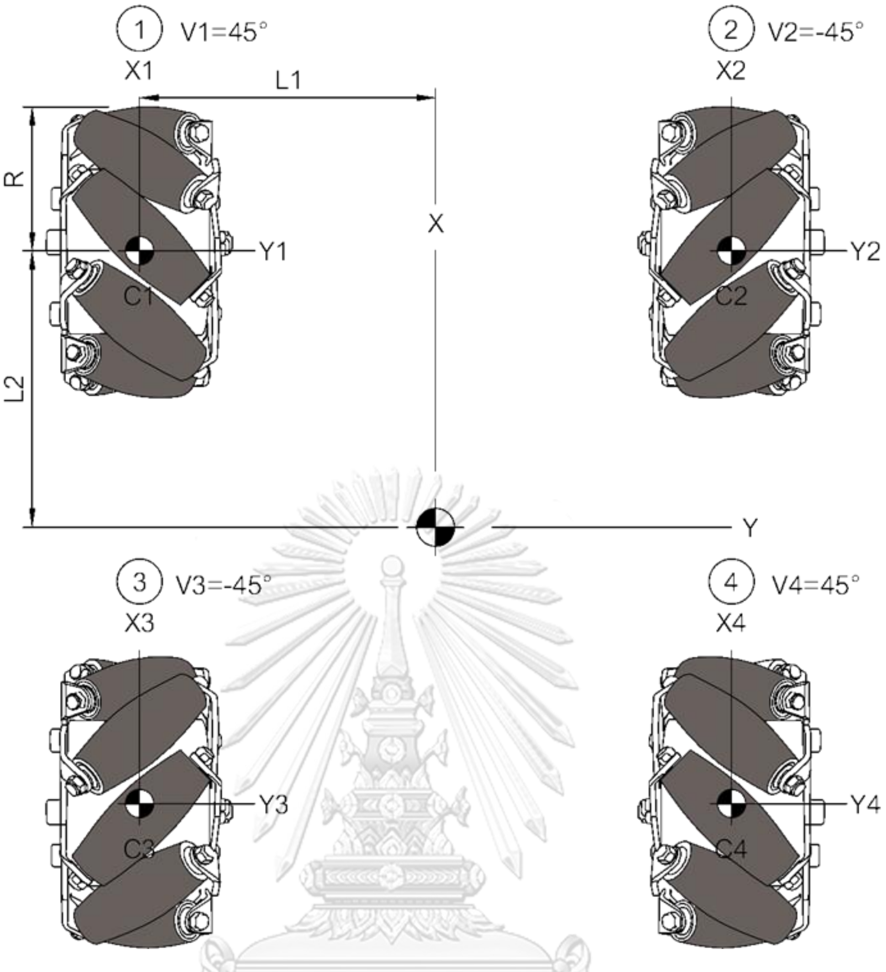
ล้อแบบแมคานุมมีข้อดีคือสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระบนพื้นราบ [1] เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับการไถลหรือสไลด์ไปในทิศทางต่างๆ ดังนั้นรถหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อแบบแมคานุมจึงสามารถควบคุมตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนได้ดีกว่ารถหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อแบบทั่วไป มีความแม่นยำและไม่มีมุมอับของการเคลื่อนที่ สำหรับข้อด้อยของล้อแบบแมคานุมก็คือมีความยุ่งยากในการผลิตและมีความซับซ้อนในการออกแบบวิธีการควบคุม เนื่องจากในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ แต่ล่ะล้อจะทำงานในรูปแบบเฉพาะของตัวเอง ต้องมีมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนล้อทุกล้อทำให้ต้องมีชิ้นส่วนอุปกรณ์เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วล้อแบบแมคานุมมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานน้อยกว่าล้อแบบทั่วไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ในบางทิศทาง แรงที่กระทำในแต่ละล้อจะต้องหักล้างกันเองเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการได้ การเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและด้านหลังจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง อย่างไรก็ตามข้อดีของการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระบนพื้นราบ มีความแม่นยำ ไม่มีมุมอับของการเคลื่อนที่ ทำให้ล้อแบบแมคานุมมีความเหมาะสมและใช้งานได้ดีกับรถหุ่นยนต์

การติดตั้งล้อกับรถหุ่นยนต์จะติดตั้งเป็นชุดเลขคู่ ตั้งแต่ 4-6-8 ล้อเป็นต้นไป เนื่องจากในการวางตำแหน่งล้อจะมีเอกลักษณ์เฉพาะในแต่ล่ะล้อ วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของล้อโดยทั่วไปทำได้โดยเมื่อมองรถจากด้านบน แนวมุม 45 องศาของล้อเล็กจะวางชี้ออกจากแนวศูนย์ถ่วงของรถหุ่นยนต์ การนับหมายเลขอ้างอิงของล้อจะนับจากซ้ายไปขวาโดยเริ่มจากล้อมุมซ้ายบนสุดเป็นหมายเลข 1 มุมขวาบนสุดเป็นหมายเลข 2 มุมซ้ายล่างสุดเป็นหมายเลข 3 และมุมขวาล่างสุดเป็นหมายเลข 4 ตามลำดับ รูปแบบการติดตั้งล้อแบบแมคานุม แสดงในรูปที่ 2-12

การควบคุมการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ รวมถึงการหมุนตัวรถ ทำได้โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของแต่ละล้อ ซึ่งในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ล้อแต่ละอันจะทำงานในรูปแบบเฉพาะของตัวเอง รูปแบบการทำงานของล้อสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ แสดงในรูปที่ 2-13

เมื่อทำการวิเคราะห์วิธีควบคุมด้วยปุ่มควบคุม ให้สัมพันธ์กันกับการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์ไปในทิศทางต่างๆ ทำให้ได้แผนภาพความสัมพันธ์ในการทำงานของแต่ละล้อเทียบกับการควบคุมจากปุ่มควบคุม แสดงในรูปที่ 2-14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2 - 12 รูปแบบการติดตั้งล้อแบบแมคานุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณทิศทางและการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์แยกออกเป็นการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวแกน X แกน Y และการหมุนรอบแกน Z โดยขึ้นกับการหมุนของแต่ละล้อประกอบกัน ตามสมการ (1)

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{R}{4}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -\frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} & -\frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \qquad (1)$$

โดยที่ R รัศมีของล้อ (Wheel radius)

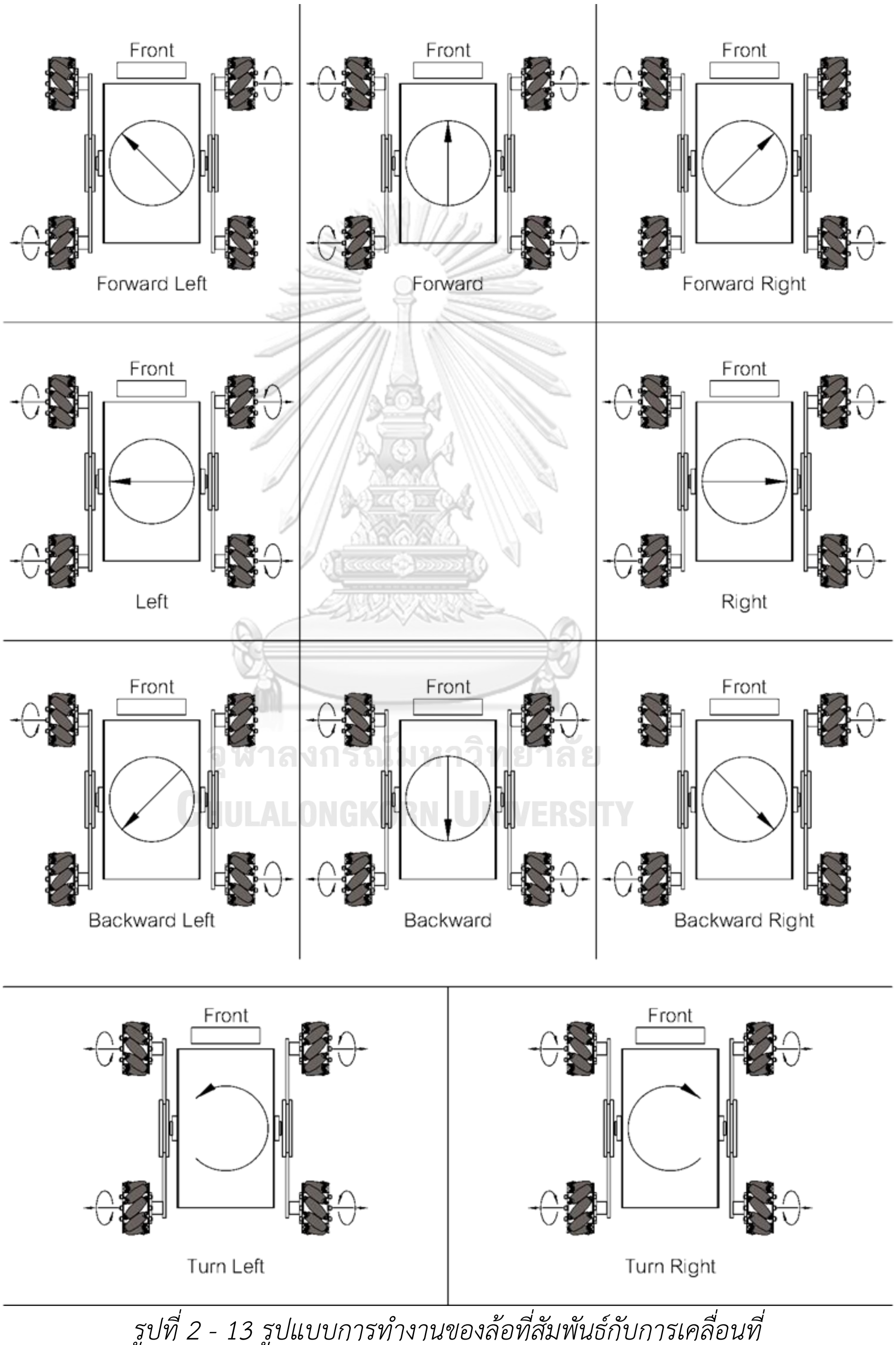
v_x ความเร็วในแนวแกน X

v_y ความเร็วในแนวแกน Y

ω_z ความเร็วในการหมุนรอบแกน Z

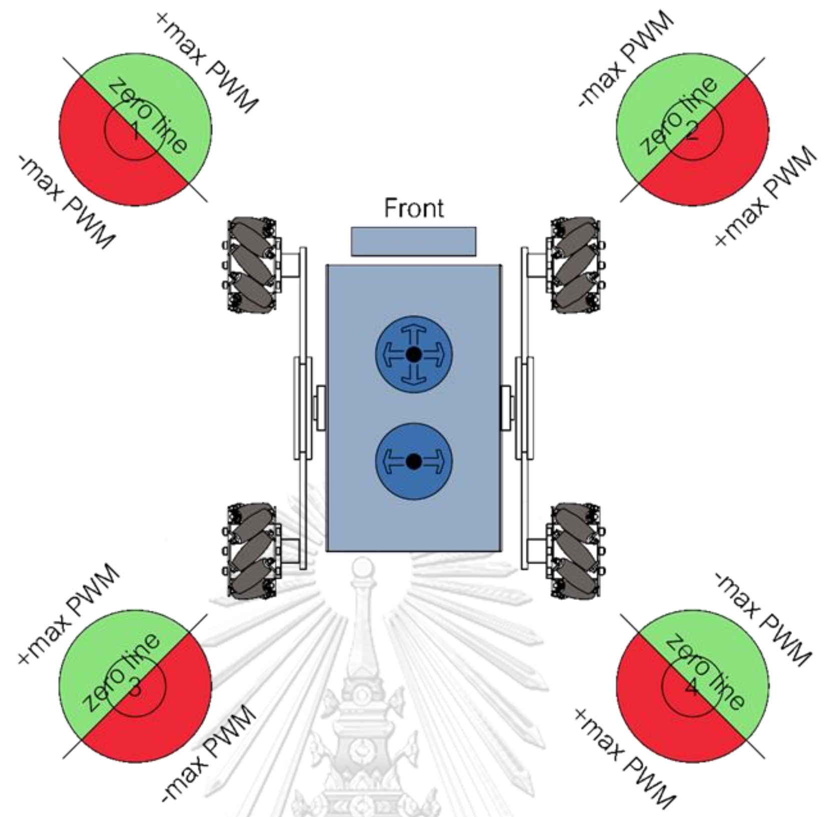
ω_i ความเร็วในการหมุนของล้อใดๆ

l_1 และ l_2 คือระยะทางจากจุดศูนย์กลางของล้อตามแนวแกน Y และ X ตามลำดับ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2 - 13 รูปแบบการทำงานของล้อที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่



รูปที่ 2 - 14 แผนภาพความสัมพันธ์ในการทำงานของแต่ละล้อเทียบกับการควบคุมจากปุ่มควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 การวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic Range Finder)

การวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียง เนื่องจากความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศมีค่าคงที่ ณ อุณหภูมิใดๆ ดังนั้นจึงสามารถนำคลื่นเสียงมาใช้ในการวัดระยะทางได้ โดยทำการจับเวลาระหว่างการปล่อยคลื่นเสียงออกไปจากภาคส่ง จนกระทั่งคลื่นเสียงกระทบเข้ากับวัตถุแล้วสะท้อนกลับเข้ามายังภาครับ ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศ ระยะเวลาที่ได้เป็นระยะเวลาที่ใช้วัดระยะทางไปกลับ ดังนั้นในการคำนวณหาระยะทางจึงต้องหารสองด้วยเสมอ สำหรับการวัดระยะทางที่ต้องการความแม่นยำสูง จำเป็นที่จะต้องมีระบบวัดอุณหภูมิของอากาศเพื่อนำมาคำนวณค่าความเร็วของคลื่นเสียงให้ถูกต้องแม่นยำด้วย แต่ในกรณีที่ต้องการ

ความแม่นยำปานกลาง สามารถกำหนดค่าความเร็วเฉพาะให้กับคลื่นเสียงได้เลย การคำนวณหาระยะทางเป็นไปตามสมการที่ (2)

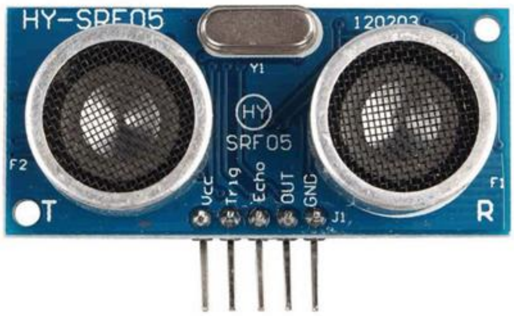
$$s = \frac{vt}{2} \tag{2}$$

โดยที่ s ระยะทางระหว่างโมดูลอัลตราโซนิกกับสิ่งกีดขวาง (m)

v ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ (m/s)

t ช่วงระยะเวลาระหว่างการปล่อยคลื่นเสียงจนกระทั่งคลื่นเสียงสะท้อนกลับ (s)

โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงประมาณ 40 kHz ซึ่งสามารถวัดระยะทางได้ในช่วง 0.02-4.50 ±0.002 เมตร โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 แสดงในรูปที่ 2-15



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2 - 15 โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 ประกอบด้วยขาสำหรับต่อพวงเพื่อใช้งานจำนวน 5 ขา ตามตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2 - 5 ขาอุปกรณ์ของโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05

VCC	5 V
Trig	Input Pin
Echo	Output Pin
Out	-
GND	Ground

ในการต่อวงจรการใช้งานของโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 ทำได้ด้วยการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันบวก 5 V เข้าไปที่ขา Vcc และต่อขา Gnd เข้ากับขั้วลบ ขา Trig เป็นขาที่ต่อสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมเพื่อสั่งให้โมดูลอัลตราโซนิกปล่อยคลื่นเสียงออกไป ขา Echo จะเป็นขาที่รับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเข้ามา สำหรับขา Out ในกรณีนี้ไม่ได้มีการใช้งาน

การทำงานของโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 จะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างโมดูลอัลตราโซนิกและอุปกรณ์ควบคุม โดยที่อุปกรณ์ควบคุมจะส่งสัญญาณให้โมดูลอัลตราโซนิกเริ่มส่งคลื่นเสียงออกไปจากภาคส่งพร้อมกับเริ่มทำการนับเวลา เมื่อคลื่นเสียงกระทบเข้ากับวัตถุแล้วสะท้อนกลับเข้ามายังภาครับ สัญญาณที่ได้จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมเพื่อหยุดการนับเวลา หลังจากนั้นอุปกรณ์ควบคุมจะนำช่วงเวลาที่นับได้ไปคำนวณ เพื่อหาระยะห่างระหว่างวัตถุกับโมดูลอัลตราโซนิก ในกรณีที่คลื่นเสียงกระทบวัตถุแล้วคลื่นเสียงถูกดูดซับหรือสะท้อนคลื่นเสียงออกไปจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้ ดังนั้นในการวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิกจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

อุปกรณ์วิจัย

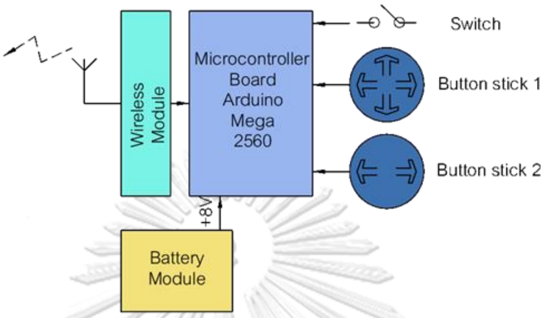
3.1 การออกแบบและสร้างรถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุต้นกำเนิดรังสีแกมมา

3.1.1 การออกแบบและพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบ

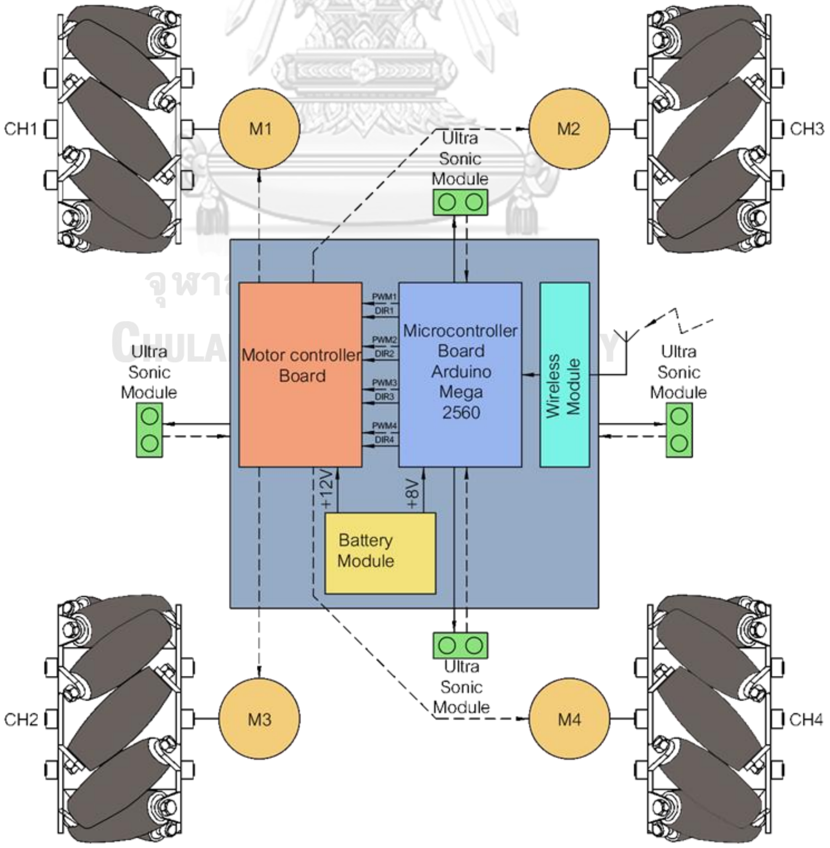
แนวคิดในการออกแบบและพัฒนารถหุ่นยนต์ต้นแบบ ได้กำหนดให้รถหุ่นยนต์ทำงานได้ 2 โหมด คือ โหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก (Manual Mode) และโหมดควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Mode) ในการทำงานขั้นแรกจะเป็นโหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก ซึ่งคนจะเป็นผู้ควบคุมให้รถหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ในการควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก ไมโครคอนโทรลเลอร์ของจอยสติกจะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจากปุ่มควบคุมจำนวน 2 ชุด และอ่านค่าสัญญาณดิจิตอลจากสวิตซ์เพื่อกำหนดโหมดการทำงาน โดยปุ่มควบคุมชุดแรกจะใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แบบไถลบนพื้นราบของรถหุ่นยนต์ ปุ่มควบคุมชุดนี้จะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจาก 2 แกน คือ แกน $X_{(1)}$ และแกน $Y_{(1)}$ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่แบบไถลของรถหุ่นยนต์ ปุ่มควบคุมชุดที่สองจะใช้สำหรับควบคุมการหมุนของรถหุ่นยนต์ ปุ่มควบคุมชุดนี้จะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจากแกน $X_{(2)}$ เพื่อนำไปคำนวณสำหรับควบคุมทิศทางและความเร็วในการหมุนของรถหุ่นยนต์ จากนั้นข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ทั้งหมดจะถูกรวบรวมและส่งไปยังรถหุ่นยนต์ ผ่านทางโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ เมื่อรถหุ่นยนต์ได้รับสัญญาณการควบคุมจากจอยสติกผ่านทางโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ แล้วนำข้อมูลทั้งหมดไปประมวลผลเพื่อกำหนดทิศทางและความเร็วในการหมุนของแต่ละล้อ ให้สัมพันธ์กันกับการควบคุมจากปุ่มควบคุมทั้ง 2 ชุด และเมื่อควบคุมรถหุ่นยนต์ไปหยุดอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ผู้ควบคุมจะเปลี่ยนโหมดการทำงานของรถหุ่นยนต์จากโหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติกไปเป็นโหมดอัตโนมัติ ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้ระบบวัดรังสีแกมมาที่ติดตั้งบนรถหุ่นยนต์ จะสามารถอ่านค่าความแรงรังสีได้สูงกว่าค่าความแรงรังสีพื้นหลังหรือเป็นตำแหน่งที่ครอบคลุมพื้นที่ที่จะทำการวัดรังสีให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในโหมดอัตโนมัตินี้รถหุ่นยนต์จะทำการสแกนวัดรังสีโดยรอบเพื่อหาทิศทางที่มีปริมาณรังสีสูงสุด หลังจากนั้นรถหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามทิศทางนั้น พร้อมทั้งวัดรังสีและตรวจจับสิ่งกีดขวาง รถหุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่เมื่อถึงจุดที่ปริมาณรังสีวัดได้สูงสุดหรือเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าภายในระยะที่กำหนดเอาไว้ แผนภาพการทำงานของจอยสติกและรถหุ่นยนต์ต้นแบบแสดงในรูปที่ 3-1 และ 3-2 ตามลำดับ



รูปที่ 3 - 1 แผนภาพการทำงานของจอยสติก



รูปที่ 3 - 2 แผนภาพการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

3.1.1.1 การออกแบบและพัฒนาโครงรถหุ่นยนต์

โครงสร้างหลักของรถหุ่นยนต์ในส่วนที่ต้องการความแข็งแรงจะทำขึ้นจากแผ่นอลูมิเนียมตัดขึ้นรูปและส่วนที่ไม่จำเป็นต้องแข็งแรงมากนักก็จะทำจากแผ่นอะคลิลิก และในส่วนที่ต้องการความแม่นยำจะใช้วิธีตัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC router

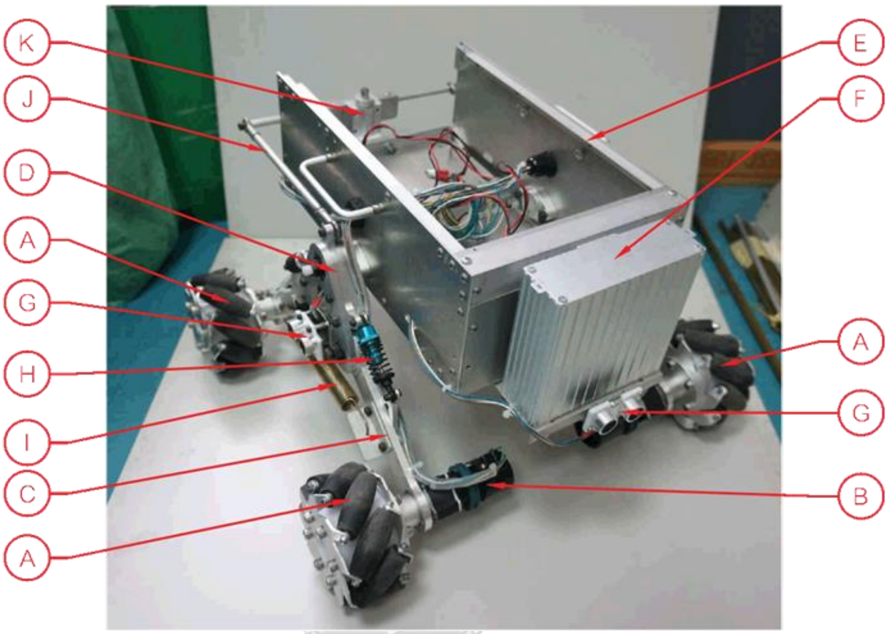
โครงสร้างหลักของรถหุ่นยนต์ประกอบด้วยตัวถังสำหรับบรรจุอุปกรณ์ระบบควบคุมต่างๆ ทำจากเฟรมอลูมิเนียมและแผ่นอลูมิเนียมเป็นวัสดุหลัก โดยขนาดตัวถังภายนอก กว้างxยาวxสูง ประมาณ 185x300x110 มิลลิเมตร มีส่วนแกนล้อทำจากอลูมิเนียมหนา 6 มิลลิเมตร ตัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC router ใช้สำหรับยึดล้อแบบแมคานุม และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 V เข้าด้วยกัน ล้อแบบแมคานุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อหลัก 10 เซนติเมตร ในแต่ละล้อหลักจะประกอบด้วยล้อเล็ก 9 ล้อ

ในแต่ล่ะด้านของตัวรถจะติดเข้ากับชุดล้อด้านละชุด ซึ่งแต่ละชุดล้อจะมีแกนล้อสองแกนด้านหน้าและด้านหลัง ทั้งสองแกนจะยึดเข้าด้วยกันด้วยแผ่นอลูมิเนียมสองแผ่นประกบกัน แผ่นอลูมิเนียมในส่วนนี้กัดขึ้นรูปด้วย CNC router ในการประกบกันของแผ่นอลูมิเนียมด้านในมีการใส่ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร เพื่อให้การหมุนของแกนล้อหมุนได้คล่องตัว มีการเสริมโช๊คอัพและสปริงรองรับแรงสั่นสะเทือนระหว่างส่วนแกนล้อและแผ่นอลูมิเนียม ในการออกแบบขั้นแรกได้ติดตั้งเฉพาะโช๊คอัพอย่างเดียว แต่เนื่องจากเมื่อลองใช้งานในเบื้องต้น ปรากฏว่าโช๊คอัพไม่สามารถรองรับการทำงานของรถหุ่นยนต์ได้ ดังนั้นจึงมีการเสริมสปริงรับแรงดึงเพื่อให้ในส่วนแกนล้อมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น เหตุผลในการเสริมโช๊คอัพและสปริงก็เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์ภายใน จากแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือนที่อาจจะเกิดขึ้นขณะรถหุ่นยนต์เคลื่อนที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวถังกับชุดล้อในแต่ละด้าน จะยึดเข้าด้วยเพลาซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดหมุน เพื่อให้ชุดล้อในแต่ละด้านสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระจากตัวถัง ส่วนชุดล้อจะแยกออกเป็นสองด้าน ด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งทั้งสองด้านจะต่อเนื่องถึงกันด้วยแท่งอลูมิเนียมผ่านจุดหมุนที่ติดอยู่ด้านหลังตัวถัง โครงสร้างลักษณะนี้เรียกว่า Rocker-Bogie ทำให้ตัวรถหุ่นยนต์มีคุณลักษณะในการเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีขึ้น นั่นคือทุกล้อจะสัมผัสกับพื้นตลอดเวลา ทำให้ทุกล้อสามารถส่งผ่านแรงไปที่พื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นแล้วเมื่อรถหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ขรุขระ เนื่องจากชุดล้อและตัวถังเป็นอิสระต่อกัน ทำให้ตัวถัง

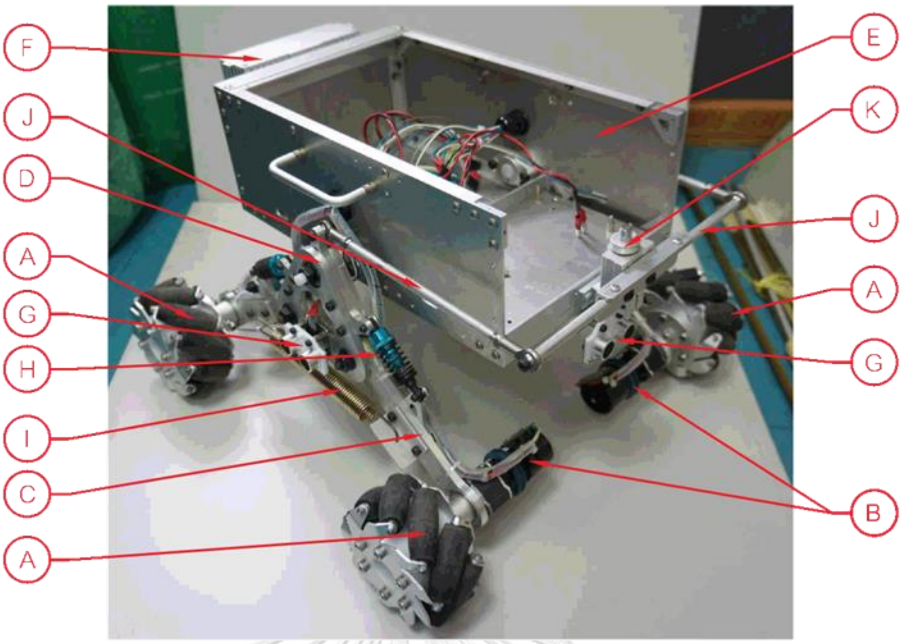
ค่อนข้างมีเสถียรภาพ ซึ่งช่วยป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ภายในที่ติดตั้งอยู่ในตัวถังได้อีกทางหนึ่ง ขนาดของรถหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งโครงทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วมีขนาด กว้างxยาวxสูง ประมาณ 390x400x260 มิลลิเมตร มุมมองจากด้านหน้าขวาแสดงในรูปที่ 3-3 และ มุมมองจากด้านหลังซ้ายแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3 - 3 มุมมองจากด้านหน้าขวา

A ล้อแบบแมคานุม, B มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, C แกนล้อ, D แผ่นประกบแกนล้อ, E ตัวถังรถหุ่นยนต์, F กล่องบรรจุระบบวัดรังสี, G โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก, H โช๊คอัพ, I สปริงรับแรงกระแทก, J แท่งอลูมิเนียมยึดชุดล้อทั้งสองด้าน, K จุดหมุนด้านหลังตัวถังรถหุ่นยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

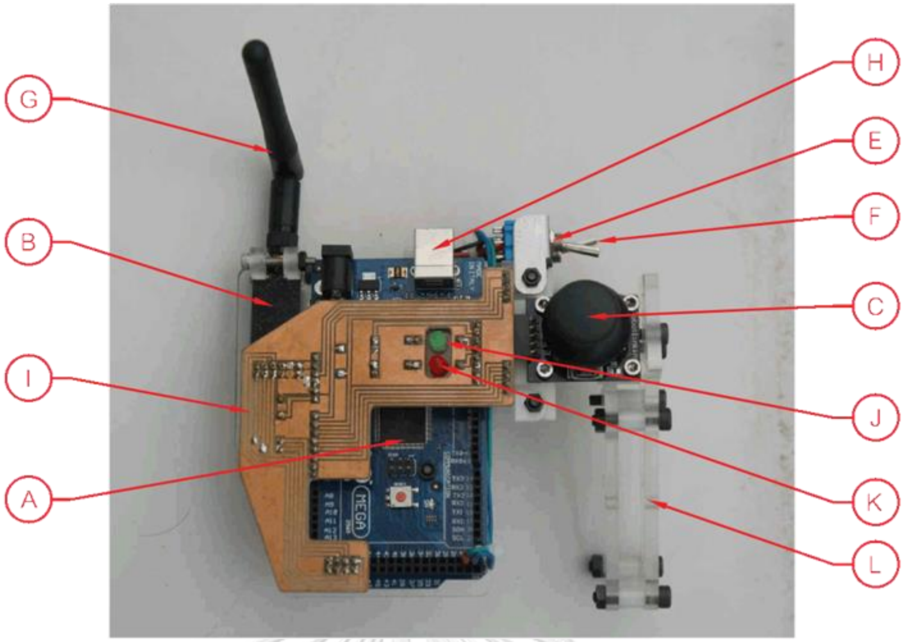


รูปที่ 3 - 4 มุมมองจากด้านหลังซ้าย

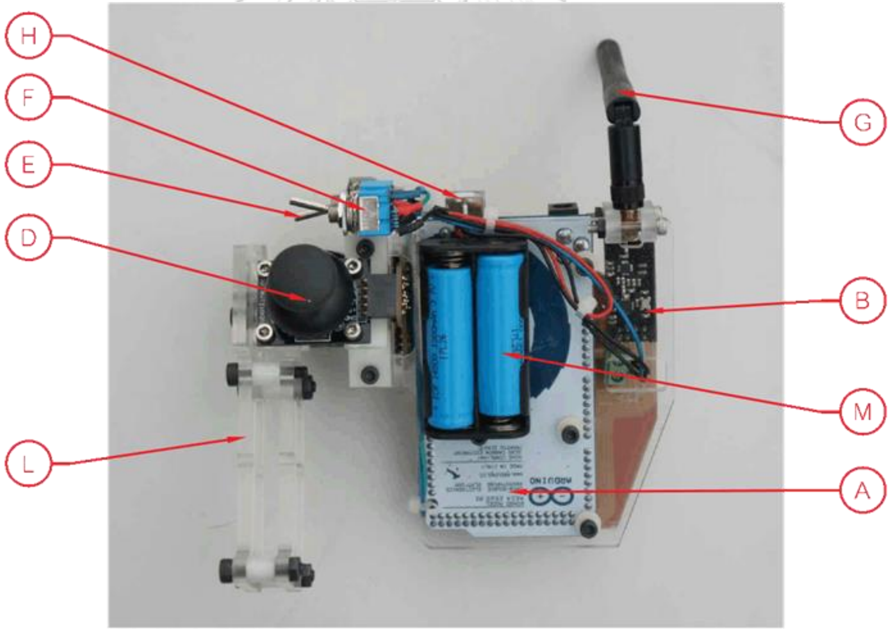
A ล้อแบบแมคานุม, B มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, C แกนล้อ, D แผ่นประกบแกนล้อ, E ตัวถังรถหุ่นยนต์, F กล่องบรรจุระบบวัดรังสี, G โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก, H โช๊คอัพ, I สปริงรับแรงกระแทก, J แท่งอลูมิเนียมยึดชุดล้อทั้งสองด้าน, K จุดหมุนด้านหลังตัวถังรถหุ่นยนต์

3.1.1.2 การออกแบบและพัฒนาส่วนจอยสติก

การออกแบบและพัฒนาส่วนจอยสติกเริ่มจากการวิเคราะห์การควบคุมปุ่มควบคุมให้สัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วในการหมุนของล้อแบบแมคานุมในแต่ละล้อ เนื่องจากรถหุ่นยนต์ที่ใช้ล้อแบบแมคานุมมีลักษณะการเคลื่อนที่แบบไถลบนพื้นราบ ดังนั้นจึงได้กำหนดให้การควบคุมปุ่มควบคุมสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์ โดยออกแบบให้มีปุ่มควบคุมแบบ 2 แกน จำนวน 2 ชุด โดยปุ่มควบคุมชุดแรกจะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจากแกน $X_{(1)}$ และแกน $Y_{(1)}$ สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แบบไถลบนพื้นราบของรถหุ่นยนต์ ชุดที่สองจะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจากแกน $X_{(2)}$ แกนเดียว สำหรับควบคุมการหมุนของรถหุ่นยนต์ รูปจอยสติกด้านบนและด้านล่าง แสดงในรูปที่ 3-5 และ 3-6 ตามลำดับ



รูปที่ 3 - 5 จอยสติกด้านบน



รูปที่ 3 - 6 จอยสติกด้านล่าง

A บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560, B โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz, C ปุ่มควบคุมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แบบไถล, D ปุ่มควบคุมสำหรับควบคุมการหมุน, E สวิตช์เปิด-ปิด, F สวิตช์เลือกโหมดการทำงาน, G สายอากาศ, H USB port, I แผ่นวงจรสำหรับต่อเชื่อม, J ไฟแสดงสถานะเปิด-ปิด, K ไฟแสดงโหมดการทำงาน, L มือจับ, M แบตเตอร์รี่

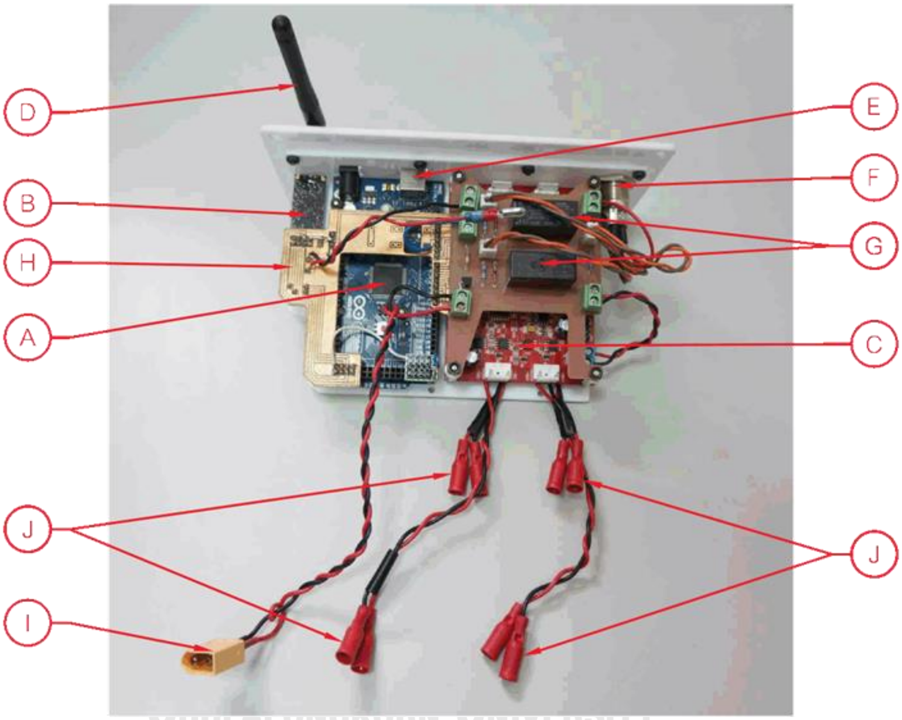
แหล่งจ่ายไฟฟ้าของจอยสติกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 8.4 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 1300 mAh ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง ในการทำงานของจอยสติกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณข้อมูลจากชุดโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz

ในการส่งสัญญาณจากจอยสติกไปยังรถหุ่นยนต์ [9] บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 จะอ่านสัญญาณดิจิตอลจากสวิตช์ 1 ชุด อ่านค่าสัญญาณอนาล็อกจากปุ่มควบคุมทั้ง 2 ชุด สัญญาณดิจิตอลจากสวิตช์จะเป็นสัญญาณกำหนดโหมดการทำงานของรถหุ่นยนต์ ค่าสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากปุ่มควบคุมชุดที่ 1 จะอ่านค่าอนาล็อกของแกน $X_{(1)}$ และแกน $Y_{(1)}$ หลังจากนั้นจะนำไปคำนวณแปลงเป็นค่ารัศมี (R) และค่ามุมองศา (Theta) ซึ่งวัดจากจุดศูนย์กลาง X_0,Y_0 ค่าสัญญาณอนาล็อกจากปุ่มควบคุมชุดที่ 1 นี้จะนำไปใช้คำนวณสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่แบบไถลบนพื้นราบของรถหุ่นยนต์ ค่าสัญญาณอนาล็อกจากปุ่มควบคุมชุดที่ 2 จะอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกของแกน $X_{(2)}$ แกนเดียว ค่าที่ได้จะนำไปคำนวณเปลี่ยนเป็นค่า PWM (Pulse Width Modulation) สำหรับหมุนตัวรถหุ่นยนต์ ชุดข้อมูลที่ส่งจากจอยสติกคือ โหมดการทำงาน ค่ารัศมี (R) ค่ามุมองศา (Theta) และค่า PWM (Pulse Width Modulation) ค่ารัศมีและมุมองศาใช้สำหรับการเคลื่อนที่แบบไถลส่วนค่า PWM ใช้สำหรับหมุนตัวรถหุ่นยนต์ ทั้ง 4 ค่าจะรวมเป็นข้อมูลชุดเดียวแล้วจึงส่งไปยังรถหุ่นยนต์ ผ่านทางโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz ในการส่งข้อมูลหลายๆ ชุด เมื่อข้อมูลมีปริมาณมากขึ้น ภาครับมีโอกาสที่ได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน เนื่องจากขณะที่ภาคส่งทำการส่งข้อมูล ณ ช่วงเวลาหนึ่ง มีความเป็นไปได้ที่ช่วงเวลานั้นภาครับกำลังทำการประมวลข้อมูลจากการส่งข้อมูลครั้งก่อนๆอยู่ ทำให้ข้อมูลขาดหายไป ทำให้การทำงานของรถหุ่นยนต์ผิดพลาด ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องรวมข้อมูลเป็นชุดเดียวกันแล้วจึงทำการส่งข้อมูล

3.1.1.3 การออกแบบและพัฒนาส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์

ส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์ประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ต่อพวงกับชุดโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 และบอร์ดควบคุมมอเตอร์ ทั้งหมดยึดเข้าด้วยกันด้วยแผงวงจร โดยมีส่วนประกอบย่อยเพิ่มเติมคือแผงวงจรรีเลย์สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดของอุปกรณ์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลจากชุดโมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz แล้วทำการประมวลผลและส่งสัญญาณดิจิตอลควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์และสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ไปยังบอร์ดควบคุมมอเตอร์ นอกจากนั้นแล้วยังรับข้อมูลจำนวนการนับรังสีจากระบบวัดรังสีแกมมาผ่านทาง Serial Port เพื่อนำมาใช้ประมวลผลสำหรับควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ ส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์ต้นแบบ แสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3 - 7 ส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์

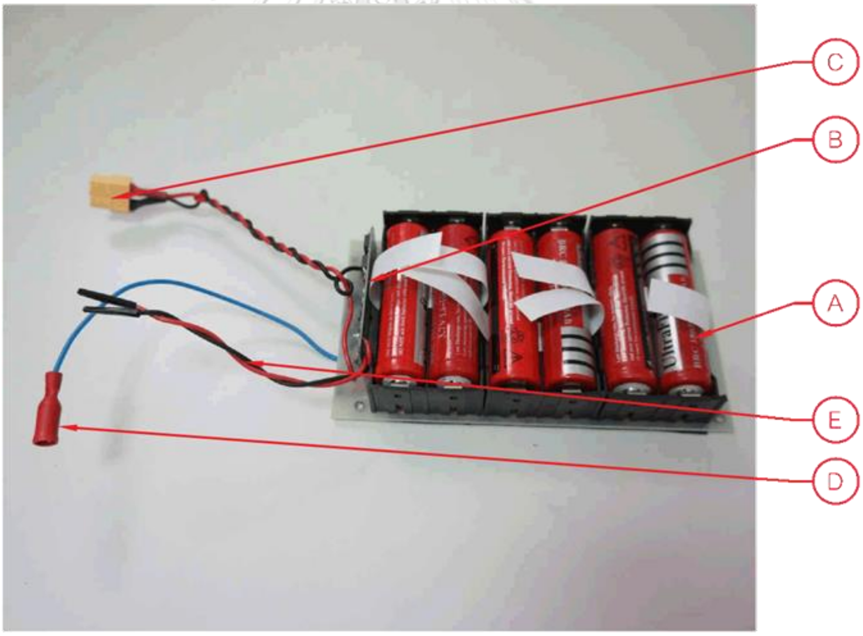
A บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560, B โมดูลรับส่งคลื่นวิทยุ Nordic Semiconductor nRF24l01 ย่านความถี่ 2.4 GHz, C บอร์ดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 4 ช่อง, D สายอากาศ, E USB port, F สวิตช์เปิด-ปิด, G รีเลย์สำหรับเปิด-ปิด, H แผ่นวงจรสำหรับเชื่อมต่อ, I คอนเนคเตอร์สำหรับต่อกับแบตเตอร์รี่, J คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์

3.1.1.4 การออกแบบและพัฒนาส่วนตรวจจับสิ่งกีดขวางเพื่อติดตั้งเข้ากับรถหุ่นยนต์

การตรวจจับสิ่งกีดขวางใช้โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 ติดตั้ง 4 จุดรอบรถหุ่นยนต์ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดระยะทางและทดสอบหามุมประสิทธิพล (Effective angle) ของระบบการตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบต่อไป

3.1.1.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถหุ่นยนต์ต้นแบบ ใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 12.6 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 13.6 Ah แหล่งจ่ายไฟฟ้าประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 4.2 V ต่อแบบขนาน 2 ชุด และต่ออนุกรม 3 ชุด สามารถจ่ายไฟฟ้าแรงดันขนาด 4.2, 8.4, 12.6 V ติดตั้งพร้อมโมดูลสำหรับชาร์จไฟแบตเตอรี่สำเร็จรูป แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถหุ่นยนต์ต้นแบบ แสดงในรูปที่ 3-8

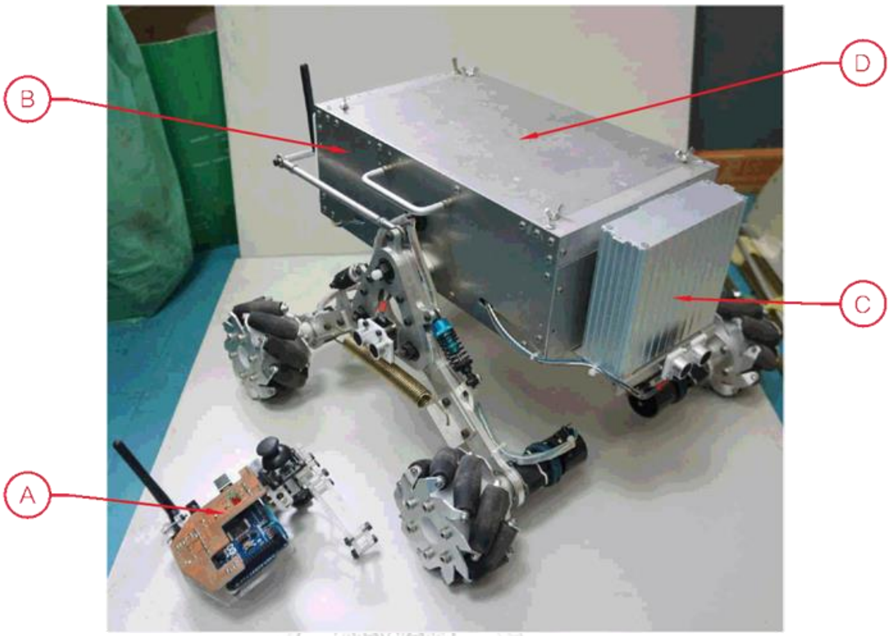


รูปที่ 3 - 8 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

A แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 6 ก้อน, B แผงวงจรสำหรับชาร์จไฟ, C คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายไฟให้ส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์, D คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายไฟให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560, E สายสำหรับต่อชาร์จไฟ

3.1.1.6 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ

รถหุ่นยนต์ต้นแบบเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อย พร้อมสำหรับนำไปติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาสำหรับนำไปใช้ตรวจวัดรังสีและระบุต้นกำเนิดรังสีแกมมา แสดงในรูปที่ 3-9



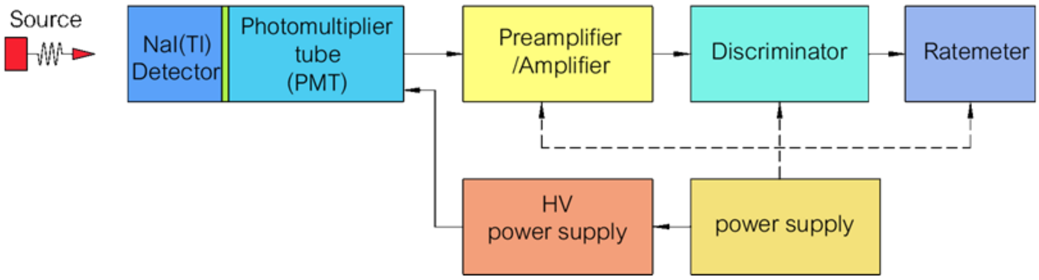
รูปที่ 3 - 9 รถหุ่นยนต์ต้นแบบก่อนนำไปติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมา

A จอยสติก, B รถหุ่นยนต์ต้นแบบ, C กล่องบรรจุระบบวัดรังสี, D พื้นที่สำหรับติดตั้งหัววัดรังสีแกมมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1.2 การออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีแกมมา

ระบบวัดรังสีแกมมาที่จะทำการพัฒนา ประกอบด้วยวงจรต่างๆ ในส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี (Signal processing) และส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี ได้แก่ วงจรขยายส่วนหน้า วงจรขยายสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ เรตมิเตอร์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ส่วนหัววัดรังสีแกมมาที่ใช้เป็นหัววัดเรืองรังสี (Scintillation Detector) ชนิดโซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม NaI(Tl) เพื่อให้มีความไว (Sensitivity) ในการตรวจวัดรังสีแกมมา แผนภาพระบบวัดรังสีแกมมาแสดงในรูปที่ 3-10



รูปที่ 3 - 10 แผนภาพระบบวัดรังสีแกมมา

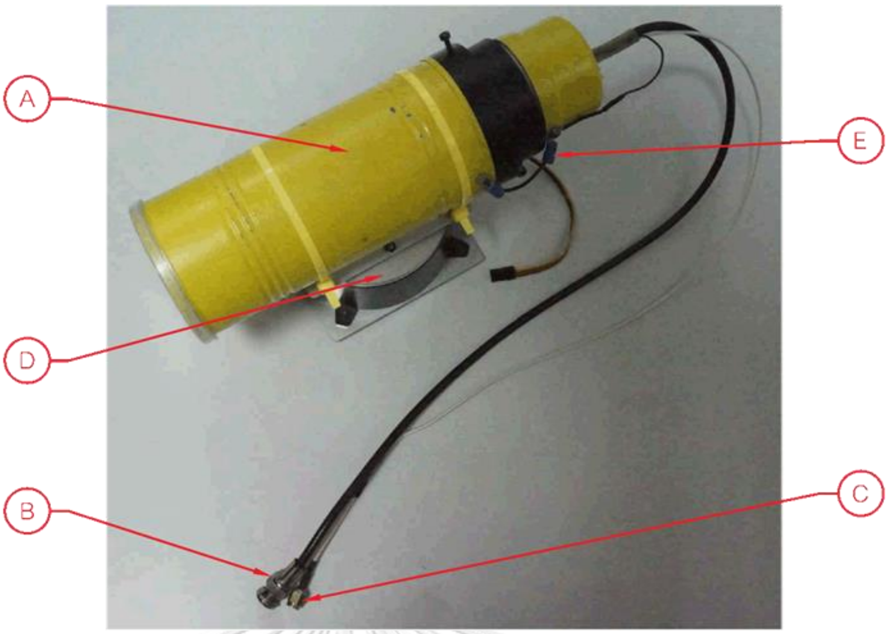
3.1.2.1 หัววัดรังสีแกมมา

หัววัดรังสีแกมมาใช้หัววัดชนิดเรืองรังสี (Scintillation Detector) โซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม NaI(Tl) การนำหัววัดรังสีไปใช้ในการหาทิศทางความแรงรังสีจำเป็นต้องมีคอลลิเมเตอร์ (Collimator) เพื่อบังคับให้รังสีที่จะทำการตรวจวัดเข้ามาถึงหัววัดรังสีได้เฉพาะด้านหน้าของหัววัดเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตะกั่วทำเป็นคอลลิเมเตอร์ โดยทั่วไปขนาดของหัววัดรังสีที่ใหญ่จะมีประสิทธิภาพที่ดีและความไวสูงต่อการวัดรังสี แต่จำเป็นต้องใช้คอลลิเมเตอร์ที่มีขนาดที่ใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้นด้วย ในการเลือกขนาดหัววัดที่จะนำมาใช้งานได้คำนึงถึงประสิทธิภาพในการวัดรังสีและน้ำหนักให้เหมาะสมกับโครงสร้างของรถหุ่นยนต์ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลตามตารางที่ 3-1 จึงได้เลือกใช้หัววัดรังสีขนาด 2 นิ้วที่มีคอลลิเมเตอร์ทำด้วยตะกั่วหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร 2 ชั้น หัววัดรังสีทำการไบอัสด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง 900 V หัววัดรังสีที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว แสดงในรูปที่ 3-11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 - 1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของหัววัดรังสีแกมมาขนาดต่างๆ

ขนาดของหัววัดรังสีแกมมา	ประสิทธิภาพ			น้ำหนักของคอลลิเมเตอร์		
	ดีมาก	ดี	พอใช้	ดีมาก	ดี	ใช้ไม่ได้
1 นิ้ว			O	O		
2 นิ้ว		O			O	
3 นิ้ว	O					O

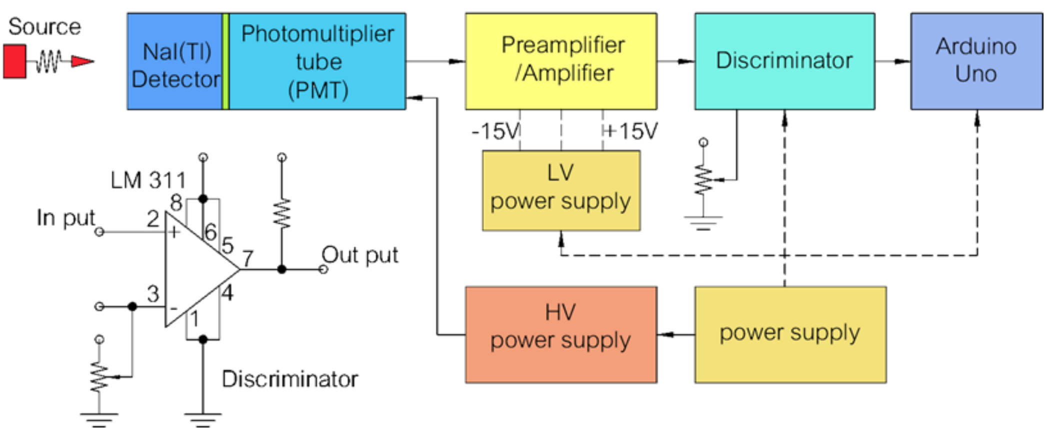


รูปที่ 3 - 11 หัววัดรังสีแกมมา

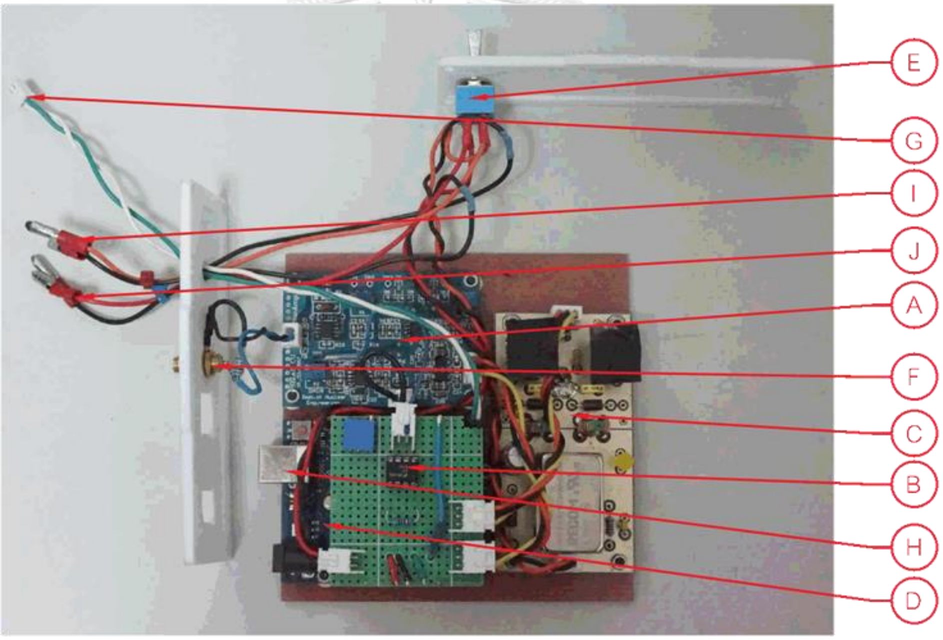
A หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์เจือด้วยทัลเลียม ขนาด 2” บรรจุภายในพร้อมชิลด์ตะกั่วหนา 3 มม., B คอนเนคเตอร์สำหรับต่อไฟฟ้าแรงดันสูง, C คอนเนคเตอร์สายสัญญาณการวัดรังสี, D ฐานสำหรับยึดหัววัดรังสี, E สายดิน

3.1.2.2 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี (Signal processing)

ในส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี ใช้บอร์ด NELab CU ที่วงจรภายในประกอบด้วยส่วน Preamp และส่วน Amp โดยได้ทำการออกแบบและพัฒนาในส่วนของวงจร Discriminator เพิ่มเติมโดยใช้ Operational Amplifier เบอร์ LM311 ทำหน้าที่เป็น Discriminator เมื่อสัญญาณถูกคัดเลือกด้วย Discriminator แล้ว สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นเรตมิเตอร์ต่อไป ในการจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีในส่วนของบอร์ด NELab CU ได้มีการปรับรูปสัญญาณโดยมีการปรับ Pole Zero และปรับ Base Line ก่อนที่จะมีการคัดเลือกสัญญาณในวงจร Discriminator ซึ่งทำหน้าตัดสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณรบกวนออกไป แผนภาพส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี แสดงในรูปที่ 3-12 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี แสดงในรูปที่ 3-13 และ 3-14

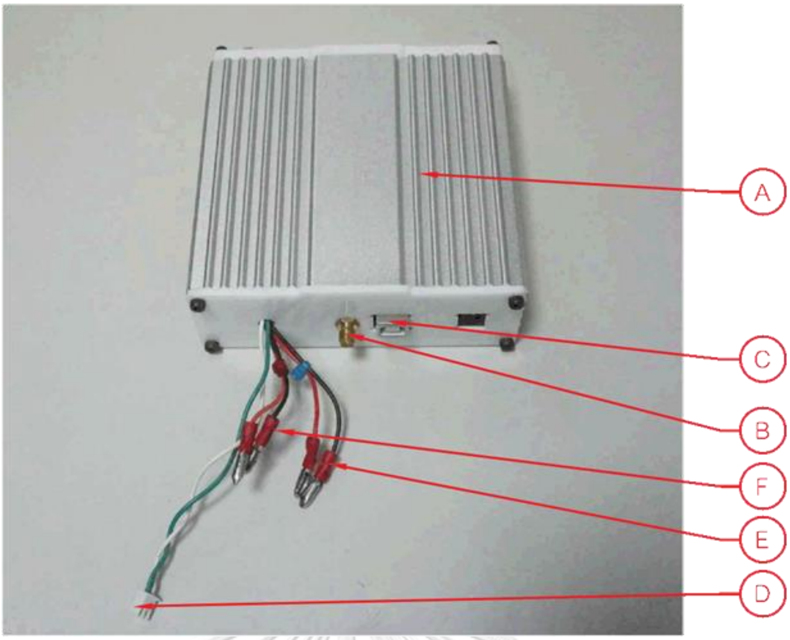


รูปที่ 3 - 12 แผนภาพส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี



รูปที่ 3 - 13 ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี

A วงจรจัดการสัญญาณทางรังสี NElab CU, B Discriminator, C วงจรจ่ายไฟฟ้า บวก-ลบ ให้กับวงจรจัดการทางรังสี, D บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3, E สวิตช์เปิด-ปิด, F คอนเนคเตอร์สำหรับรับสายสัญญาณการวัดรังสีจากหัววัดรังสี, G คอนเนคเตอร์สำหรับส่งข้อมูลการวัดรังสีไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560, H USB port, I คอนเนคเตอร์สำหรับรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับวงจรสำหรับจ่ายไฟฟ้า บวก-ลบ, J คอนเนคเตอร์สำหรับรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3



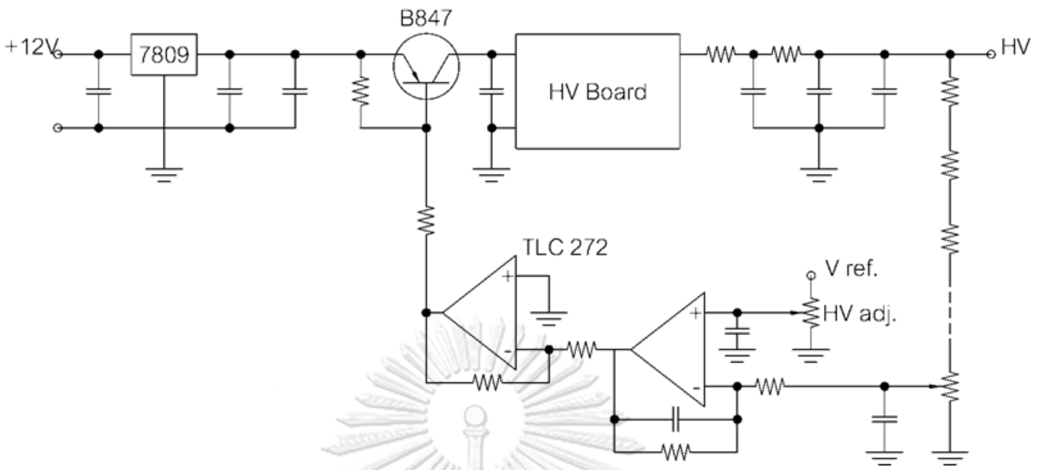
รูปที่ 3 - 14 กล่องบรรจุส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี

A กล่องอลูมิเนียม, B คอนเนคเตอร์สำหรับรับสายสัญญาณการวัดรังสีจากหัววัดรังสี, C USB port, D คอนเนคเตอร์สำหรับส่งข้อมูลการวัดรังสีไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560, E คอนเนคเตอร์สำหรับรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับวงจรสำหรับจ่ายไฟฟ้า บวก-ลบ, H คอนเนคเตอร์สำหรับรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

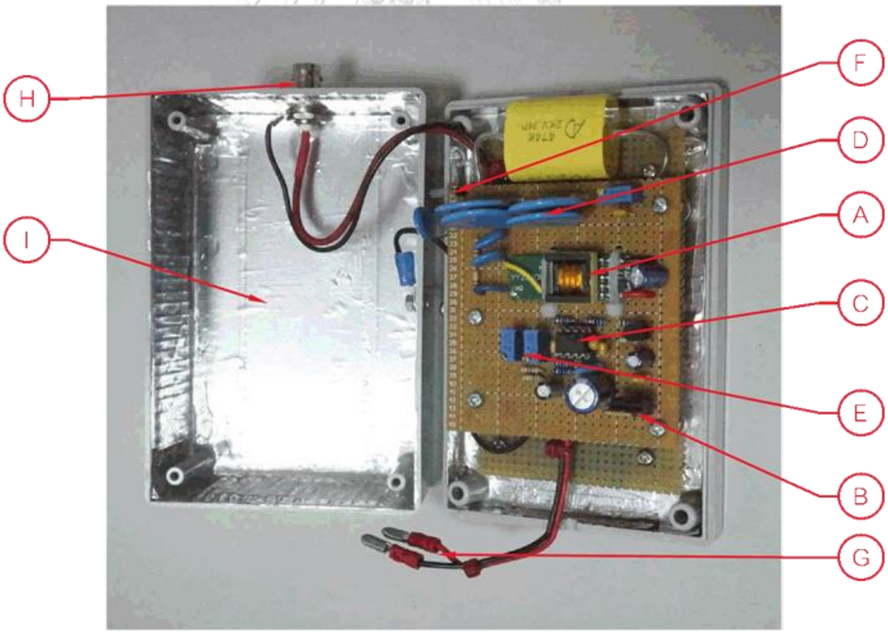
3.1.2.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ทำหน้าที่ไบอัสไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับหัววัดรังสีแกมมา ใช้โมดูลแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงสำเร็จรูป โดยเพิ่มเติมส่วนของวงจรฟีดแบค (Feedback) สำหรับควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ โมดูลแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงสำเร็จรูปทำงานด้วย IC 555 แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับผ่านหม้อแปลงอัตราส่วนประมาณ 40 เท่า หลังจากนั้นจึงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้วย Voltage Multiplier อีก 6 เท่า เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 8 V จะได้ไฟฟ้าแรงดันสูงประมาณ 2 kV ส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าใช้ทรานซิสเตอร์ PNP เบอร์ B847 ต่อเข้ากับส่วนวงจรฟีดแบคที่ใช้ IC Operational Amplifier เบอร์ TLC272 ทำหน้าที่เป็นวงจร buffer และวงจรเทียบแรงดันไฟฟ้าขาออกของโมดูลแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงโดยต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลงให้เหลือประมาณ 5 V ในส่วนวงจร buffer มีการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

แผนภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง แสดงในรูปที่ 3-15 และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง แสดงในรูปที่ 3-16



รูปที่ 3 - 15 แผนภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

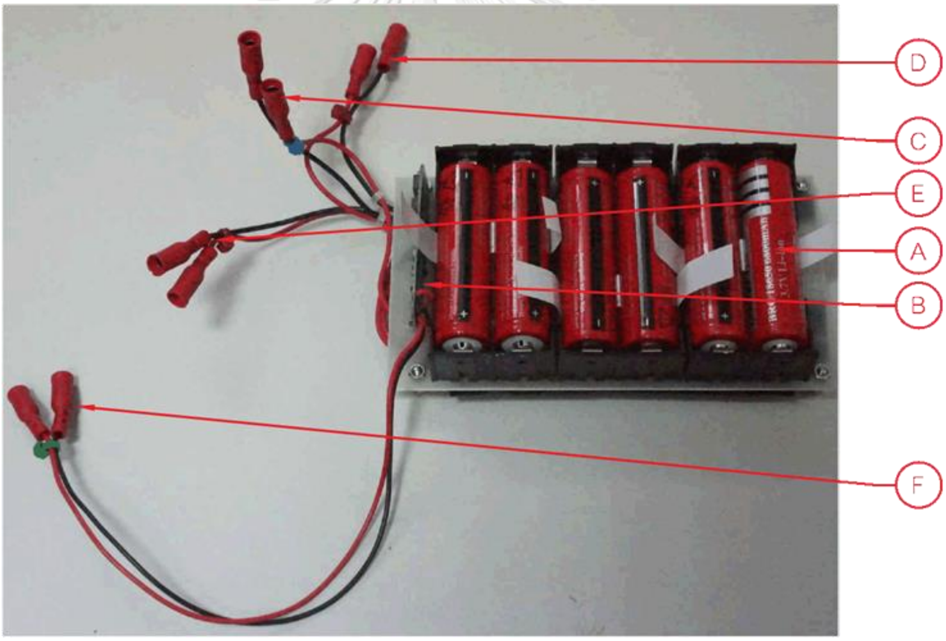


รูปที่ 3 - 16 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

A โมดูลแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงสำเร็จรูป, B PNP ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้า, C วงจรฟีดแบค, D ชุดตัวต้านทานแบ่งแรงดันสำหรับต่อเข้ากับส่วนฟีดแบค, E ตัวต้านทานปรับค่าได้สำหรับปรับแรงดันไฟฟ้า, F ตำแหน่งสำหรับทดสอบสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูง, G คอนเนคเตอร์สำหรับรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่, H คอนเนคเตอร์เอาพุทไฟฟ้าแรงดันสูง, I กล่องบรรจุชิลด์ด้วยฟอยล์อลูมิเนียมเพื่อลดสัญญาณรบกวน

3.1.2.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา ใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 12.6 V และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 13.6 Ah แหล่งจ่ายไฟฟ้าประกอบด้วยแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแรงดันไฟฟ้า 4.2 V ต่อแบบขนาน 2 ชุด และต่ออนุกรม 3 ชุด สามารถจ่ายไฟฟ้าแรงดันขนาด 4.2, 8.4, 12.6 V ติดตั้งพร้อมโมดูลสำหรับชาร์จไฟแบตเตอรี่สำเร็จรูป แหล่งจ่ายไฟฟ้าแยกการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้า 12.6 V จ่ายไฟฟ้าให้กับชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและโมดูลจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสำหรับส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี สำหรับแรงดันไฟฟ้า 8.4 V จะจ่ายไฟฟ้าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา แสดงในรูปที่ 3-17



รูปที่ 3 - 17 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา

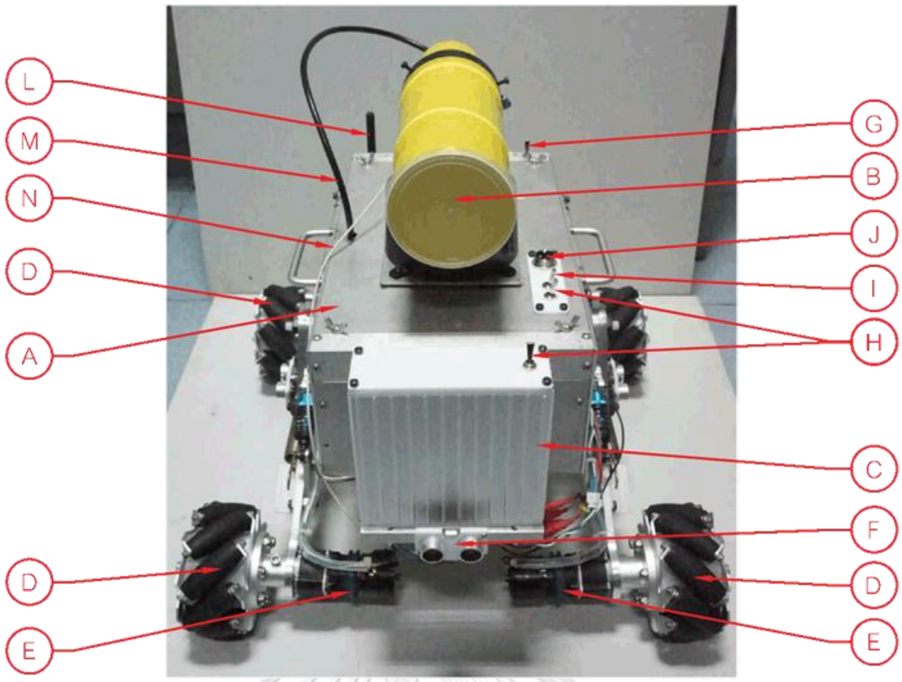
A แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 6 ก้อน, B แผงวงจรสำหรับชาร์จไฟ, C คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายไฟให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3, D คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายไฟให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, E คอนเนคเตอร์สำหรับจ่ายไฟให้ส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี, F สายสำหรับต่อชาร์จไฟ

3.1.2.5 ส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี

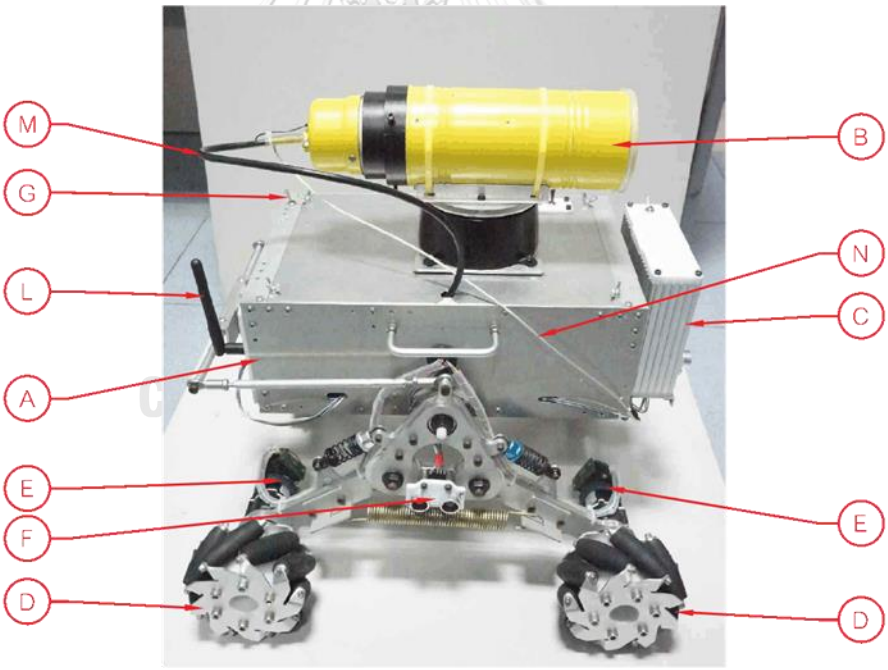
ส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ทำหน้าที่เป็นเรตมิเตอร์ โดยรับสัญญาณจำนวนรังสีจากส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี นำมาประมวลเป็นค่าจำนวนนับรังสีต่อหน่วยเวลา (counts per second) ในการทำงานเป็นเรตมิเตอร์ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 จะรับสัญญาณทางการวัดรังสีทางขาอินพุต D5 ซึ่งจะทำการนับสัญญาณขาขึ้น สำหรับการกำหนดช่วงเวลาในการนับสัญญาณ จะกำหนดโดยการใช้สัญญาณนาฬิกาของตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เองเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ Interrupt บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ใช้สัญญาณนาฬิกาขนาด 16 MHz เมื่อแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 128 และ 125 ตามลำดับ ทำให้ช่วงเวลาที่ใช้ในการนับสัญญาณคือ 1000 Hz หรือ 1 ms เมื่อนำค่าจำนวนนับที่ได้เทียบกับช่วงเวลาสัญญาณ Interrupt ทำให้ได้ค่าจำนวนนับรังสีต่อเวลา หลังจากนั้นค่าจำนวนนับรังสีต่อเวลาที่ได้จะส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 บนรถหุ่นยนต์ผ่านทาง Serial Port ค่าจำนวนนับที่ได้นี้เป็นค่าจำนวนเต็ม แต่เนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านทาง Serial Port มีข้อจำกัดในด้านการส่งข้อมูล ไม่สามารถส่งเป็นจำนวนเต็มได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงค่าจำนวนเต็มนั้นให้เป็นค่าอักขระก่อนทำการส่งผ่านทาง Serial Port ต่อไป หลังจากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 ที่ติดตั้งบนรถหุ่นยนต์จึงจะทำการแปลงค่าอักขระนั้นกลับไปเป็นจำนวนเต็มดังเดิม ซึ่งค่าจำนวนนับรังสีต่อเวลานี้จะใช้เป็นข้อมูลสำหรับการควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต่อไป สำหรับส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสีนี้ ได้ทำการติดตั้งร่วมกันกับส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสีให้เป็นอุปกรณ์ชุดเดียวกัน

3.1.3 รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์พร้อมสำหรับนำไปโปรแกรมสำหรับใช้งาน แสดงดังในรูปที่ 3-18, 3-19, 3-20 และ 3-21

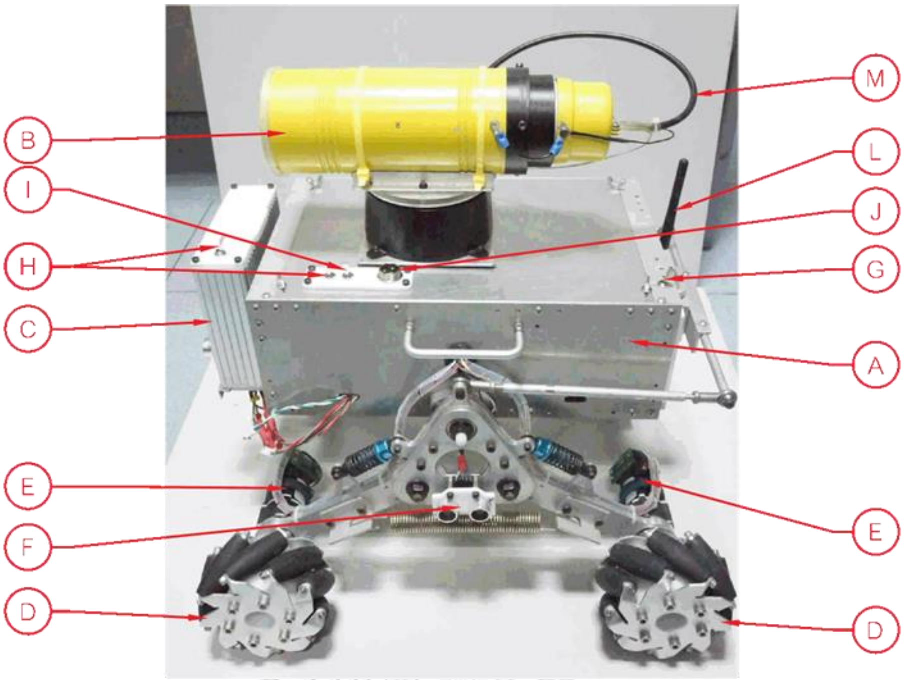


รูปที่ 3 - 18 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านหน้า

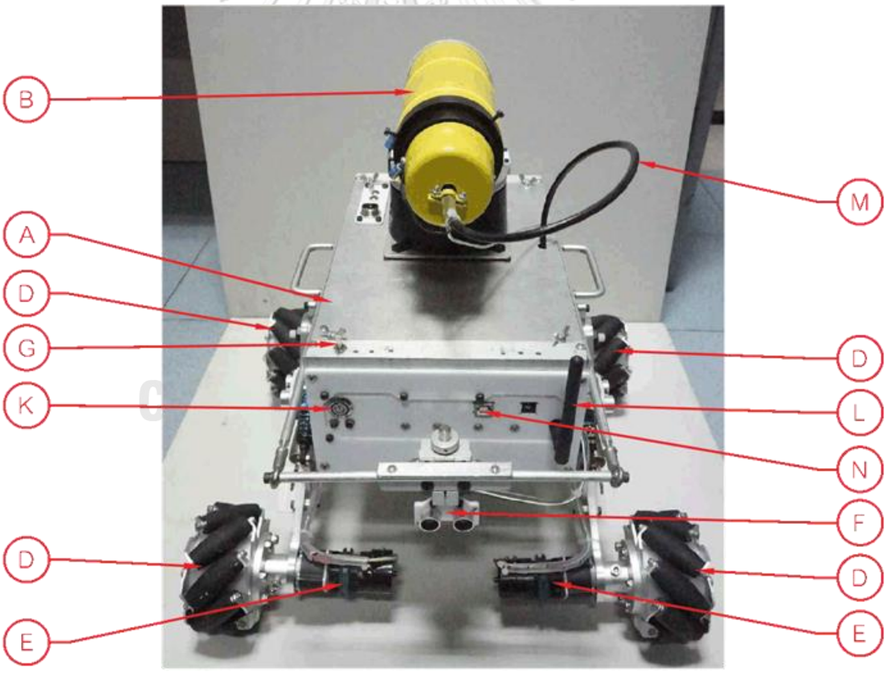


รูปที่ 3 - 19 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านขวา

A รถหุ่นยนต์ต้นแบบ, B หัววัดรังสีแกมมา, C กล่องบรรจุระบบวัดรังสี, D ล้อแบบแมคานุม, E มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, F โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก, G สวิตช์เปิด-ปิด ระบบควบคุมรถหุ่นยนต์, H สวิตช์เปิด-ปิด ระบบวัดรังสี, I สวิตช์เปิดปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, J คอนเนคเตอร์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่, K สวิตช์เปิด-ปิด ระบบขับเคลื่อนรถหุ่นยนต์, L สายอากาศ, M สายไฟฟ้าแรงดันสูง, N สายสัญญาณระบบวัดรังสี



รูปที่ 3 - 20 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านซ้าย



รูปที่ 3 - 21 รถหุ่นยนต์ต้นแบบ มุมมองจากด้านหลัง

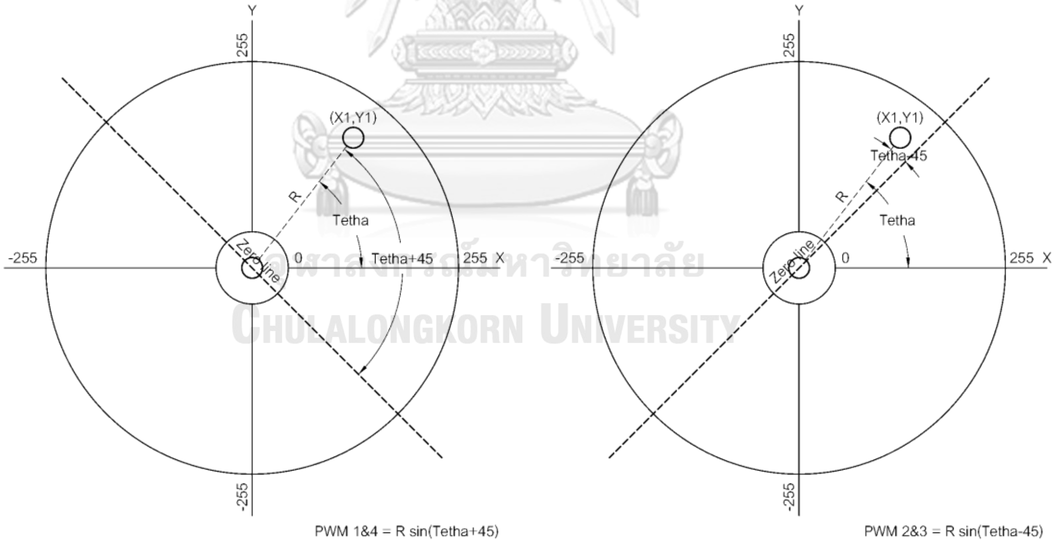
A รถหุ่นยนต์ต้นแบบ, B หัววัดรังสีแกมมา, C กล่องบรรจุระบบวัดรังสี, D ล้อแบบแมคานุม, E มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, F โมดูลวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก, G สวิตช์เปิด-ปิด ระบบควบคุมรถหุ่นยนต์, H สวิตช์เปิด-ปิดระบบวัดรังสี, I สวิตช์เปิดปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, J คอนเนคเตอร์สำหรับชาร์จแบตเตอรี่, K สวิตช์เปิด-ปิดระบบขับเคลื่อนรถหุ่นยนต์, L สายอากาศ, M สายไฟฟ้าแรงดันสูง, N สายสัญญาณระบบวัดรังสี

3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

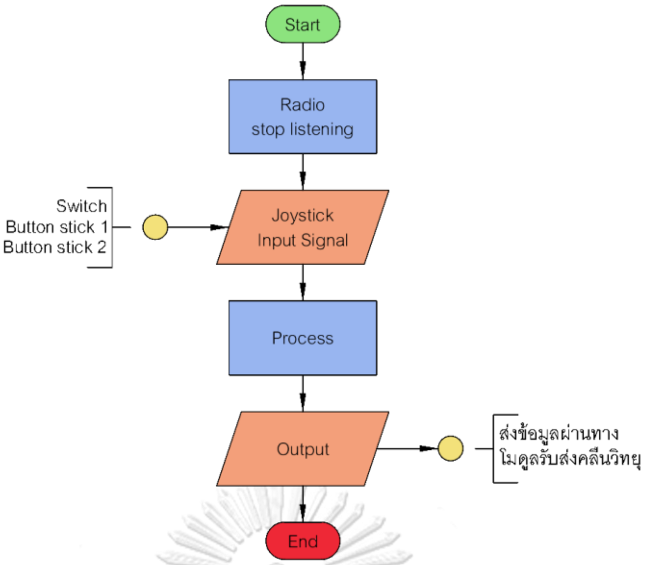
3.2.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของจอยสติก

การทำงานของจอยสติกเริ่มจาก ให้ระบบการสื่อสารไร้สายอยู่ในสถานะพร้อมส่งข้อมูล หลังจากนั้นโปรแกรมจะเก็บข้อมูลที่ได้จากสวิตช์และปุ่มควบคุมทั้งสองชุด แล้วนำไปประมวลผล ทำการบันทึกข้อมูลแล้วจึงส่งข้อมูลออกไปยังรถหุ่นยนต์ต้นแบบ ข้อมูลที่ส่งออกไปคือ โหมดการทำงาน ค่ารัศมี (R) ค่ามุมองศา (Theta) และค่า PWM

ในการคำนวณหาค่ารัศมีและค่ามุมองศา นั้น ใช้วิธีการอ่านสัญญาณอนาล็อกจากปุ่มควบคุมทั้ง 2 แกน ก่อนนำมาแปลงเป็นค่าดิจิตอลให้อยู่ในช่วง -255 ถึง 255 หลังจากนั้นจะแปลงค่าดิจิตอลทั้ง 2 แกนให้ออกมาอยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) แล้วจึงคำนวณหาค่ารัศมีและค่ามุมองศาต่อไปพิกัดคาร์ทีเซียนของดิจิตอลนัมเบอร์ของปุ่มควบคุม แสดงในรูปที่ 3-22 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของจอยสติก แสดงในรูปที่ 3-23



รูปที่ 3 - 22 พิกัดคาร์ทีเซียนของดิจิตอลนัมเบอร์ของปุ่มควบคุม



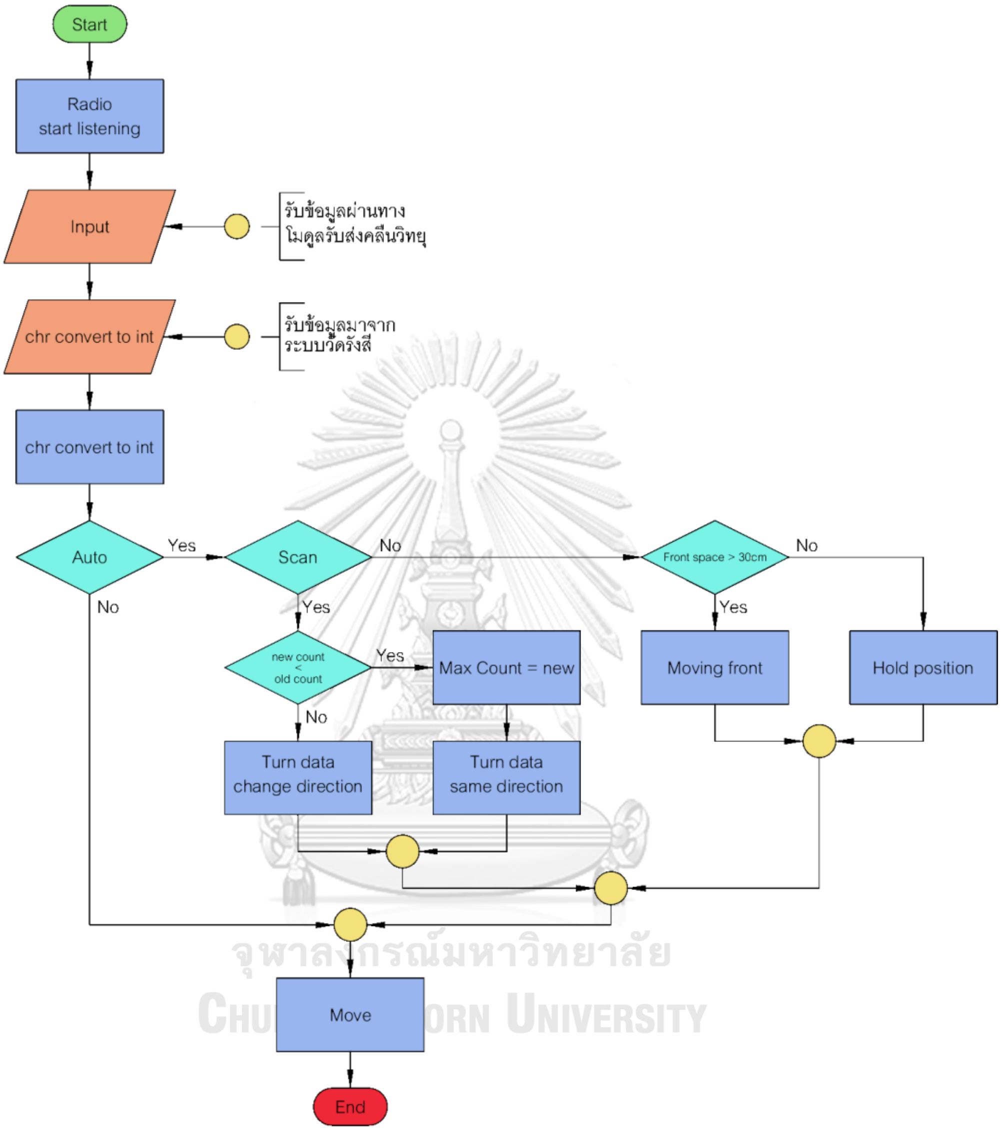
รูปที่ 3 - 23 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของจอยสติก

3.2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

โปรแกรมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบเริ่มจาก ให้ระบบการสื่อสารไร้สายอยู่ในสถานะพร้อมรับข้อมูล โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลจากจอยสติกและจากระบบวัดรังสีแกมมาแล้วทำการเก็บข้อมูลเอาไว้ ในส่วนข้อมูลที่รับมาจากจอยสติกคือ โหมดการทำงาน ค่ารัศมี (R) ค่ามุมองศา (Theta) และค่า PWM ค่ารัศมีและมุมองศาใช้สำหรับการเคลื่อนที่แบบไถลส่วนค่า PWM ใช้สำหรับหมุนตัวรถหุ่นยนต์

จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบโหมดการทำงานที่ถูกกำหนดไว้ ถ้าเป็นโหมดควบคุมด้วยคนโปรแกรมจะทำการประมวลผลของค่ารัศมี ค่ามุมองศาและค่า PWM ก่อนจะส่งสัญญาณข้อมูลไปยังบอร์ดควบคุมมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนรถหุ่นยนต์ต่อไป ถ้าเป็นโหมดควบคุมอัตโนมัติ โปรแกรมจะทำการเปลี่ยนเทียบค่าความแรงรังสีที่ได้จากระบบวัดรังสี โดยเปรียบเทียบกับค่าความแรงรังสีที่วัดได้ก่อนหน้านี้ ถ้าความแรงรังสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โปรแกรมจะกำหนดให้รถหุ่นยนต์หมุนตัวตามทิศทางเดิมก่อนหน้านี้ แต่ถ้าความแรงรังสีมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะกำหนดให้รถหุ่นยนต์หมุนกลับทิศทางจากเดิมก่อนหน้านี้ เมื่อรถหุ่นยนต์ประมวลแล้วว่าทิศทางนี้เป็นทิศทางที่มีแนวโน้มของความแรงรังสีสูงสุดและมีที่ว่างด้านหน้าของรถหุ่นยนต์ รถหุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าประมาณ 5-10 เซนติเมตร หลังจากนั้นรถหุ่นยนต์จะเริ่มขั้นตอนใหม่ทั้งหมด รถหุ่นยนต์จะหยุดเมื่อสามารถตรวจหาทิศทางที่มีความแรงรังสีสูงสุดและด้านหน้ารถหุ่นยนต์มีที่ว่างห่างจากสิ่งกีด

ขวางน้อยกว่า 30 เซนติเมตร โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของรถหุ่นยนต์ต้นแบบแสดงในรูปที่ 3-24



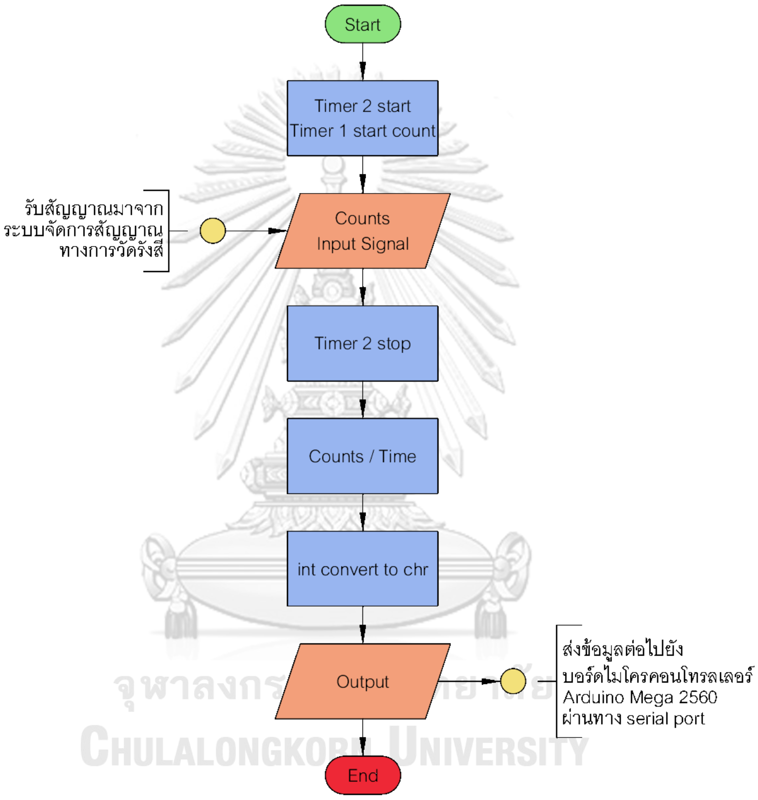
รูปที่ 3 - 24 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

3.2.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมา

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมา ทำหน้าที่เป็นเรตมิเตอร์ เริ่มจากเริ่มต้นสัญญาณนาฬิกา โดยแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทำหน้าที่เป็น Interrupt ให้กับการนับจำนวนรังสีตามช่วงเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ใช้สัญญาณนาฬิกา

ขนาด 16 MHz เมื่อแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 128 และ 125 ตามลำดับ ทำให้ช่วงเวลาที่ใช้ในการนับสัญญาณคือ 1000 Hz หรือ 1 ms

เมื่อเริ่มต้นสัญญาณนาฬิกา ขาอินพุตจะเริ่มนับจำนวนสัญญาณที่เข้ามา โดยทริกสัญญาณขาขึ้น เมื่อครบ 1 ms แล้วสัญญาณ interrupt จะหยุดการนับรังสี เมื่อนำจำนวนสัญญาณที่ได้หารด้วยช่วงเวลาก็จะได้จำนวนนับรังสีต่อเวลา ซึ่งก็คือ counts per second, cps โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของเรตมิเตอร์ แสดงในรูปที่ 3-25



รูปที่ 3 - 25 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของเรตมิเตอร์

บทที่ 4

วิธีดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย

4.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1.1 การทดสอบโครงรถหุ่นยนต์

ทดสอบการทำงานและความแข็งแรงของโครงสร้างของรถหุ่นยนต์ ทดสอบระบบโช๊คอัพที่ได้ติดตั้งเอาไว้ เพื่อช่วงลดแรงกระแทกและแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับตัวรถ รวมถึงโครงรถแบบ Rocker-Bogie ที่ได้นำมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบโครงรถด้วย

4.1.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุม

ทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุม ทดสอบการควบคุมและการทำงานทั้งในการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า การเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเฉียงและการหมุนของตัวรถหุ่นยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3 การทดสอบระบบพื้นฐาน

4.1.3.1 ทดสอบการทำงานร่วมระหว่างจอยสติกกับรถหุ่นยนต์ เป็นการทดสอบการควบคุมรถหุ่นยนต์ด้วยจอยสติก เพื่อดูการตอบสนองต่อการควบคุมจากจอยสติก

4.1.3.2 การทดสอบการควบคุมระยะไกล เป็นการทดสอบเพื่อหาระยะทางไกลที่สุดที่สามารถควบคุมรถหุ่นยนต์ได้ ทดสอบโดยการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์ที่ระยะต่างๆ แล้วดูการตอบสนองต่อการควบคุมจากจอยสติก

4.1.4 การทดสอบโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05

ทดสอบความแม่นยำและมุมประสิทธิผล (Effective Angle) ของโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพื่อนำผลที่ได้ไปประเมินร่วมในการกำหนดรูปแบบการทำงานของโปรแกรมของรถหุ่นยนต์ต่อไป

4.1.4.1 การทดสอบความแม่นยำในแนวตั้งฉากกับผนัง โดยการวางให้ในแต่ละด้านของรถหุ่นยนต์อยู่ห่างจากผนังตามระยะต่างๆ จากนั้นจึงอ่านค่าระยะทางห่างจากผนังที่โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 อ่านได้

4.1.4.2 การทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective angle) โดยการวางให้ด้านหน้าของรถหุ่นยนต์ให้อยู่ห่างจากผนัง 20 เซนติเมตร โดยหมุนรถหุ่นยนต์ให้ทำมุมต่างๆ กับผนัง จากนั้นจึงอ่านค่าระยะทางห่างจากผนังที่โมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 อ่านได้

4.1.5 การทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา

4.1.5.1 การทดสอบหัววัดรังสีแกมมา ทดสอบโดยการต่อไฟฟ้าแรงดันสูงจาก HV NIM module เพื่อไบอัสให้กับหัววัดรังสีแกมมา ขนาด 2 นิ้ว ทำการวัดสัญญาณจากสายต่อสัญญาณหัววัดรังสีแกมมาเพื่อดูว่ามีสัญญาณรบกวนและมีสัญญาณที่เกิดจากการวัดรังสีหรือไม่โดยใช้ Oscilloscope ซึ่งทดสอบได้โดยการวางแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ไว้ตำแหน่งต่างๆ แล้วดูผลลัพธ์ของสัญญาณจาก Oscilloscope ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบดูว่าหัววัดรังสีสามารถทำงานได้ตามปรกติหรือไม่

4.1.5.2 การทดสอบส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี ทดสอบโดยการต่อหัววัดรังสีแกมมา ขนาด 2 นิ้ว ที่ต่อไบอัสไฟฟ้าแรงดันสูงจาก HV NIM module โดยนำสายสัญญาณที่ออกจากหัววัดรังสีต่อเข้ากับส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี ทำการวัดรูปแบบสัญญาณที่ออกจากส่วน Preamp และส่วน Amp ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการปรับ Pole Zero ปรับ Base Line และปรับ Gain ให้เหมาะสมแล้วจึงนำสัญญาณที่ได้ไปต่อเข้ากับ Discriminator ต่อไป ในการปรับค่า Voltage Reference ใน Discriminator ก็เพื่อตัดค่าการนับที่เกิดจากสัญญาณรบกวน ให้ค่าการนับที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนนี้เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี เนื่องจากเมื่อติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาเข้ากับรถหุ่นยนต์ต้นแบบแล้วไม่สามารถปรับค่าเหล่านี้ได้

4.1.5.3 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง โดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 800, 850, 900, 950, 1000, 1050 V แล้วทำการจ่ายไฟให้โหลดที่ระดับต่างๆ เริ่มตั้งแต่ 2MΩ ไปถึง 20 MΩ หลังจากนั้นวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำมาคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถจ่ายได้

4.1.5.4 การทดสอบส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี ทดสอบค่าการนับที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าจริง รวมถึงค่าการนับที่เกิดจากสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นจึงทดสอบการส่งข้อมูลไปยังส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์

4.1.6 การทดสอบรถหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาแล้ว

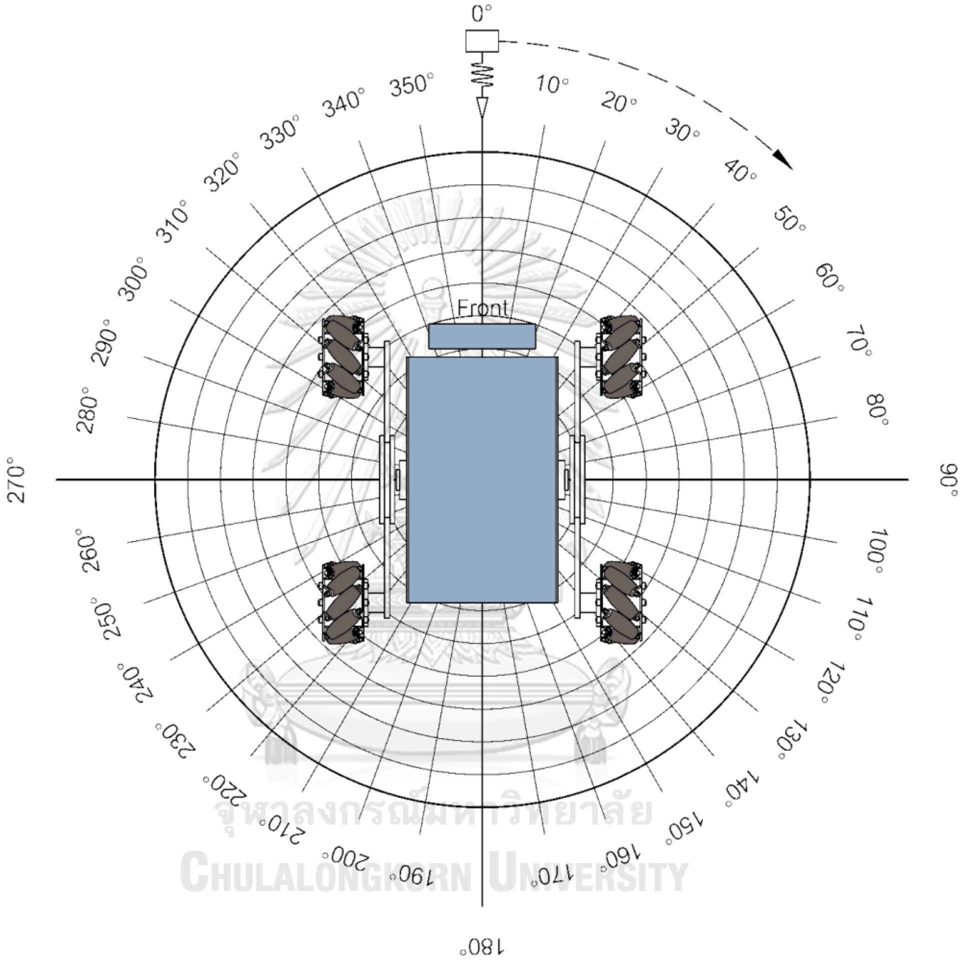
4.1.6.1 การทดสอบช่วงระยะเวลาในการทำงาน ทดสอบโดยการจับเวลาที่รถหุ่นยนต์ทำงานในโหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติกต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งรถหุ่นยนต์หยุดตอบสนองต่อการควบคุม ทดสอบเพื่อประเมินถึงช่วงเวลาที่รถหุ่นยนต์สามารถทำงานได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.6.2 การทดสอบความเร็วและระยะทางที่รถหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ทดสอบโดยการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ใน 1 เมตร เพื่อนำมาคำนวณเป็นความเร็ว แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณร่วมกันกับช่วงระยะเวลาในการทำงาน เพื่อหาระยะทางทั้งหมดที่รถหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้ภายในรัศมีการควบคุม

4.1.6.3 การทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม เป็นการทดสอบเพื่อดูรูปแบบของการวัดรังสีที่มุมต่างๆ เทียบกับจุดศูนย์ถ่วงของรถหุ่นยนต์ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ในการเขียนโปรแกรมสำหรับตรวจวัดรังสีของรถหุ่นยนต์ต่อไป ทำการทดสอบโดยการวางรถหุ่นยนต์บนฐานที่หมุนปรับมุมได้ หลังจากนั้นวางแหล่งกำเนิดรังสีด้านหน้าของรถหุ่นยนต์ ปรับระยะห่างของแหล่งกำเนิดรังสีให้ระบบวัดรังสีสามารถวัดความแรงรังสีได้ประมาณ 1000 cps จากนั้นทำการหมุนรถหุ่นยนต์แล้วทำการวัดความแรงรังสีทุกๆ 10 องศา นำค่าความแรงรังสีที่ได้นำมา

คำนวณหาความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ แล้วนำมาพล็อตเป็นแผนภูมิภาพเพื่อเปรียบเทียบหาความแม่นยำและความเหมาะสมในการหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ก่อนนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการโปรแกรมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต่อไป การทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม แสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4 - 1 การทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม

4.1.7 การทดสอบการทำงานของรถหุ่นยนต์เพื่อระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

การทดสอบการระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ทำการทดสอบ 2 ขั้นตอน คือการทดสอบการระบุทิศทางต้นกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุม เพื่อนำผลที่ได้จากในขั้นตอนนี้ไปปรับปรุงเพื่อทำการทดสอบการระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาในขั้นตอนสุดท้าย

4.1.7.1 การทดสอบการระบุทิศทางต้นกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุม ทดสอบโดยการกำหนดโปรแกรมให้รถหุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่เฉพาะการหมุนตัวรถหุ่นยนต์ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมา เทียบกับผลการทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม ในการทดสอบนี้ผลที่ควรจะได้ก็คือรถหุ่นยนต์ต้นแบบจะวางตัวไปในทิศทางที่สามารถวัดความแรงรังสีได้สูงสุด

4.1.7.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ทดสอบโดยการควบคุมรถหุ่นยนต์ให้ไปอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงเริ่มการทำงานในโหมดอัตโนมัติ ในขั้นแรกรถหุ่นยนต์จะทำการวัดรังสีแกมมาเชิงมุมก่อน จนกระทั่งรถหุ่นยนต์วางตัวไปในทิศทางที่สามารถวัดความแรงรังสีได้สูงสุด หลังจากนั้นรถหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้นๆ ในการกำหนดการทำงาน รถหุ่นยนต์จะหยุดเมื่อตำแหน่งด้านหน้าของรถหุ่นยนต์วางตัวไปในทิศทางที่สามารถวัดความแรงรังสีได้สูงสุดและด้านหน้าของรถหุ่นยนต์ห่างจากสิ่งกีดขวางน้อยกว่า 30 เซนติเมตร ในการทดสอบนี้ทำเพื่อตรวจสอบขั้นตอนการทำงานรถหุ่นยนต์เทียบกับโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อประเมินขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมความถูกต้องแม่นยำ เพื่อนำไปปรับปรุงโปรแกรมการทำงานของรถหุ่นยนต์ต่อไป

4.2 ผลการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1 ผลการทดสอบโครงรถหุ่นยนต์

โครงสร้างของรถหุ่นยนต์มีความแข็งแรงมาก ยกเว้นระบบโช๊คอัพที่รับน้ำหนักได้ไม่ดีถึงแม้ว่าจะมีการติดตั้งสปริงเสริมเพื่อช่วยรับน้ำหนักแล้วก็ตาม ในที่นี้รวมถึงเพลาที่ยึดตัวถังรถเข้ากับชุดล้อด้วย ซึ่งใช้แท่ง Polyacetal (POM) กลึงขึ้นรูปทำให้มีความอ่อนตัวในแนวตั้งฉากกับแกนเพลาทำให้โครงสร้างของรถหุ่นยนต์ตรงส่วนนี้มีความอ่อนตัวเล็กน้อย แต่โดยภาพรวมแล้วโครงรถหุ่นยนต์สามารถใช้งานได้ดี ในส่วนโครงรถแบบ Rocker-Bogie ทำงานได้ดีมากน่าประทับใจ ถึงแม้ว่าในการใช้งานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบไม่ได้นำไปใช้งานในบริเวณพื้นที่ขรุขระตามที่โครงรถแบบ Rocker-Bogie ถูกออกแบบมาให้ใช้งานก็ตาม

4.2.2 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุม

ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของล้อแบบแมคานุมบนพื้นเรียบทำงานได้ดีมาก สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ได้ การเคลื่อนที่ทำได้ดีทั้งในการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า การเคลื่อนที่ไปทางด้านข้าง การเคลื่อนที่ไปในทิศทางเฉียงและการหมุนของตัวรถหุ่นยนต์ สามารถเคลื่อนที่ไปบนพื้นเอียงที่มุมประมาณ 10-15 องศาได้ ตามทฤษฎีแล้ว ล้อแบบแมคานุมสามารถเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบจุดอ้างอิงจุดใดจุดหนึ่งได้ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ 2 แบบผสมกันคือการเคลื่อนที่แบบไถลและการเคลื่อนที่แบบหมุนตัวของรถหุ่นยนต์ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่ควบคุมการหมุนของล้อ โดยในการทดสอบการเคลื่อนที่เป็นวงกลมยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากการกำหนดค่า PWM ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ยังไม่เหมาะสม ในการใช้งานจึงยังต้องแยกการควบคุมการเคลื่อนที่ทีละแบบ

ในการทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่เป็นระดับ รถหุ่นยนต์ไม่สามารถไต่พื้นที่เป็นระดับที่ความสูงมากกว่า 5 เซนติเมตรได้ เนื่องจากล้อแมคานุมที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และโครงสร้างของล้อเองประกอบด้วยล้อเล็กโดยรอบ ทำให้การเกาะพื้นเพื่อส่งถ่ายแรงไม่เพียงพอที่จะดันให้รถหุ่นยนต์ไต่พื้นที่เป็นระดับที่มีความสูงมากกว่ารัศมีของล้อได้

4.2.3 ผลการทดสอบระบบพื้นฐาน

4.2.3.1 ผลการทดสอบการทำงานร่วมระหว่างจอยสติกกับรถหุ่นยนต์ สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์ได้ตามที่กำหนด แต่เนื่องจากในแต่ละล้อมีโมเมนต์ความเฉื่อยไม่เท่ากันและมีบางล้อที่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ในการควบคุมการเคลื่อนที่ปรกติสามารถเคลื่อนที่ได้ตามลักษณะและทิศทางที่ต้องการ แต่เมื่อสั่งให้หยุดความเฉื่อยที่ไม่เท่ากันในแต่ล่ะล้อทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้าง นอกจากนั้นในการโปรแกรมการทำงานจำเป็นที่จะต้องมีช่วงหน่วงเวลา ทำให้การตอบสนองต่อการบังคับเกิดช่วงหน่วงเวลาขึ้น วิธีแก้ปัญหาคือพยายามลดช่วงหน่วงเวลาในโปรแกรมลง ทำให้การตอสนองต่อการบังคับดีขึ้น

4.2.3.2 ผลการทดสอบการควบคุมระยะไกล ระยะทางไกลที่สุดที่รถหุ่นยนต์ตอบสนองต่อการควบคุมจากจอยสติกได้อยู่ที่ 65 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง แต่เนื่องจากการใช้งานจริงไม่สามารถใช้งานในระยะ 65 เมตร พอดีได้ จึงได้กำหนดระยะทางที่สามารถใช้

ควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์อยู่ที่ 60 เมตร ผลการทดสอบการควบคุมระยะไกล แสดงในตางรางที่ 4-1

ตารางที่ 4 - 1 ผลการทดสอบการควบคุมระยะไกล

ระยะทาง	ผลการควบคุม	
(เมตร)	ควบคุมได้	ไม่สามารถควบคุมได้
10	O	
20	O	
30	O	
40	O	
50	O	
60	O	
65	O	
70		O

4.2.4 ผลการทดสอบโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05

4.2.4.1 ผลการทดสอบความแม่นยำในแนวตั้งฉากกับผนัง

ตารางที่ 4 - 2 ผลการทดสอบความแม่นยำในแนวตั้งฉากกับผนัง

	ค่าระยะที่อ่านได้ (cm)			
ระยะห่างจากผนัง (cm)	ด้านหน้า	ด้านซ้าย	ด้านขวา	ด้านหลัง
10 cm	11	10	10	10
20 cm	20	20	20	21
30 cm	30	30	29	30
40 cm	39	40	39	40
50 cm	49	49	49	50

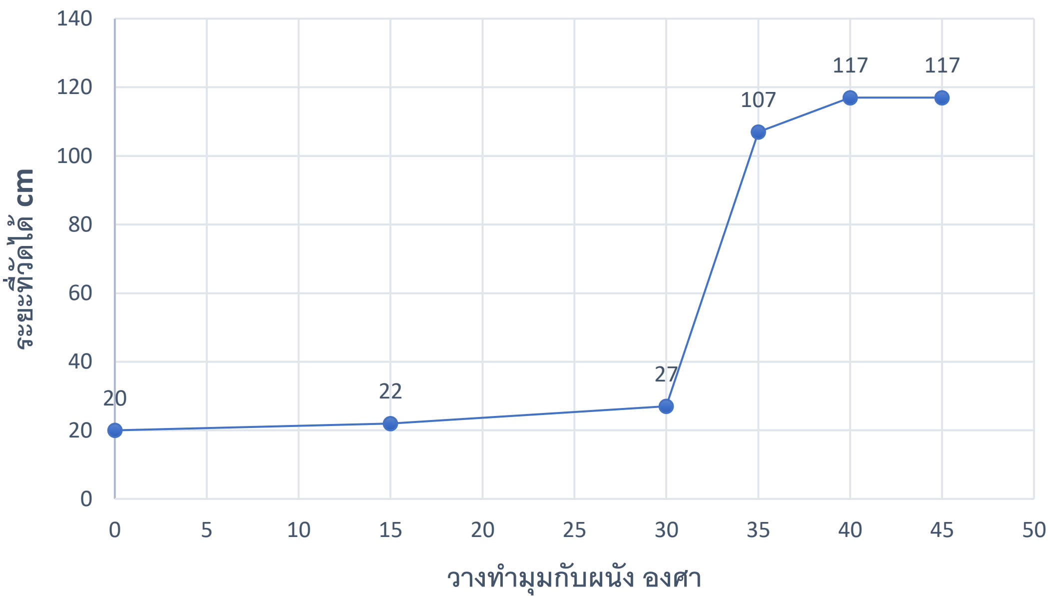
จากตารางผลการทดสอบความแม่นยำในแนวตั้งฉากกับผนัง ปรากฏว่าโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 มีความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย โดยไม่มีนัยยะสำคัญต่อการนำไปใช้ทำงานร่วมกับรถหุ่นยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.4.2 ผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective angle)

ตารางที่ 4 - 3 ผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective Angle)

วางทำมุมกับผนัง องศา	ค่าระยะที่วัดได้ (cm)
0 องศา	20 cm
15 องศา	22 cm
30 องศา	27 cm
35 องศา	107 cm
40 องศา	117 cm
45 องศา	117 cm



รูปที่ 4 - 1 ผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective Angle)

จากผลการทดสอบหามุมประสิทธิผล (Effective angle) ปรากฏว่าโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 มีมุมประสิทธิผลอยู่ในช่วง ±30 องศา ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโมดูลอัลตราโซนิกวางตัวทำมุมมากกว่า 30 องศา คลื่นเสียงจะไม่สะท้อนกลับเข้ามาที่ภาครับ ทำให้ระยะที่วัดได้ผิดพลาด ดังนั้นในการนำโมดูล Ultrasonic Sensor HY-SRF05 ไปใช้ใน

การตรวจวัดสิ่งกีดขวางสำหรับควบคุมการทำงานของรถหุ่นยนต์ จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงมุมประสิทธิผลของระบบวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิกด้วย

4.2.5 ผลการทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา

4.2.5.1 ผลการทดสอบหัววัดรังสีแกมมา หัววัดรังสีแกมมาขนาด 2 นิ้ว สามารถวัดรังสีแกมมาได้ตามปรกติ สามารถนำไปใช้งานร่วมในระบบวัดรังสีแกมมาของรถหุ่นยนต์ได้ ซึ่งขนาดหัววัดรังสีแกมมาขนาด 2 นิ้ว เป็นขนาดที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาในเรื่องของ sensitivity และเรื่องของน้ำหนักเมื่อต้องมีการติดตะกั่วทำเป็นคอลลิเมเตอร์ด้วย

4.2.5.2 ผลการทดสอบส่วนจัดการสัญญาณทางการวัดรังสี รูปแบบสัญญาณที่ออกจากส่วน Preamp และส่วน Amp เป็นไปตามทฤษฎี เมื่อทำการปรับ Pole Zero ปรับ Base Line และปรับ Gain ให้เหมาะสมแล้วเมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปต่อเข้ากับ Discriminator ทำการปรับค่า Voltage Reference ใน Discriminator ทำให้ค่าการนับที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าจริงที่ทำการวัดจากสายสัญญาณของหัววัดรังสี และค่าการนับรังสีพื้นหลังที่ได้มีค่าน้อยกว่า 150 cps

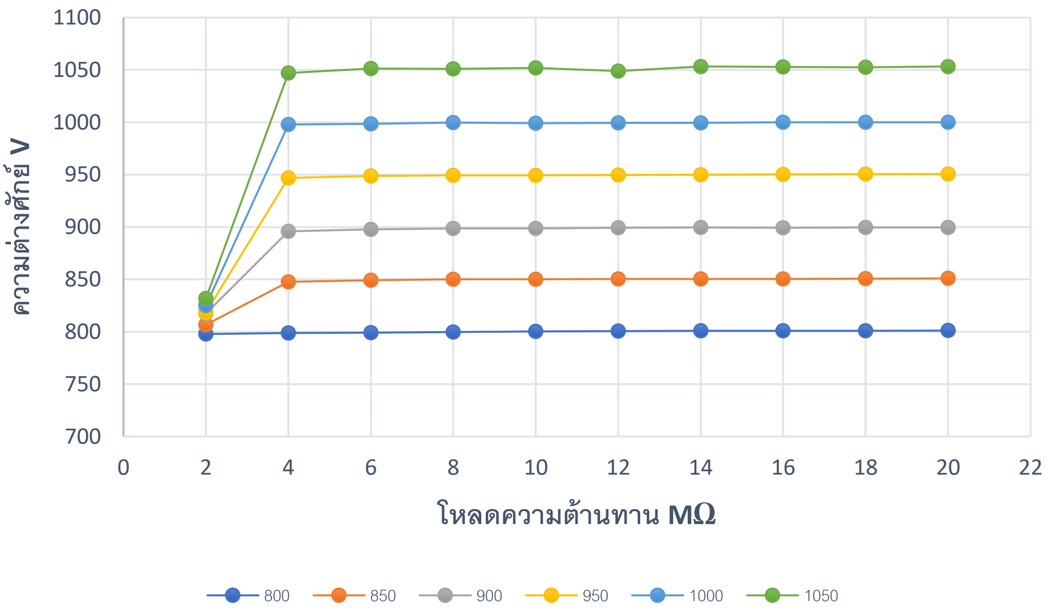
4.2.5.3 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

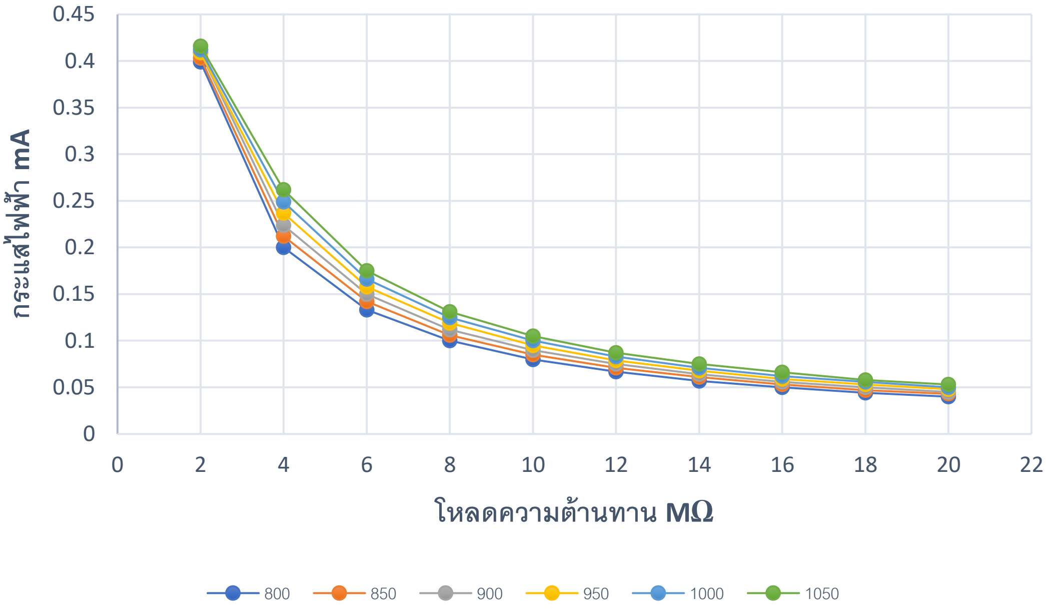
ตารางที่ 4 - 4 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

แรงดันไฟฟ้า	2 MΩ	4 MΩ	6 MΩ	8 MΩ	10 MΩ	12 MΩ	14 MΩ	16 MΩ	18 MΩ	20 MΩ
800V	797.8	798.7	799.2	799.8	800.3	800.5	800.8	800.9	800.9	801.1 V
	0.399	0.200	0.133	0.100	0.080	0.067	0.057	0.050	0.044	0.040 mA
850V	806.7	847.7	849.3	850.1	850.2	850.3	850.3	850.5	850.7	850.9 V
	0.403	0.212	0.142	0.106	0.085	0.071	0.061	0.053	0.047	0.043 mA
900V	817.4	896.0	897.8	898.5	898.5	899.1	899.5	899.3	899.5	899.6 V

	0.409	0.224	0.150	0.112	0.090	0.075	0.064	0.056	0.050	0.045 mA
950V	818.4	947.0	948.8	949.2	949.3	949.7	949.9	950.2	950.5	950.6 V
	0.409	0.237	0.158	0.119	0.095	0.079	0.068	0.059	0.053	0.048 mA
1000V	824.9	997.8	998.5	999.8	999.0	999.4	999.5	999.9	1000.0	1000.0 V
	0.412	0.249	0.166	0.125	0.100	0.083	0.071	0.062	0.056	0.050 mA
1050V	831.8	1047.1	1051.2	1050.9	1051.8	1048.8	1053.3	1052.9	1052.4	1053.3 V
	0.416	0.262	0.175	0.131	0.105	0.087	0.075	0.066	0.058	0.053 mA



รูปที่ 4 - 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดความต้านทานกับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้



รูปที่ 4 - 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดความต้านทานกับกระแสที่คำนวณได้

จากผลการทดลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถทำงานได้ดีในช่วงที่โหลดกระแสไม่เกิน 0.26 mA เนื่องจากถ้าโหลดกระแสมากกว่านี้จะเกิดการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าตามผลการทดลอง

4.2.5.4 ผลการทดสอบส่วนประมวลผลข้อมูลทางการวัดรังสี ค่าการนับที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าจริงที่ทำการวัดจากสายสัญญาณของหัววัดรังสีแกมมา และค่าการนับรังสีพื้นหลังที่ได้มีค่าน้อยกว่า 150 cps และสามารถส่งข้อมูลไปยังส่วนควบคุมรถหุ่นยนต์ต้นแบบผ่านทาง Serial port เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับประมวลผลเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์ได้

4.2.6 ผลการทดสอบรถหุ่นยนต์เมื่อติดตั้งระบบวัดรังสีแกมมาแล้ว

4.2.6.1 ผลการทดสอบช่วงระยะเวลาในการทำงาน รถหุ่นยนต์สามารถทำงานต่อเนื่องได้ประมาณ 15 นาที เนื่องจากเมื่อความต่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงไปถึงค่าหนึ่ง รีเลย์ที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิด จะหยุดทำงาน ดังนั้นสามารถเพิ่มระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเปลี่ยนขนาดของสวิตช์รีเลย์

4.2.6.2 ผลการทดสอบความเร็วและระยะทาง

ระยะทาง 1 เมตร รถหุ่นยนต์ต้นแบบใช้เวลาในการเคลื่อนที่ประมาณ 1.7 วินาที ดังนั้น

ความเร็วในการเคลื่อนที่

$$v = \frac{s}{t}$$

โดยที่ v ความเร็วของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ (m/s)

s ระยะทาง 1 เมตร (m)

t ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s)

ดังนั้น

$$v = \frac{1(m)}{1.7(s)}$$

$$v = 0.59\, m/s$$

$$\underline{v = 2.12\, km/hr}$$

ดังนั้น ระยะทางทั้งหมดที่รถหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$s = vT$$

โดยที่ s ระยะทางที่รถหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปได้ (m)

v ความเร็วของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ (km/hr)

T ช่วงระยะเวลาทำงานแบบต่อเนื่อง (min)

$$s = \frac{2.12(km/hr) \times 15(\text{min}) \times 1000(m/km)}{60(min/hr)}$$

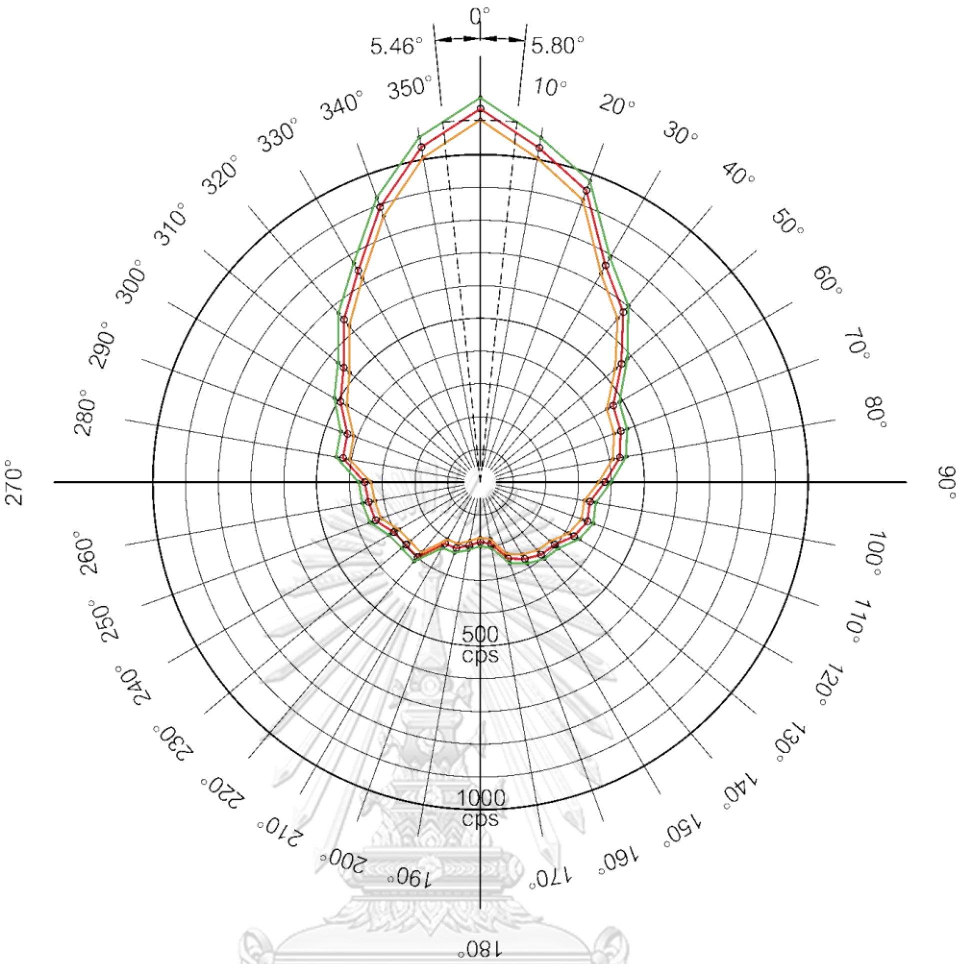
$$\underline{s = 530\, m}$$

4.2.6.3 ผลการทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม

ตารางที่ 4 - 5 ผลการทดสอบการวัดรังสีเชิงมุม

องศา	X cps	σ	X±σ	X±2σ	X±3σ	องศา	X cps	σ	X±σ	X±2σ	X±3σ
0	1140	34	1174	1208	1242	180	182	13	195	208	221
			1106	1072	1038				169	156	143
10	1036	32	1068	1100	1132	190	196	14	210	224	238
			1004	972	940				182	168	154
20	948	31	979	1010	1041	200	214	15	229	244	259
			917	886	855				199	184	169
30	764	28	792	820	848	210	216	15	231	246	261
			736	708	680				201	186	171
40	678	26	704	730	756	220	298	17	315	332	349
			652	626	600				281	264	247
50	562	24	586	610	634	230	296	17	313	330	347
			538	514	490				279	262	245
60	468	22	490	512	534	240	304	17	321	338	355
			446	424	402				287	270	253
70	456	21	477	498	519	250	340	18	358	376	394
			435	414	393				322	304	286
80	432	21	453	474	495	260	346	19	365	384	403
			411	390	369				327	308	289
90	380	19	399	418	437	270	352	19	371	390	409
			361	342	323				333	314	295
100	340	18	358	376	394	280	426	21	447	468	489
			322	304	286				405	384	363
110	348	19	367	386	405	290	432	21	453	474	495
			329	310	291				411	390	369
120	330	18	348	366	384	300	492	22	514	536	558
			312	294	276				470	448	426
130	296	17	313	330	347	310	544	23	567	590	613
			279	262	245				521	498	475
140	288	17	305	322	339	320	648	25	673	698	723
			271	254	237				623	598	573
150	270	16	286	302	318	330	746	27	773	800	827
			254	238	222				719	692	665
160	248	16	264	280	296	340	894	30	924	954	984
			232	216	200				864	834	804
170	190	14	204	218	232	350	1038	32	1070	1102	1134
			176	162	148				1006	974	942

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4 - 2 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±σ

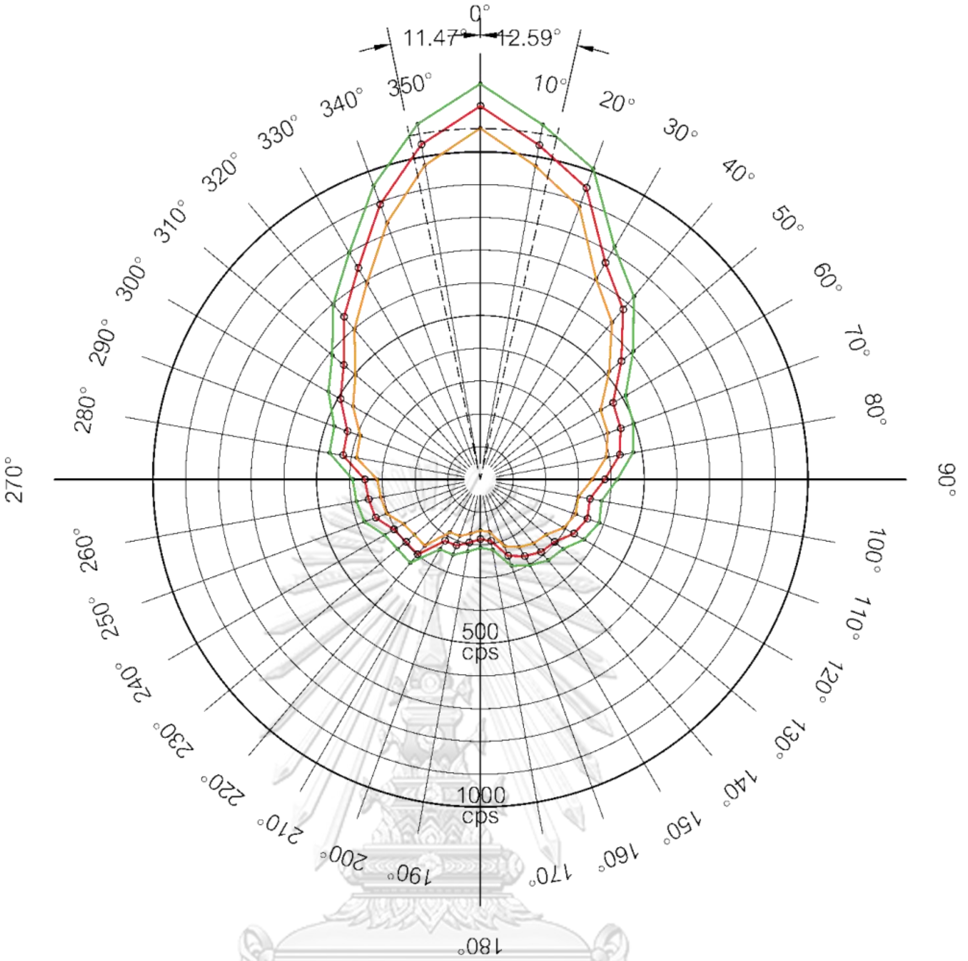
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากแผนภาพไดอะแกรมการวัดรังสีเชิงมุม เมื่อกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ที่ X±σ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุมจะอยู่ในช่วงมุมประมาณ ± 6 องศา

เมื่อ X คือจำนวนนับรังสีต่อเวลา cps

σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับรังสี

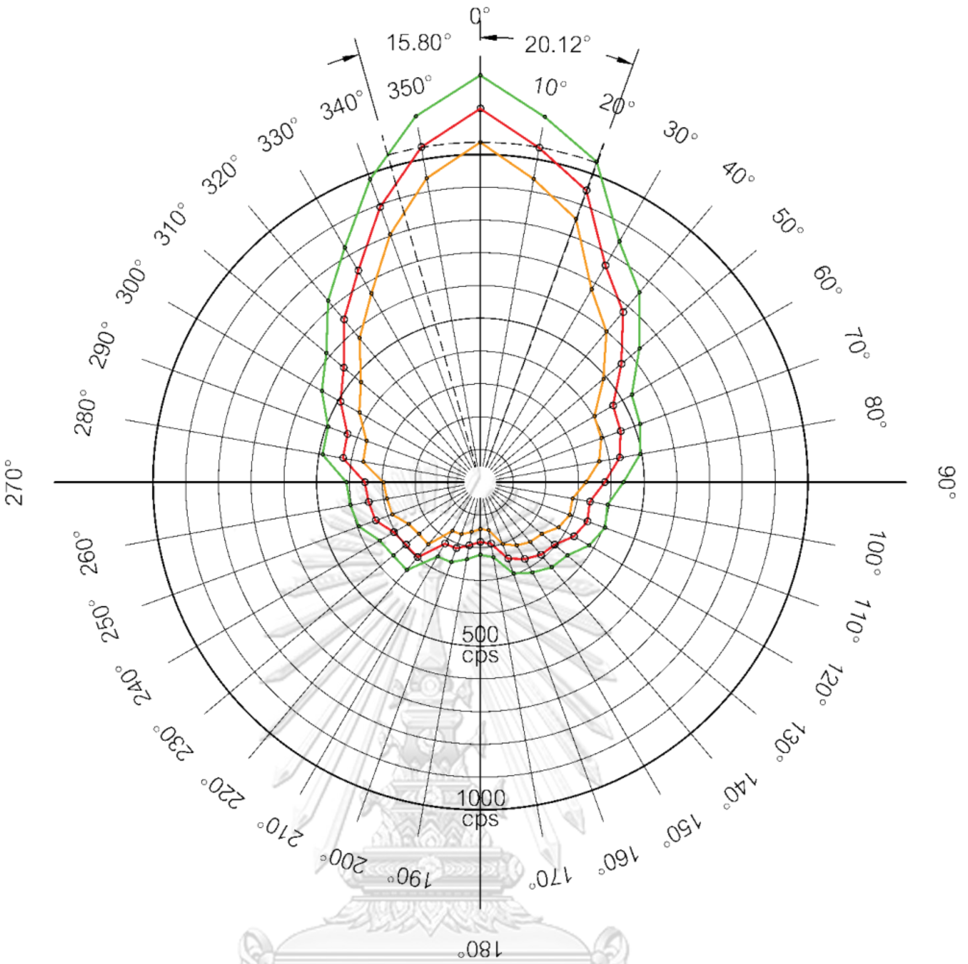
โดยที่ $\sigma = \sqrt{X}$



รูปที่ 4 - 3 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±2σ

จากแผนภาพไดอะแกรมการวัดรังสีเชิงมุม เมื่อกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ที่ X±2σ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุมจะอยู่ในช่วงมุมประมาณ ± 13 องศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4 - 4 แผนภาพการวัดรังสีเชิงมุม X±3σ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากแผนภาพไดอะแกรมการวัดรังสีเชิงมุม เมื่อกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดอยู่ที่ X±3σ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุมจะอยู่ในช่วงมุมประมาณ ± 20 องศา

การกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนให้กับจำนวนนับรังสี X±Aσ [10] เพื่อให้เหมาะสมต่อความน่าเชื่อถือในการวัดรังสีในทางสถิติและเพื่อให้รถหุ่นยนต์ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความแรงรังสีที่เหมาะสม

4.2.7 ผลการทดสอบการทำงานของรถหุ่นยนต์เพื่อระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

4.2.7.1 การทดสอบการระบุทิศทางต้นกำเนิดรังสีแกมมาเชิงมุม

ในการตรวจหาทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมา เมื่อกำหนดโปรแกรมให้ทำงานในช่วงความคลาดเคลื่อน $X \pm \sigma$ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาจะอยู่ในช่วงมุม ±6 องศา แต่เมื่อให้รถหุ่นยนต์ทำงานจริงในโหมดอัตโนมัติรถหุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากรถหุ่นยนต์จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความแรงรังสีเร็วเกินไป ทำให้ไม่สามารถระบุทิศทางที่แน่นอนได้

เมื่อกำหนดโปรแกรมให้ทำงานในช่วงความคลาดเคลื่อน $X \pm 2\sigma$ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาจะอยู่ในช่วงมุม ±13 องศา เมื่อให้รถหุ่นยนต์ทำงานจริงในโหมดอัตโนมัติรถหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ สามารถระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้น้อยกว่าช่วง ±10 องศา

เมื่อกำหนดโปรแกรมให้ทำงานในช่วงความคลาดเคลื่อน $X \pm 3\sigma$ ความแม่นยำในการระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาจะอยู่ในช่วงมุม ±20 องศา เมื่อให้รถหุ่นยนต์ทำงานจริงในโหมดอัตโนมัติรถหุ่นยนต์ ปรากฏว่ารถหุ่นยนต์ทำงานได้ไม่ดีนักมีการตอบสนองช้าเกินไป การระบุทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาจะอยู่นอกมุม ±20 องศา

ดังนั้นเมื่อโปรแกรมการทำงานให้รถหุ่นยนต์ทำงาน จึงได้กำหนดให้รถหุ่นยนต์ตอบสนองต่อการวัดความแรงรังสีอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน $X \pm 2\sigma$ โดยมีความแม่นยำในการหาทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาอยู่ในช่วง ±10 องศา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการทดสอบโดยให้ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีแกมมาอยู่ในช่วงมุม 60-300 องศา เมื่อวัดจากศูนย์ถ่วงของตัวรถตามรูปที่ 4-1 ปรากฏว่ารถหุ่นยนต์ไม่สามารถหาทิศทางที่แน่ชัดของต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้เนื่องจากความสามารถในการวัดรังสีแกมมาในช่วงนั้นแยกความแตกต่างของความแรงรังสีไม่ชัดเจน ทำให้รถหุ่นยนต์หันกลับไปกลับมาตามอัลกอริทึมของโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นเมื่อเจอเหตุการณ์นี้ขึ้นวิธีการแก้ไขคือเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นโหมดควบคุมด้วยคนเพื่อควบคุมจัดวางตำแหน่งทิศทางใหม่ให้รถหุ่นยนต์

4.2.7.2 การทดสอบการระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา

หลังจากที่โปรแกรมการทำงาน ให้รถหุ่นยนต์ต้นแบบหาทิศทางของต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้แล้วนั้น เมื่อพัฒนาโปรแกรมการทำงานในขั้นต่อไป ได้กำหนดให้รถหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่คาดว่าต้นกำเนิดรังสีแกมมาตั้งอยู่ โดยตั้งเงื่อนไขว่ารถหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้น ก็ต่อเมื่อด้านหน้ารถหุ่นยนต์ต้องมีที่ว่างมากกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อลองให้รถหุ่นยนต์ต้นแบบทำงานอัตโนมัติ รถหุ่นยนต์ต้นแบบก็สามารถเคลื่อนที่เข้าไปหาต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้ตามที่โปรแกรมไว้

ในการทดสอบได้วางให้รถหุ่นยนต์อยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาประมาณ 1 เมตร เมื่อรถหุ่นยนต์ทำการตรวจวัดหาทิศทางที่มีความแรงรังสีสูงสุดแล้ว เนื่องจากความแม่นยำในการหาทิศทางอยู่ในช่วง ±10 องศา ทำให้มีบางครั้งที่รถหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกห่างจากทิศทางที่ควรจะไป แต่เมื่อรถหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาไปเรื่อยๆ รถหุ่นยนต์จะปรับทิศทางให้ไปในทิศทางที่ต้นกำเนิดรังสีแกมมาตั้งอยู่โดยอัตโนมัติ ซึ่งตำแหน่งสุดท้ายที่รถหุ่นยนต์หยุดอยู่กับที่ ณ ตำแหน่งนั้นความแม่นยำในการตรวจหาทิศทางที่มีความแรงรังสีสูงสุดอยู่ในช่วง ±10 องศา โดยอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ระยะประมาณ 30 เซนติเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการทดสอบ

การทำงานของรถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา สามารถควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ และสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งโหมดควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติก และโหมดควบคุมอัตโนมัติ การเคลื่อนที่ของรถหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ได้ โดยไม่มีจุดอับในการเคลื่อนที่ตามคุณลักษณะของล้อแบบแมคานุม และการเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางทำได้ดีตามลักษณะโครงรถแบบ Rocker-Bogie

รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นมีระยะควบคุมด้วยคนผ่านทางจอยสติกได้ไกลสูงสุด 60 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง เคลื่อนที่บนพื้นราบด้วยความเร็วสูงสุด 2.12 กม./ชั่วโมง ระยะเวลาทำงานประมาณ 15 นาที เคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลสุด 530 เมตร

รถหุ่นยนต์ต้นแบบสามารถตรวจวัดและระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีเชิงมุมที่ประมาณ ± 10 องศา ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายในระยะประมาณ 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่ต้นกำเนิดรังสีแกมมาวางอยู่

สามารถนำรถหุ่นยนต์ต้นแบบไปตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีสามารถทำการตรวจหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดรังสีนั้นๆ เป็นไปตามหลักความปลอดภัย ALARA ในเรื่องการควบคุมระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี (Distance) ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีมีโอกาสได้รับรังสีในปริมาณที่น้อยลงได้ตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

5.1.2 สมรรถนะของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

ตารางที่ 5 - 1 สมรรถนะของรถหุ่นยนต์ต้นแบบ

ขนาด กxยxส	390x400x400 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	10 กิโลกรัม
ความเร็ว	2.12 กม./ชั่วโมง
ระยะควบคุม	60 เมตร
ระยะเวลาใช้งาน	15 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

รถหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับระบุตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น สามารถหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมาแทนผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีได้ ซึ่งช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทางด้านรังสีอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีทำให้มีความปลอดภัย ลดโอกาสที่จะได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น เป็นไปตามหลักการ ALARA “As Low As Reasonably Achievable” แต่ถึงอย่างไรก็ตามควรที่จะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงในส่วนต่างๆ ต่อไป

5.2.1 รถหุ่นยนต์ต้นแบบควรมีการปรับปรุงโครงสร้างให้แข็งแรงขึ้นและอาจจะติดตั้งกล้องสำหรับถ่ายภาพเพิ่มเติม

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2.2 ระบบวัดรังสีแกมมาควรพัฒนาระบบให้ใช้งานได้นอกจากการหาตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายหน้าที่มากขึ้น

5.2.3 การทำงานในปัจจุบัน การตรวจวัดความแรงรังสีได้รวมรังสีพื้นหลังไปด้วย เมื่อรถหุ่นยนต์ทำงานในขณะที่ไม่มีต้นกำเนิดรังสีที่แน่ชัด ทำให้อัลกอริทึมของรถหุ่นยนต์ไม่สามารถแยกแยะได้ว่ากำลังทำอะไร ดังนั้นควรมีการเพิ่มเติมในส่วนโปรแกรมให้วัดรังสีพื้นหลังก่อน เมื่อสามารถวัดความแรงรังสีที่มากกว่ารังสีพื้นหลังแล้วจึงเริ่มทำงาน ซึ่งค่าที่ใช้กำหนดเริ่มการทำงานอาจจะเป็น $Y+4\sigma$ เมื่อ Y คือความแรงของรังสีพื้นหลังและ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรังสีพื้นหลัง

รายการอ้างอิง

1. Ioan Doroftei, Victor Grosu, and Veaceslav Spinu, *Omnidirectional Mobile robot - Design and Implementation*, *Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots*, Maki K. Habib, Editor. 2007, I-Tech Education and Publishing: Croatia.
2. มงคล เทียนวิบูลย์, *การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
3. ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง, *การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.
4. ติรพัฒน์ สว่างโกศล, *การพัฒนาระบบควบคุมระยะไกลผ่านบลูทูธสำหรับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.
5. ดร.นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, *วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์*, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545.
6. Knoll, G.F., *Radiation detection and measurement*. 3rd ed. 2000, New York: Wiley. xiv, 802 p.
7. Nicholson, P.W., *Nuclear electronics*. 1974, London, New York,: Wiley. xiv, 388 p.
8. Blum, J., *Exploring Arduino : tools and techniques for engineering wizardry*. 2013, Indianapolis, Ind.: John Wiley. xxv, 357 sider.
9. อรพิน ประวัติบริสุทธิ์, *คู่มือเขียนโปรแกรมด้วยภาษา c ฉบับสมบูรณ์ (ปรับปรุงใหม่)*, กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น. 2559.
10. Tsoulfanidis, N. and S. Landsberger, *Measurement and detection of radiation. 3rd ed*. 2011, Boca Raton, FL: CRC Press. xxiii, 493 p.

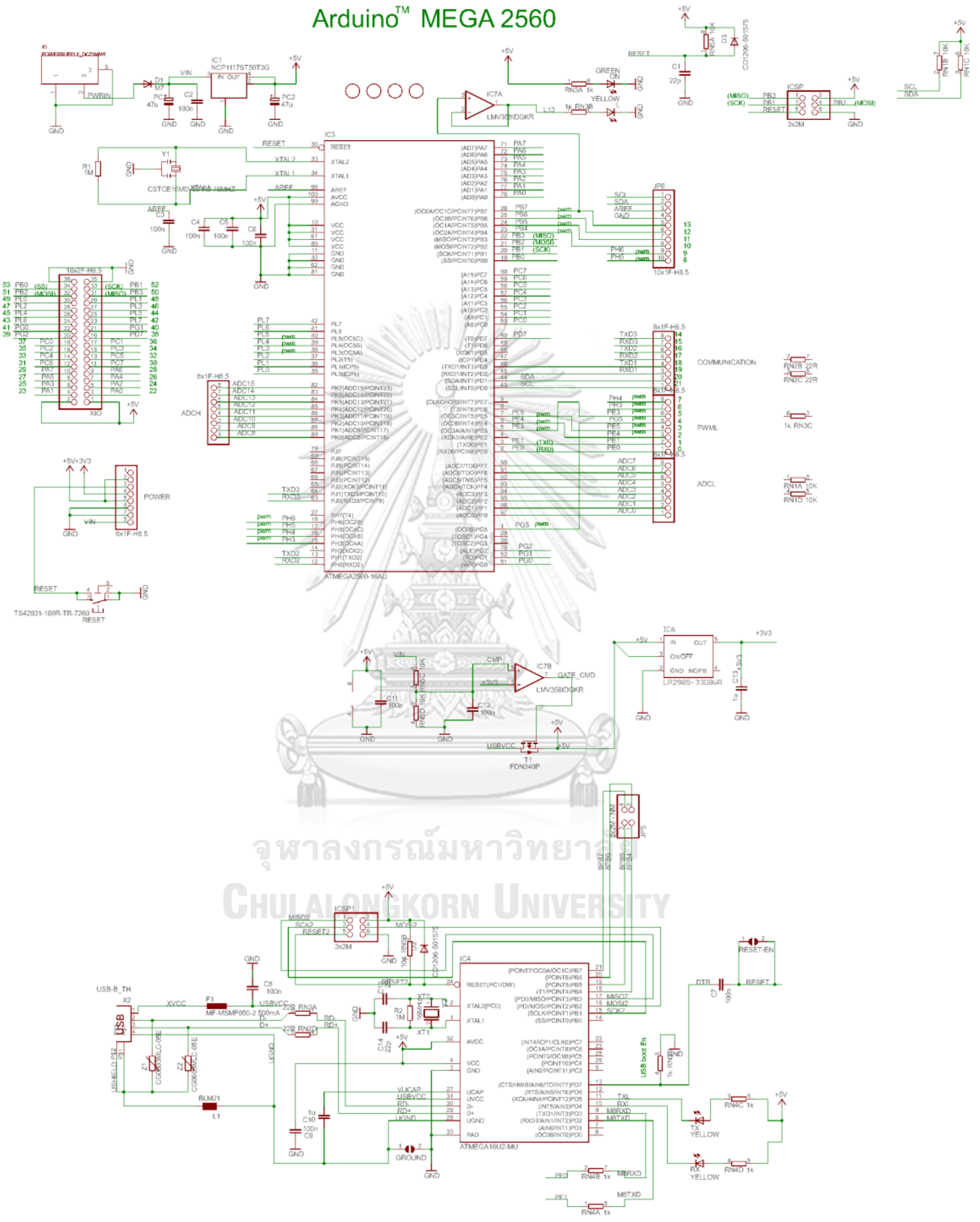
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

Arduino Mega 2560 Schematic

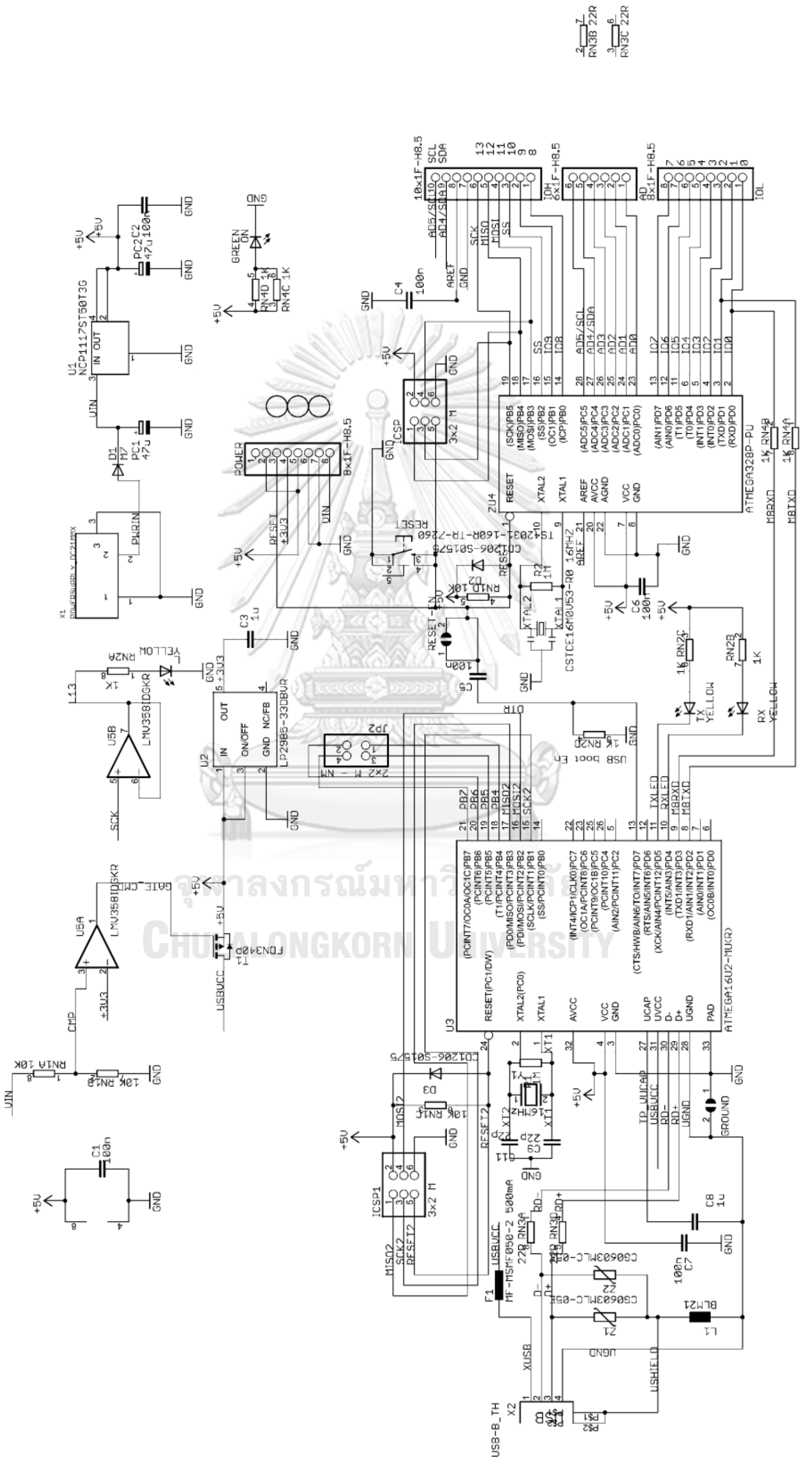


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE
Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them.
The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.
ARDUINO is a registered trademark.

ภาคผนวก ข

Arduino Uno R3 Schematic



ภาคผนวก ค

Nordic Semiconductor nRF24l01

PRELIMINARY PRODUCT SPECIFICATION

Single chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01

FEATURES

- True single chip GFSK transceiver
- Complete OSI Link Layer in hardware
- Enhanced ShockBurst™
- Auto ACK & retransmit
- Address and CRC computation
- On the air data rate 1 or 2Mbps
- Digital interface (SPI) speed 0-8 Mbps
- 125 RF channel operation
- Short switching time enable frequency hopping
- Fully RF compatible with nRF24XX
- 5V tolerant signal input pads
- 20-pin package (QFN20 4x4mm)
- Uses ultra low cost +/- 60 ppm crystal
- Uses low cost chip inductors and 2-layer PCB
- Power supply range: 1.9 to 3.6 V

APPLICATIONS

- Wireless mouse, keyboard, joystick
- Keyless entry
- Wireless data communication
- Alarm and security systems
- Home automation
- Surveillance
- Automotive
- Telemetry
- Intelligent sports equipment
- Industrial sensors
- Toys

GENERAL DESCRIPTION

nRF24L01 is a single chip radio transceiver for the world wide 2.4 - 2.5 GHz ISM band. The transceiver consists of a fully integrated frequency synthesizer, a power amplifier, a crystal oscillator, a demodulator, modulator and Enhanced ShockBurst™ protocol engine. Output power, frequency channels, and protocol setup are easily programmable through a SPI interface. Current consumption is very low, only 9.0mA at an output power of -6dBm and 12.3mA in RX mode. Built-in Power Down and Standby modes makes power saving easily realizable.

QUICK REFERENCE DATA

Parameter	Value	Unit
Minimum supply voltage	1.9	V
Maximum output power	0	dBm
Maximum data rate	2000	kbps
Supply current in TX mode @ 0dBm output power	11.3	mA
Supply current in RX mode @ 2000 kbps	12.3	mA
Temperature range	-40 to +85	°C
Sensitivity @ 1000 kbps	-85	dBm
Supply current in Power Down mode	900	nA

Table 1 nRF24L01 quick reference data

Type Number	Description	Version
nRF24L01	20 pin QFN 4x4, RoHS & SS-00259 compliant	D
nRF24L01 IC	Bare Dice	D
nRF24L01-EVKIT	Evaluation kit (2 test PCB, 2 configuration PCB, SW)	1.0

Table 2 nRF24L01 ordering information

BLOCK DIAGRAM

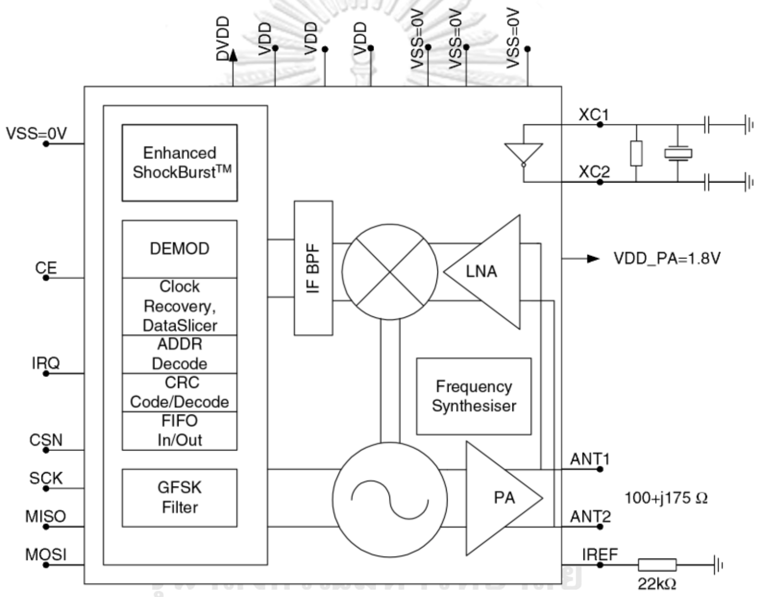


Figure 1 nRF24L01 with external components.

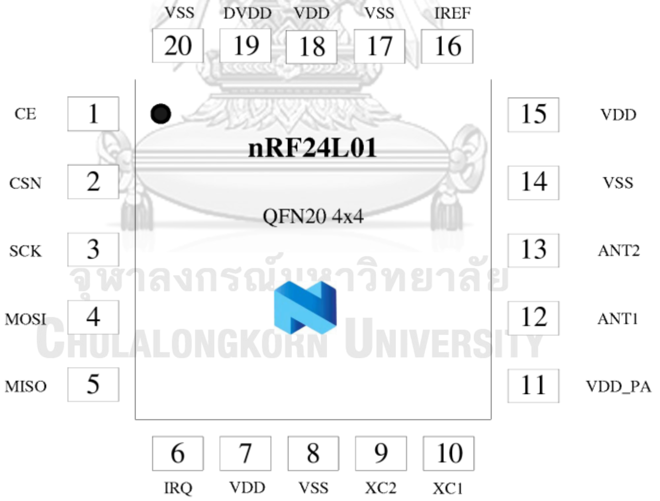
CHULALONGKORN UNIVERSITY

PIN FUNCTIONS

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	CSN	Digital Input	SPI Chip Select
3	SCK	Digital Input	SPI Clock
4	MOSI	Digital Input	SPI Slave Data Input
5	MISO	Digital Output	SPI Slave Data Output, with tri-state option
6	IRQ	Digital Output	Maskable interrupt pin
7	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
8	VSS	Power	Ground (0V)
9	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
10	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
11	VDD_PA	Power Output	Power Supply (+1.8V) to Power Amplifier
12	ANT1	RF	Antenna interface 1
13	ANT2	RF	Antenna interface 2
14	VSS	Power	Ground (0V)
15	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
16	IREF	Analog Input	Reference current
17	VSS	Power	Ground (0V)
18	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
19	DVDD	Power Output	Positive Digital Supply output for de-coupling purposes
20	VSS	Power	Ground (0V)

Table 3 nRF24L01 pin function

PIN ASSIGNMENT



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Figure 2 nRF24L01 pin assignment (top view) for a QFN20 4x4 package.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Conditions: VDD = +3V, VSS = 0V, T_A = - 40ºC to + 85ºC

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	Operating conditions					
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	ºC
	Digital input pin					
V_{IH}	HIGH level input voltage	1	0.7VDD		5.25	V
V_{IL}	LOW level input voltage		VSS		0.3VDD	V
	Digital output pin					
V_{OH}	HIGH level output voltage (I_{OH}=-0.25mA)		VDD- 0.3		VDD	V
V_{OL}	LOW level output voltage (I_{OL}=0.25mA)		VSS		0.3	V
	General RF conditions					
f_{OP}	Operating frequency	2	2400		2525	MHz
f_{XTAL}	Crystal frequency			16		MHz
Δf_{1M}	Frequency deviation @ 1000kbps			±160		kHz
Δf_{2M}	Frequency deviation @ 2000kbps			±320		kHz
R_{GFSK}	Data rate ShockBurst™		>0		2000	kbps
$F_{CHANNEL}$	Channel spacing @ 1000kbps			1		MHz
$F_{CHANNEL}$	Channel spacing @ 2000kbps			2		MHz
	Transmitter operation					
P_{RF}	Maximum Output Power	3		0	+4	dBm
P_{RFC}	RF Power Control Range		16	18	20	dB
P_{RFCR}	RF Power Accuracy				±4	dB
P_{BW}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (2000kbps)			1800	2000	kHz
P_{RF1}	1st Adjacent Channel Transmit Power 2MHz				-20	dBm
P_{RF2}	2nd Adjacent Channel Transmit Power 4MHz				-50	dBm
I_{VDD}	Supply current @ 0dBm output power	4		11.3		mA
I_{VDD}	Supply current @ -18dBm output power			7.0		mA
I_{VDD}	Average Supply current @ -6dBm output power, Enhanced ShockBurst™	5		0.05		mA
I_{VDD}	Supply current in Standby-I mode	6		32		µA
I_{VDD}	Supply current in power down			900		nA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[1] All digital inputs handle up to 5.25V signal inputs. Keep in mind that the VDD of the nRF24L01 must match the V_{IH} of the driving device for output pins.
[2] Usable band is determined by local regulations
[3] Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω
[4] Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω. Effective data rate 1000kbps or 2000 kbps
[5] Antenna load impedance = 15Ω+j88Ω. Effective data rate 10kbps and full packets
[6] Given for a 12pF crystal. Current when using external clock is dependent on signal swing.

	Receiver operation					
I_{VDD}	Supply current one channel 2000kbps			12.3		mA
I_{VDD}	Supply current one channel 1000kbps			11.8		mA
RX_{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@2000kbps)			-82		dBm
RX_{SENS}	Sensitivity at 0.1%BER (@1000kbps)			-85		dBm
C/I_{CO}	C/I Co-channel (@2000kbps)	[7]		7[8]/11[9]		dB
C/I_{1ST}	1st Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz			1/4		dB
C/I_{2ND}	2nd Adjacent Channel Selectivity C/I 4MHz			-21/-20		dB
C/I_{3RD}	3rd Adjacent Channel Selectivity C/I 6MHz			-27/-27		dB
C/I_{CO}	C/I Co-channel (@1000kbps)	[10]		9[11]/12[12]		dB
C/I_{1ST}	1st Adjacent Channel Selectivity C/I 1MHz			8/8		dB
C/I_{2ND}	2nd Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz			-22/-21		dB
C/I_{3RD}	3rd Adjacent Channel Selectivity C/I 3MHz			-30/-30		dB

Table 4 nRF24L01 RF specifications

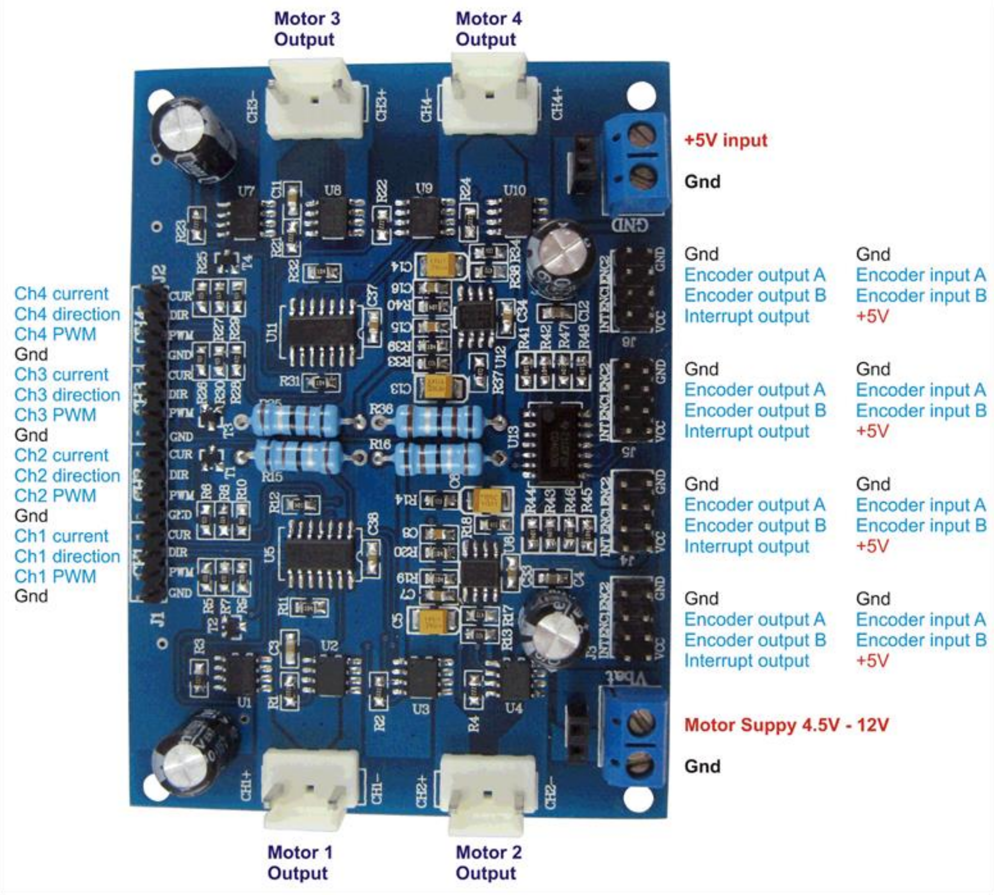
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[7] Data rate is 2000kbps for the following C/I measurements
[8] According to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27
[9] nRF24L01 equal modulation on interfering signal
[10] Data rate is 1000kbps for the following C/I measurements
[11] According to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27
[12] nRF24L01 equal modulation on interfering signal

ภาคผนวก ง

4 Channel Motor Control Unit

Designed originally for the Rover 5 chassis this driver PCB is ideal for any small robot using either Omni or Mecanum wheels. Current sensing for each motor allows the processor to determine if a motor has stalled or is under excessive load.

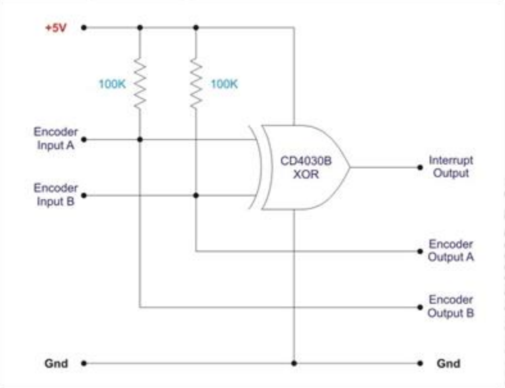


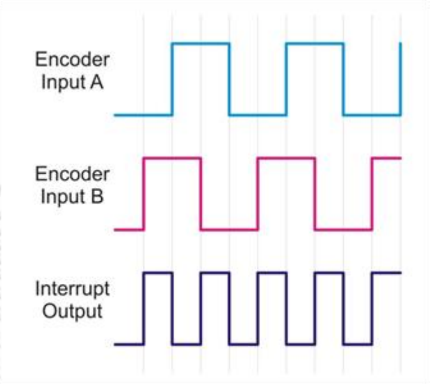
Features include:

- 4x low resistance FET "H" bridges.
- Each channel rated for 4A stall current.
- Easy to use control logic.
- Current monitoring for each channel.
- Quadrature encoder mixing circuitry.

Power connectors:
The PCB has two power connectors. One is +5V for logic (Vcc) and one for the motor power supply. The motor power supply should not be connected without first connecting the +5V for logic. This device is rated for a maximum motor supply voltage of 12V. Exceeding this voltage may permanently damage the device.

The encoder mixing circuit:
Unlike most motor controllers this PCB includes 4 mixing circuits for use with up to 4 quadrature encoders. The mixing circuit takes the 2 inputs from a quadrature encoder and mixes them into a single output. Note that the interrupt output changes state when either input changes.





This allows a single interrupt pin to monitor both inputs of a quadrature encoder. Because the interrupt output is twice the frequency of either input it also allows speed and distance to be measured with twice the resolution.

Current output:
Each channel has a current sensing circuit. The output of this circuit is approximately 1V for each amp the motor draws (5V maximum). This output can be connected directly to the analog input of any 5V micro controller.

Control logic:
The built in control logic allows each motor to be controlled by 2 pins. Driving the **direction** pin high or low will cause the motor to run forward or reverse. The **PWM** pin is used to control the motor speed. When this pin is low, the motor is off. When this pin is high the motor is at full power. To vary the speed of the motor this pin must be Pulse Width Modulated.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Motor output:
Each channel has a motor output socket. Connect any 4.5V –12V DC motor with a stall current of less than 4.5A to these pins. Exceeding 4.5A on these pins may permanently damage this device.

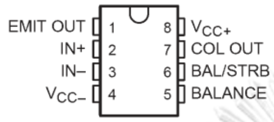
ภาคผนวก จ

LM111, LM211, LM311
DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

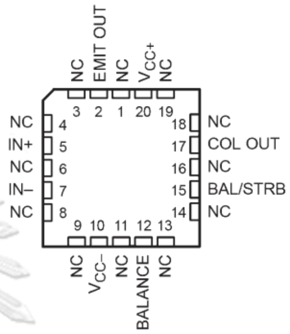
SLCS007H – SEPTEMBER 1973 – REVISED AUGUST 2003

- **Fast Response Times**
- **Strobe Capability**
- **Maximum Input Bias Current . . . 300 nA**
- **Maximum Input Offset Current . . . 70 nA**
- **Can Operate From Single 5-V Supply**
- **Available in Q-Temp Automotive**
  - **High-Reliability Automotive Applications**
  - **Configuration Control/Print Support**
  - **Qualification to Automotive Standards**

LM111 . . . JG PACKAGE
LM211 . . . D, P, OR PW PACKAGE
LM311 . . . D, P, PS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



LM111 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

description/ordering information

The LM111, LM211, and LM311 are single high-speed voltage comparators. These devices are designed to operate from a wide range of power-supply voltages, including ±15-V supplies for operational amplifiers and 5-V supplies for logic systems. The output levels are compatible with most TTL and MOS circuits. These comparators are capable of driving lamps or relays and switching voltages up to 50 V at 50 mA. All inputs and outputs can be isolated from system ground. The outputs can drive loads referenced to ground, V_{CC+} or V_{CC-}. Offset balancing and strobe capabilities are available, and the outputs can be wire-OR connected. If the strobe is low, the output is in the off state, regardless of the differential input.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

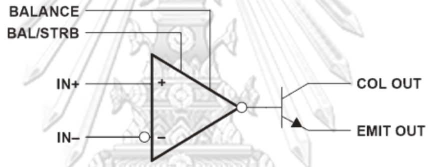
description/ordering information

ORDERING INFORMATION

T_A	V_{IO} max AT 25°C	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
–0°C to 70°C	7.5 mV	PDIP (P)	Tube of 50	LM311P	LM311P
		SOIC (D)	Tube of 75	LM311D	LM311
			Reel of 2500	LM311DR	
		SOP (PS)	Reel of 2000	LM311PSR	L311
		TSSOP (PW)	Reel of 150	LM311PW	L311
			Tube of 2000	LM311PWR	
–40°C to 85°C	3 mV	PDIP (P)	Tube of 50	LM211P	LM211P
		SOIC (D)	Tube of 75	LM211D	LM211
			Reel of 2500	LM211DR	
		TSSOP (PW)	Reel of 150	LM211PW	L211
			Reel of 2000	LM211PWR	
–40°C to 125°C	3 mV	SOIC (D)	Tube of 75	LM211QD	LM211Q
			Reel of 2500	LM211QDR	
–55°C to 125°C	3 mV	CDIP (JG)	Tube of 50	LM111JG	LM111JG
		LCCC (FK)	Tube of 55	LM111FK	LM111FK

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

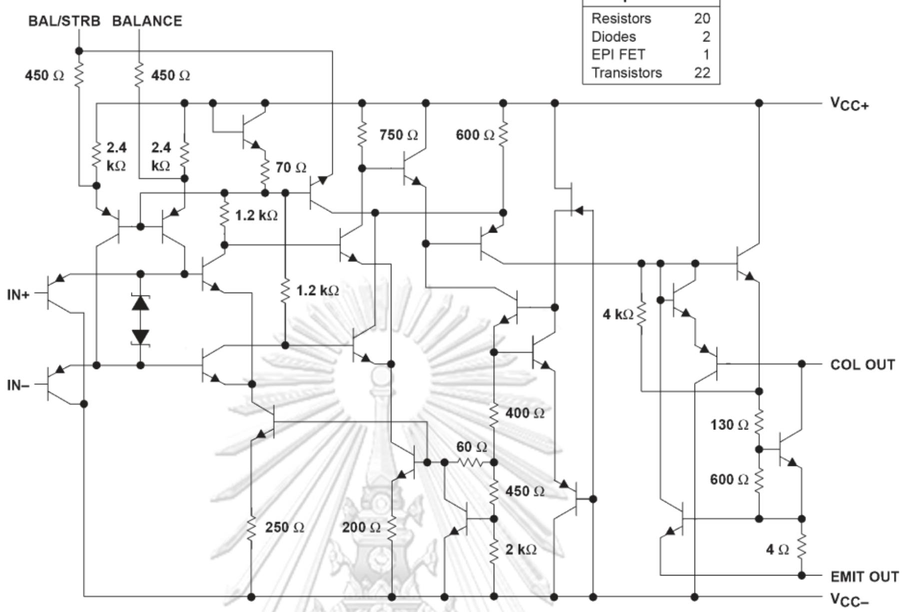
functional block diagram



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

schematic

Component Count	
Resistors	20
Diodes	2
EPI FET	1
Transistors	22



All resistor values shown are nominal.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage: V_{CC+} (see Note 1) .... 18 V
V_{CC-} (see Note 1) .... –18 V
$V_{CC+} - V_{CC-}$ .... 36 V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2) .... ±30 V
Input voltage, V_I (either input, see Notes 1 and 3) .... ±15 V
Voltage from emitter output to V_{CC-} .... 30 V
Voltage from collector output to V_{CC-}: LM111 .... 50 V
LM211 .... 50 V
LM211Q .... 50 V
LM311 .... 40 V
Duration of output short circuit (see Note 4) .... 10 s
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 5 and 6): D package .... 97°C/W
P package .... 85°C/W
PS package .... 95°C/W
PW package .... 149°C/W
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 7 and 8): FK package .... 5.61°C/W
JG package .... 14.5°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J .... 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package .... 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: J or JG package .... 300°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: D, P, PS, or PW package .... 260°C
Storage temperature range, T_{stg} .... –65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES:
1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-}.
2. Differential voltages are at IN+ with respect to IN–.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or ±15 V, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or either power supply.
5. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
6. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
7. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JC}, and T_C. The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
8. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

recommended operating conditions

			MIN	MAX	UNIT
$V_{CC+} - V_{CC-}$	Supply voltage		3.5	30	V
V_I	Input voltage ($\lvert V_{CC\pm}\rvert \le 15$ V)		V_{CC-}+0.5	V_{CC+}–1.5	V
T_A	Operating free-air temperature range	LM111	–55	125	°C
		LM211	–40	85	
		LM211Q	–40	125	
		LM311	0	70	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC\pm} = \pm15$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		T_A†	LM111 LM211 LM211Q			LM311			UNIT
					MIN	TYP‡	MAX	MIN	TYP‡	MAX	
V_{IO}	Input offset voltage	See Note 6		25°C		0.7	3		2	7.5	mV
				Full range			4			10	
I_{IO}	Input offset current	See Note 6		25°C		4	10		6	50	nA
				Full range			20			70	
I_{IB}	Input bias current	V_O = 1 V to 14 V		25°C		75	100		100	250	nA
				Full range			150			300	
$I_{IL(S)}$	Low-level strobe current (see Note 7)	$V_{(strobe)}$ = 0.3 V,	V_{ID} ≤ –10 mV	25°C		–3			–3		mA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range			Full range	13 to –14.5	13.8 to –14.7		13 to –14.5	13.8 to –14.7		V
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V_O = 5 V to 35 V,	R_L = 1 kΩ	25°C	40	200		40	200		V/mV
I_{OH}	High-level (collector) output leakage current	$I_{(strobe)}$ = –3 mA, V_{ID} = 5 mV	V_{OH} = 35 V,	25°C		0.2	10				nA
				Full range			0.5				µA
		V_{ID} = 5 mV,	V_{OH} = 35 V	25°C					0.2	50	nA
V_{OL}	Low-level (collector-to-emitter) output voltage	I_{OL} = 50 mA	V_{ID} = –5 mV	25°C		0.75	1.5				V
			V_{ID} = –10 mV	25°C					0.75	1.5	
		V_{CC+} = 4.5 V, V_{CC-} = 0, I_{OL} = 8 mA	V_{ID} = –6 mV	Full range		0.23	0.4				
			V_{ID} = –10 mV	Full range					0.23	0.4	
I_{CC+}	Supply current from V_{CC+}, output low	V_{ID} = –10 mV,	No load	25°C		5.1	6		5.1	7.5	mA
I_{CC-}	Supply current from V_{CC-}, output high	V_{ID} = 10 mV,	No load	25°C		–4.1	–5		–4.1	–5	mA

† Unless otherwise noted, all characteristics are measured with BALANCE and BAL/STRB open and EMIT OUT grounded.
Full range for LM111 is –55°C to 125°C, for LM211 is –40°C to 85°C, for LM211Q is –40°C to 125°C, and for LM311 is 0°C to 70°C.
‡ All typical values are at T_A = 25°C.

NOTES: 9. The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the collector output up to 14 V or down to 1 V with a pullup resistor of 7.5 kΩ to V_{CC+}. These parameters actually define an error band and take into account the worst-case effects of voltage gain and input impedance.

10. The strobe should not be shorted to ground; it should be current driven at –3 mA to –5 mA (see Figures 13 and 27).

switching characteristics, $V_{CC\pm} = \pm15$ V, T_A = 25°C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

PARAMETER	TEST CONDITIONS			LM111 LM211 LM211Q LM311	UNIT
				TYP	
Response time, low-to-high-level output	R_C = 500 Ω to 5 V,	C_L = 5 pF,	See Note 8	115	ns
Response time, high-to-low-level output				165	ns

NOTE 11: The response time specified is for a 100-mV input step with 5-mV overdrive and is the interval between the input step function and the instant when the output crosses 1.4 V.

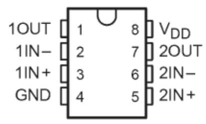
ภาคผนวก ฉ

TLC272, TLC272A, TLC272B, TLC272Y, TLC277
LinCMOS™ PRECISION DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

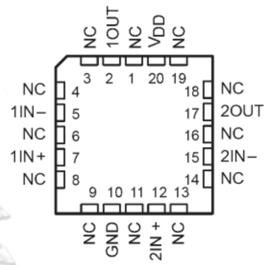
SLOS091B – OCTOBER 1987 – REVISED AUGUST 1994

- **Trimmed Offset Voltage:**
  TLC277 . . . 500 μV Max at 25°C, V_{DD} = 5 V
- **Input Offset Voltage Drift . . . Typically 0.1 μV/Month, Including the First 30 Days**
- **Wide Range of Supply Voltages Over Specified Temperature Range:**
  0°C to 70°C . . . 3 V to 16 V
  −40°C to 85°C . . . 4 V to 16 V
  −55°C to 125°C . . . 4 V to 16 V
- **Single-Supply Operation**
- **Common-Mode Input Voltage Range Extends Below the Negative Rail (C-Suffix, I-Suffix types)**
- **Low Noise . . . Typically 25 nV/$\sqrt{Hz}$ at f = 1 kHz**
- **Output Voltage Range Includes Negative Rail**
- **High Input impedance . . . 10^{12} Ω Typ**
- **ESD-Protection Circuitry**
- **Small-Outline Package Option Also Available in Tape and Reel**
- **Designed-in Latch-Up Immunity**

D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)

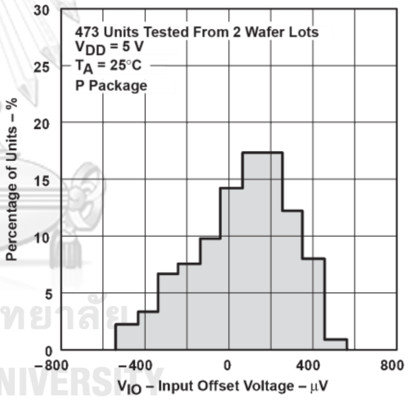


FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

DISTRIBUTION OF TLC277
INPUT OFFSET VOLTAGE



description

The TLC272 and TLC277 precision dual operational amplifiers combine a wide range of input offset voltage grades with low offset voltage drift, high input impedance, low noise, and speeds approaching that of general-purpose BiFET devices.

These devices use Texas instruments silicon-gate LinCMOS™ technology, which provides offset voltage stability far exceeding the stability available with conventional metal-gate processes.

The extremely high input impedance, low bias currents, and high slew rates make these cost-effective devices ideal for applications which have previously been reserved for BiFET and NFET products. Four offset voltage grades are available (C-suffix and I-suffix types), ranging from the low-cost TLC272 (10 mV) to the high-precision TLC277 (500 μV). These advantages, in combination with good common-mode rejection and supply voltage rejection, make these devices a good choice for new state-of-the-art designs as well as for upgrading existing designs.

LinCMOS is a trademark of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1994, Texas Instruments Incorporated

AVAILABLE OPTIONS

T_A	V_{IO}max AT 25°C	PACKAGED DEVICES					CHIP FORM (Y)
		SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP (PW)	
0°C to 70°c	500 μV 2 mV 5 mV 10mV	TLC277CD TLC272BCD TLC272ACD TLC272CD	— — — —	— — — —	TLC277CP TLC272BCP TLC272ACP TLC272CP	— — — TLC272CPW	— — — TLC272Y
−40°C to 85°C	500 μV 2 mV 5 mV 10 mV	TLC277ID TLC272BID TLC272AID TLC272ID	— — — —	— — — —	TLC277IP TLC272BIP TLC272AIP TLC272IP	— — — —	— — — —
−55°C to 125°C	500 μV 10 mV	TLC277MD TLC272MD	TLC277MFK TLC272MFK	TLC277MJG TLC272MJG	TLC277MP TLC272MP	— —	— —

The D package is available taped and reeled. Add R suffix to the device type (e.g., TLC277CDR).

description (continued)

In general, many features associated with bipolar technology are available on LinCMOS™ operational amplifiers without the power penalties of bipolar technology. General applications such as transducer interfacing, analog calculations, amplifier blocks, active filters, and signal buffering are easily designed with the TLC272 and TLC277. The devices also exhibit low voltage single-supply operation, making them ideally suited for remote and inaccessible battery-powered applications. The common-mode input voltage range includes the negative rail.

A wide range of packaging options is available, including small-outline and chip carrier versions for high-density system applications.

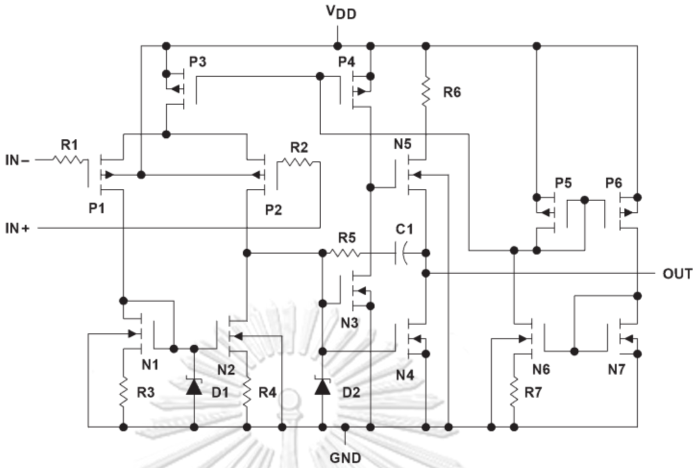
The device inputs and outputs are designed to withstand −100-mA surge currents without sustaining latch-up.

The TLC272 and TLC277 incorporate internal ESD-protection circuits that prevent functional failures at voltages up to 2000 V as tested under MIL-STD-883C, Method 3015.2; however, care should be exercised in handling these devices as exposure to ESD may result in the degradation of the device parametric performance.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from −40°C to 85°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of −55°C to 125°C.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

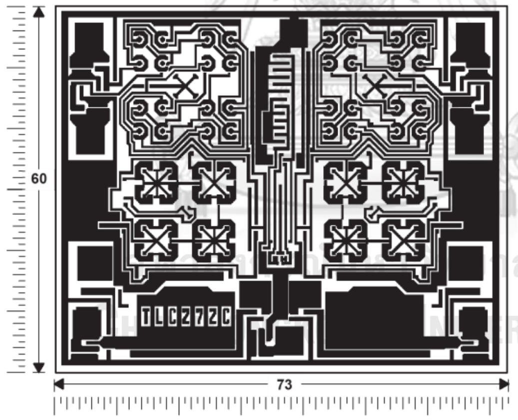
equivalent schematic (each amplifier)

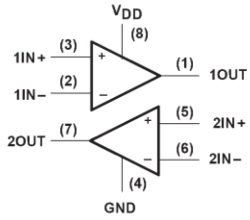


TLC272Y chip information

This chip, when properly assembled, displays characteristics similar to the TLC272C. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.

BONDING PAD ASSIGNMENTS





CHIP THICKNESS: 15 TYPICAL

BONDING PADS: 4 × 4 MINIMUM

$T_J$max = 150°C

TOLERANCES ARE ±10%.

ALL DIMENSIONS ARE IN MILS.

PIN (4) IS INTERNALLY CONNECTED TO BACKSIDE OF CHIP.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{DD} (see Note 1) . . . . . 18 V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2) . . . . . $\pm V_{DD}$
Input voltage range, V_I (any input) . . . . . −0.3 V to V_{DD}
Input current, I_I . . . . . ±5 mA
output current, I_O (each output) . . . . . ±30 mA
Total current into V_{DD} . . . . . 45 mA
Total current out of GND . . . . . 45 mA
Duration of short-circuit current at (or below) 25°C (see Note 3) . . . . . unlimited
Continuous total dissipation . . . . . See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature, T_A: C suffix . . . . . 0°C to 70°C
I suffix . . . . . −40°C to 85°C
M suffix . . . . . −55°C to 125°C
Storage temperature range . . . . . −65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package . . . . . 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, P, or PW package . . . . . 260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package . . . . . 300°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to network ground.
2. Differential voltages are at IN+ with respect to IN−.
3. The output may be shorted to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the maximum dissipation rating is not exceeded (see application section).

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \le 25°C$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25°C$	$T_A = 70°C$ POWER RATING	$T_A = 85°C$ POWER RATING	$T_A = 125°C$ POWER RATING
D	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	377 mW	N/A
FK	1375 mW	11 mW/°C	880 mW	715 mW	275 mW
JG	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	546 mW	210 mW
P	1000 mW	8.0 mW/°C	640 mW	520 mW	N/A
PW	525 mW	4.2 mW/°C	336 mW	N/A	N/A

recommended operating conditions

		C SUFFIX		I SUFFIX		M SUFFIX		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, V_{DD}		3	16	4	16	4	16	V
Common-mode input voltage, V_{IC}	V_{DD} = 5 V	−0.2	3.5	−0.2	3.5	0	3.5	V
	V_{DD} = 10 V	−0.2	8.5	−0.2	8.5	0	8.5	
Operating free-air temperature, T_A		0	70	−40	85	−55	125	°C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

electrical characteristics at specified free-air temperature, V_{DD} = 5 V (unless otherwise noted)

PARAMETER			TEST CONDITIONS		T_A†	TLC272C, TLC272AC, TLC272BC, TLC277C MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IO}	Input offset voltage	TLC272C	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		1.1	10	mV
					Full range			12	mV
		TLC272AC	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		0.9	5	mV
					Full range			6.5	mV
		TLC272BC	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		230	2000	μV
					Full range			3000	μV
		TLC277C	V_O = 1.4 V, R_S = 50 Ω,	V_{IC} = 0, R_L = 10 kΩ	25°C		200	500	μV
					Full range			1500	μV
α_{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage				25°C to 70°C		1.8		μV/°C
I_{IO}	Input offset current (see Note 4)		V_O = 2.5 V,	V_{IC} = 2.5 V	25°C		0.1		pA
					70°C		7	300	pA
I_{IB}	Input bias current (see Note 4)		V_O = 2.5 V,	V_{IC} = 2.5 V	25°C		0.6		pA
					70°C		40	600	pA
V_{ICR}	Common-mode input voltage range (see Note 5)				25°C	–0.2 to 4	–0.3 to 4.2		V
					Full range	–0.2 to 3.5			V
V_{OH}	High-level output voltage		V_{ID} = 100 mV,	R_L = 10 kΩ	25°C	3.2	3.8		V
					0°C	3	3.8		V
					70°C	3	3.8		V
V_{OL}	Low-level output voltage		V_{ID} = –100 mV,	I_{OL} = 0	25°C		0	50	mV
					0°C		0	50	mV
					70°C		0	50	mV
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification		V_O = 0.25 V to 2 V,	R_L = 10 kΩ	25°C	5	23		V/mV
					0°C	4	27		V/mV
					70°C	4	20		V/mV
CMRR	Common-mode rejection ratio		$V_{IC} = V_{ICR}min$		25°C	65	80		dB
					0°C	60	84		dB
					70°C	60	85		dB
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)		V_{DD} = 5 V to 10 V,	V_O = 1.4 V	25°C	65	95		dB
					0°C	60	94		dB
					70°C	60	96		dB
I_{DD}	Supply current (two amplifiers)		V_O = 2.5 V, No load	V_{IC} = 5 V,	25°C		1.4	3.2	mA
					0°C		1.6	3.6	mA
					70°C		1.2	2.6	mA

† Full range is 0°C to 70°C.

NOTES: 4. The typical values of input bias current and input offset current below 5 pA were determined mathematically.
5. This range also applies to each input individually.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ตะวัน กลิ่นผกา เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2515 จังหวัดอุดรธานี

สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2537

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศยาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544

เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University