ระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิคสำหรับรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าห้าล้อ

SAFETY SYSTEM IN FIVE WHEELS ELECTRIC WEHEELCHAIR WITH ULTRASONIC SENSOR

ธีรวัฒ จงเจริญ
THEERAWAT CHONGCHAROEN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-080-175

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิคสำหรับรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าห้าล้อ

SAFETY SYSTEM IN FIVE WHEELS ELECTRIC WEHEELCHAIR WITH ULTRASONIC SENSOR

T139429

ธีรวัต จงเจริญ
THEERAWAT CHONGCHAROEN

เลขหมู่..........
เลขทะเบียน 139429
วัน.เดือน.ปี - 3 พ.ย. 2558

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558
KMITL-2015-EN-M-080-175

SAFETY SYSTEM IN FIVE WHEELS ELECTRIC WHEELCHAIR WITH ULTRASONIC SENSOR

THEERAWAT CHONGCHAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2015

KMITL-2015-EN-M-080-175

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิกสำหรับรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าห้าล้อ
Thesis Title Safety System in Five Wheels Electric Wheelchair with Ultrasonic Sensor
นักศึกษา นายธีรวัต จงเจริญ
รหัสประจำตัว 53610918
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-080-175

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชนินทร์	บุญลักษณานุสรณ์	
ผศ.ดร.นนทวัฒน์	จุลเดชะ	
รศ.ดร.รัตติกร	วรากูลศิริพันธุ์	
ผศ.ดร.ดอน	อิศรากร	
ผศ.ดร.นพดล	มณีรัตน์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-401

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิคสำหรับรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าห้าล้อ
นักศึกษา	นายธีรวัต จงเจริญ
รหัสประจำตัว	53610918
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบควบคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นพดล มณีรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบรักษาความปลอดภัยของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อด้วยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค เพื่อระวังอันตรายที่เกิดจากการชนสิ่งกีดขวางและการตกจากทางต่างระดับ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้สามารถติดตั้งได้ง่ายและราคาถูก โดยทั่วไปรถเข็นไฟฟ้าเหล่านี้มักจะใช้ระบบอัลตร้าโซนิคในการหาวัตถุหรือมนุษย์ที่ขวางทางเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่เกิดจากการชนเป็นหลัก ซึ่งระบบที่ใช้หลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่เกิดจากการตกนั้นมักจะถูกละเลยและหายาก อย่างไรก็ตามรถเข็นไฟฟ้าควรที่จะต้องได้รับการพัฒนาให้ป้องกันอุบัติเหตุจากการตกด้วย เพราะเป็นอุบัติเหตุที่ถ้าเกิดขึ้นมักจะมีความเสียหายค่อนข้างร้ายแรงและมักจะเกิดขึ้นบ่อยเพราะผู้ป่วยที่นั่งบนรถเข็นมักมีระยะในการมองเห็นที่แคบ โดยอัลตร้าโซนิครอบตัวรถ จะคอยเก็บข้อมูลสองชนิดคือ ระดับความลึกของพื้นเทียบกับตัวเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค และระยะจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคถึงสิ่งกีดขวางที่อยู่ข้างหน้าและข้างหลัง ในส่วนของข้อมูลที่เกี่ยวกับระดับความลึกของพื้นนั้น จำเป็นต้องเก็บอย่างละเอียด เพราะรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อนั้นมีปริมาณล้อที่มากกว่ารถเข็นทั่วไป จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิครอบตัวรถสิบสามตัว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบป้องกันแบบใหม่ในรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ ซึ่งควบคุมการทำงานของจอยสติ๊กเพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางที่เสี่ยงจะเกิดอุบัติเหตุจากการตก โดยใช้บอร์ดควบคุมอาร์ดูโน่และข้อมูลความลึกของพื้นจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิครอบตัวรถ

Thesis	Safety System in Five Wheels Electric Wheelchair with Ultrasonic Sensor
Student	Mr.Theerawat Chongcharoen
Student ID.	53610918
Degree	Master of Engineering
Program	Control Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Noppadol Maneerat

ABSTRACT

This thesis presents the safety system in five wheels electric stand-up wheelchair with ultrasonic sensor. The system is developed to avoid the accident from falling or crashing and hardware is easy to install and cheap. Because the safety system which avoids accident from falling is scarcely to founded. However, the safety performance must be further improved because the accident from falling is often severe and dangerous for user who has narrow sight. The 13 ultrasonic sensors which are installed surround of the wheelchair will detect obstruction and hole. This thesis proposes a new safety system in five wheels electric wheelchair that controls the operation of joystick to avoid the severe accident from falling and crashing using Arduino controller board and distance data from ultrasonic sensors.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำการแก้ปัญหาและการกำกับดูแลอย่างต่อเนื่องรวมทั้งคำแนะนำในระหว่างการศึกษาปริญญาโทตลอดจนให้ความรู้ประสบการณ์และความคิดริเริ่มในการศึกษาและทำวิจัยที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หัวหน้าโครงการ “การออกแบบและพัฒนารถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้” (Design and Development of an Electric Stand-up Wheelchair) ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะแนวทางการออกแบบและทดลองจนประสบผลสำเร็จ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้ออกแบบสร้างและพัฒนาโครงการ “การออกแบบและพัฒนารถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้”ที่ได้ให้ข้อมูลรายละเอียดสำคัญเกี่ยวกับระบบของรถเข็น อีกทั้งยังให้คำปรึกษาและคำชี้แนะแนวทางการออกแบบและทดลองจนประสบผลสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. เกษมสุข เสพศิริสุข อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (วิทยาเขตชุมพร) ผู้ร่วมโครงการ “การออกแบบและพัฒนารถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้” ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะการออกแบบทดลองจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาและความมีพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องนักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ได้คอยช่วยเหลือในการทดลองวิจัย แนะแนวทาง รวมถึงให้คำปรึกษาในเรื่องอุปกรณ์ที่เหมาะกับการทดลองต่างๆ และให้กำลังใจในการการวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ความรู้ความสามารถ ประสบการณ์และโอกาสต่างๆ นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และญาติทุกท่านซึ่งคอยให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ทั้งด้านทุน ความห่วงใย และกำลังใจเสมอมา

ธีรวัต จงเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VIII
สารบัญตาราง.....XI
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 กล่าวนำ.....4
2.2 คลื่นเสียง.....4
2.2.1 การสะท้อนของเสียง.....6
2.2.2 คลื่นอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic).....7
2.3 สัญญาณ.....7
2.3.1 สัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลาและสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา.....8
2.3.2 สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล.....9
2.3.2.1 สัญญาณไบนารี.....10
2.3.2.2 สัญญาณหลายระดับ.....10
2.3.3 สัญญาณคาบและสัญญาณไม่เป็นคาบ.....11
2.3.4 ระบบพัลส์มอดูเลชัน.....12
2.3.4.1 พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน.....14
2.4 หลักการวัดเบื้องต้น.....15
2.4.1 ความหมายของการวัด (Measurement of Meaning).....15
2.4.2 รูปแบบการวัด.....16
2.4.3 คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องมือวัด (Basic Characteristics of Measuring Device).....17
2.4.4 คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม.....17
2.4.4.1 ย่านวัด (Range).....17
2.4.4.2 สแปน (Span).....17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.4.3 ความแม่นยำ (Accuracy)....17
2.4.4.4 ความเที่ยงตรง (Precision)....18
2.4.4.5 ความคลาดเคลื่อน (Errors)....19
2.4.4.6 ความสามารถซ้ำค่าเดิม (Repeatability)....22
2.5 พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Proximity)....22
2.5.1 โครงสร้างของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค....23
2.5.2 ระยะการเซนเซอร์และระยะที่เหมาะสมต่อการใช้งาน (Sensing Range and-Effective Beam)....24
2.5.2.1 ระยะใกล้สุดของการเซนเซอร์ (Minimum Sensing Distance)....25
2.5.2.2 ระยะห่างสูงสุดของเซนเซอร์ (Maximum Sensing Distance)....25
2.5.3 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ (Spacing Consideration)....25
2.5.4 ตำแหน่งที่เหมาะสมของเป้าหมาย (Target Consideration)....26
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง....29
3.1 กล่าวนำ....29
3.2 เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Ranging Module HC-SR04)....29
3.2.1 หลักการพื้นฐานในการทำงาน....29
3.2.2 การเชื่อมต่อเพื่อใช้งาน....30
3.3 บอร์ดอัลดูโน่ เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560)....31
3.3.1 ลักษณะของบอร์ด Arduino Mega 2560....31
3.3.2 แหล่งพลังงาน....32
3.4 แผ่นลดเสียงสะท้อน (Acoustic Sponge Foam)....32
3.4.1 คุณลักษณะโดยสังเขป....32
3.5 รถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ (STANDY)....33
3.5.1 อุปกรณ์ในระบบของรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้....34
3.6 BLDC Motor HUB Model: PW-12H Wheelchair Hub Motor(brush/gear)....35
3.6.1 สิ่งจำเป็นสำหรับการใช้ BLDC Motor HUB Model: PW-12H....35
3.6.2 คุณสมบัติของ BLDC Motor HUB Model: PW-12H 35
3.7 Brushless Wheelchair Joystick Controller....36
3.7.1 สิ่งที่จำเป็นต่อการใช้จอยสติ๊กและไมโครคอนโทรลเลอร์ IM-50B....36
3.7.2 คุณสมบัติของจอยสติ๊กและไมโครคอนโทรลเลอร์ IM-50B....36
3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....37
3.9 บทสรุป 38
บทที่ 4 การออกแบบและหลักการทำงาน....40
4.1 กล่าวนำ....40
4.2 การออกแบบการวางตำแหน่งของอัลตร้าโซนิคบนรถเข็น....40
4.2.1 ส่วนสำหรับตรวจหาทางต่างระดับ....40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ส่วนสำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวาง....41
4.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่ออกแบบ....42
4.4 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับการทดสอบการทำงานในรถเข็นจำลอง....42
4.4.1 ตำแหน่งของอัลตร้าโซนิคในรถเข็นจำลอง....44
4.4.2 การเชื่อมต่อระหว่าง Arduino Mega 2560 กับเซนเซอร์ HC-SR04....44
4.4.3 รีโมทควบคุม....46
4.4.4 การทำงานร่วมกันของจอยสติ๊ก....47
4.4.4.1 วงจรของจอยสติ๊ก....48
4.4.4.2 วงจรรีเลย์....48
4.4.5 การใช้แผ่นลดเสียงสะท้อน Acoustic Sponge Foam....49
4.4.6 รถจำลองที่ใช้ทดลอง....50
4.4.7 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของระบบ....50
4.5 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับเชื่อมต่อกับรถเข็นจริง....51
4.6 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ....52
4.6.1 การติดตั้งเซนเซอร์เพื่อใช้งาน....52
4.6.2 การเชื่อมต่อกล่องควบคุมกับอุปกรณ์ต่างๆ....53
4.7 จอยสติ๊กบนรถเข็นและการจัดการ....54
4.7.1 ขาสำหรับการเชื่อมต่อเพื่อทำงานของจอยสติ๊ก....54
4.7.2 สัญญาณที่ส่งออกมาจากขาสัญญาณของจอยสติ๊ก....55
4.7.3 แผนการจัดการกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากจอยสติ๊กในสถานการณ์ต่างๆ...57
4.8 บทสรุป....58
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง....59
5.1 กล่าวนำ....59
5.2 บันทึกผลวัดระยะหาความเที่ยงตรงแม่นยำ....59
5.2.1 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค...59
5.3 เปรียบเทียบมีกับไม่มีแผ่นลดเสียงสะท้อน....61
5.4 การทดสอบการทำงานประสานงานกันทั้งระบบ....62
5.5 การตรวจสอบการส่งสัญญาณของจอยสติ๊กของรถเข็นไฟฟ้า....64
5.6 การทดสอบทำการแทรกแซงสัญญาณระหว่างจอยสติ๊กกับตัวควบคุมมอเตอร์....67
5.7 สรุป....77
บทที่ 6 สรุปและงานในอนาคต....78
6.1 บทนำ....78
6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....78
6.3 สรุปผล....78
6.4 ข้อเสนอแนะ....78
เอกสารอ้างอิง....80

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....82
ภาคผนวก ก.....83
ภาคผนวก ข.....95
ภาคผนวก ค.....113
ประวัติผู้เขียน.....120

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและความดันของคลื่น........5
2.2 รูปเปรียบเทียบระหว่างกราฟความดันกับภาพความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศ........5
2.3 วงจรไฟฟ้าแบบ RL และกราฟของกระแสเทียบกับเวลา........8
2.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องทางเวลา........9
2.5 ตัวอย่างสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอลแบบต่างๆ........9
2.6 ลักษณะของสัญญาณไบนารีและสัญญาณหลายระดับ........10
2.7 ลักษณะของสัญญาณคาบแบบต่างๆ........11
2.8 การแบ่งระบบของระบบพัลส์มอดูเลชัน........12
2.9 พัลส์มอดูเลชันระบบต่างๆ........13
2.10 หลักการของ PWM มอดูเลชันและดีมอดูเลชัน........14
2.11 บล็อกไดอะแกรมของการวัด........16
2.12 การเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างระหว่างความแม่นยำและความเที่ยงตรง........19
2.13 การสะท้อนกลับของคลื่นจากวัสดุที่เป็นของแข็งและของเหลว........23
2.14 ส่วนประกอบของ Ultrasonic Proximity Sensor}........24
2.15 ระยะในการเซนเซอร์ของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค........24
2.16 ระยะห่างสูงสุดในการเซนเซอร์ของวัสดุแต่ละชนิด........25
2.17 ระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค........26
2.18 ระยะห่างมาตรฐานของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค........26
2.19 ตำแหน่งการวางวัสดุกับพื้นผิวเรียบอย่างเหมาะสม........27
2.20 การเซนเซอร์วัสดุที่ไม่มีความสม่ำเสมอ........27
2.21 ลักษณะการเซนเซอร์วัสดุที่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ........28
2.22 การประยุกต์ใช้ในงานเซนเซอร์ความหนาของวัสดุ........28
2.23 การประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบจำนวนวัสดุ........28
3.1 โมดูลเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04........29
3.2 การรับและส่งของโมดูล HC-SR04........30
3.3 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อโมดูล HC-SR04 1 ตัว กับบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560......30
3.4 บอร์ด Arduino Mega 2560 R3........31
3.5 แผ่นลดเสียงสะท้อน Acoustic sponge foam........33
3.6 ภาพถ่ายรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ STANDY........33
3.7 แผนผังภาพรวมของระบบภายในรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้........34
3.8 BLDC Motor HUB Model: PW-12H Wheelchair Hub Motor(brush/gear)........35
3.9 จอยสติ๊กและคอนโทรลเลอร์รถเข็นผู้ป่วย IM-50B........36
3.10 แสดงจอยสติ๊กและคอนโทรลเลอร์ IM-50B กับ BLDC Motor HUB Model: PW-12H.......37
4.1 การวางเซนเซอร์สำหรับตรวจหาทางต่างระดับรอบตัวรถ........41
4.2 การวางเซนเซอร์สำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของรถ........41

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบที่ออกแบบ....42
4.4 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในรถเข็นจำลอง....42
4.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ....43
4.6 แผนภาพการวางตำแหน่งของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค 11 จุด รอบตัวรถในรถจำลอง....44
4.7 ขาต่างๆ ของเซนเซอร์ HC-SR04 และการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino....45
4.8 ขาของบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 กับเซนเซอร์ HC-SR04 ทั้ง 11 ตัว....45
4.9 รีโมทสำหรับควบคุมระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิค....46
4.10 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในของรีโมทควบคุมระบบ....42
4.11 แผนผังการเชื่อมต่อของรถเข็นจำลอง....48
4.12 จอยสติ๊กของรถเข็นจำลองและวงจรภายใน....48
4.13 วงจรรีเลย์สำหรับรับสัญญาณจากบอร์ดควบคุมและสำหรับควบคุมจอยสติ๊ก....49
4.14 การติดตั้งแผ่นลดเสียงสะท้อน....49
4.15 รถจำลองสำหรับทดสอบระบบ....50
4.16 วงจรแอลอีดีเพื่อบอกทิศทางที่รถไม่สามารถวิ่งไปได้....50
4.17 แสดงขั้นตอนการทำงานในช่วงเริ่มต้นของระบบ....51
4.18 ตำแหน่งการแทรกแซงของระบบรักษาความปลอดภัย....52
4.19 แผนผังการวางเซนเซอร์ในรถเข็นไฟฟ้าที่จะใช้จริงและการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม....52
4.20 แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดควบคุมกับอุปกรณ์ต่างๆ....53
4.21 จอยสติ๊กชนิดฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ IM-50B....54
4.22 แผนผังการวางขาของจอยสติ๊กชนิดฮอลล์เซนเซอร์....54
4.23 ตัวอย่างสัญญาณที่ออกมาจากขา A ของจอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์....55
4.24 สัญญาณจากขา A ในขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าและด้านหลัง....55
5.1 การทดสอบเพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04....59
5.2 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ (น้ำเงิน) กับค่าจริง (แดง)....60
5.3 กราฟผลการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ในแต่ละระยะ....60
5.4 รถจำลองเมื่อไม่ติดแผ่นลดเสียงสะท้อน....61
5.5 ภาพจำลองการแทรกสอดของคลื่นอัลตร้าโซนิคใต้รถ....61
5.6 การเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแผ่นลดเสียงและแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อน....62
5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ระหว่างแบบไม่มีแผ่นลดเสียงและแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อน...62
5.8 สัญญาณจากขา A ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก 64
5.9 สัญญาณจากขา A ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง....64
5.10 สัญญาณจากขา C ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก....65
5.11 สัญญาณจากขา C ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง....65
5.12 สัญญาณจากขา B ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก....65
5.13 สัญญาณจากขา B ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง....66
5.14 สัญญาณจากขา D ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก....66

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

5.15 สัญญาณจากขา B ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง....................................66
5.16 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะไม่มีการควบคุมและไม่มีอุปสรรคใดๆ..68
5.17 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าและไม่มีอุปสรรคใดๆ...69
5.18 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังไม่มีอุปสรรคใดๆ..69
5.19 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ในระยะ 30 > X > 15 72
5.20 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ในระยะ X < 15 72
5.21 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหลังห่างเซนเซอร์ 12 ในระยะ 30 > X > 15 73
5.22 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหลังห่างเซนเซอร์ 12 ในระยะ X < 15 73
5.23 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านซ้ายในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อพบทางต่างระดับเกิน 3 เซนติเมตรที่เซนเซอร์ 5..76
5.24 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านขวาในสถานการณ์ปกติ กับเมื่อพบทางต่างระดับเกิน 3 เซนติเมตรที่เซนเซอร์ 6 (ด้านขวา).......................................76
5.25 เปรียบเทียบค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กและสัญญาณหลังผ่านวงจรกรองสัญญาณ..................77

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าต่างๆที่จำเป็นในการใช้งานโมดูล HC-SR04 2.2 อุปกรณ์และลักษณะของ............................31
3.2 อุปกรณ์และลักษณะของ บอร์ด Arduino Mega 2560 โดยสังเขป..32
3.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของ BLDC Motor HUB Model: PW-12H..36
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคตรวจพบหลุม กับทิศทางของ
จอยสติ๊กที่ถูกจำกัด...44
4.2 สถานะขาของ Arduino Mega 2560 ในการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ HC-SR04 11 ตัว................46
4.3 ค่าสัญญาณที่ส่งออกมาจากขาสัญญาณของจอยสติ๊ก...55
4.4 ลักษณะสัญญาณที่ออกมาจากจอยสติ๊กของรถเข็น..56
4.5 การแปลงค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กไปตัวควบคุมมอเตอร์ MCU ในสถานการณ์ต่างๆ
กรณีโยกคันโยกจนสุด กรณีพบสิ่งกีดขวาง...58
4.6 การแปลงค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กก่อนไปตัวควบคุมมอเตอร์ MCU ในสถานการณ์ต่างๆ
กรณีโยกคันโยกจนสุด กรณีพบทางต่างระดับ..58
5.1 การเคลื่อนไหวของรถจำลองและการสว่างของแอลอีดี 4 ดวง...63
5.2 ค่าสัญญาณจากขาของจอยสติ๊กเมื่ออยู่ในสถานะต่างๆ...64
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณอนาล็อกและค่าสัญญาณดิจิตอล ซึ่งแปรผันตรง
กับแรงดันที่ส่งมาจากจอยสติ๊กในขณะที่ไม่มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ...................................67
5.4 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันขาเข้าจากจอยสติ๊กและแรงดันขาออกของบอร์ดควบคุม
ในขณะที่ไม่มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ...68
5.5 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบสิ่งกีดขวาง
ที่ระยะต่างๆ...70
5.6 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบทางต่าง
ระดับที่ตำแหน่งต่างๆ..74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีรถเข็นผู้ป่วยได้ให้กำเนิดรถเข็นไฟฟ้า ซึ่งตัวรถเข็นสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ได้โดยการบังคับผ่านจอยสติ๊ก ทำให้ผู้ป่วยที่ต้องนั่งอยู่บนรถเกือบตลอดเวลาสามารถที่จะเคลื่อนย้ายเปลี่ยนตำแหน่งรถได้ด้วยตัวเอง อุบัติเหตุที่เกิดจากความจำกัดด้านทัศนวิสัยของผู้ป่วยเองจึงมีโอกาสที่จะเกิดได้ค่อนข้างสูง

ระบบรักษาความปลอดภัยด้วยตนเองในรถเข็นจึงเกิดขึ้น โดยออกแบบให้สามารถจำกัดความเร็วหรือทิศทางการเคลื่อนที่ของรถเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขว้างหรืออุปสรรคที่เป็นอันตรายต่างๆ เช่นกำแพง เสา หลุม หรือทางต่างระดับต่างๆ เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับอุปสรรคเหล่านั้นมีหลายชนิดและประเภท เช่นเซนเซอร์อินฟราเรด เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค ระบบอิมเมจโปรเซสซิ่ง เป็นต้น ซึ่งระบบที่เป็นที่นิยมเนื่องจากได้รับการรบกวนจากสภาพแสงหรืออากาศน้อย อีกทั้งยังมีราคาที่ถูกและมีประสิทธิภาพ คือระบบที่ใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค

เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคได้มีการใช้อย่างหลากหลายในการป้องกันและนำพารถเข็นผู้ป่วยไปยังจุดหมายได้อย่างปลอดภัย เช่นการติดตั้งไว้หน้าและหลังรถเข็นเพื่อตรวจสอบสิ่งกีดขว้าง [6] การติดตั้งไว้สองข้างเพื่อการคำนวณทิศทางของประตู [2] การติดตั้งบนเพดานและตัวรถเพื่อใช้ในการบอกผู้ใช้ให้ถึงจุดหมาย [9] เป็นต้น แต่ที่ผ่านมาแทบจะไม่มีวิธีการไหนที่ให้ความสำคัญกับการตรวจหาทางต่างระดับหรือหลุมในเส้นทางเลย ซึ่งอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการตกหรือล้มนั้นก่อให้เกิดอันตรายที่รุนแรงกว่ามาก ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างและปรับปรุงให้มีระบบรักษาความปลอดภัย ที่สามารถระวังภัยที่เกิดจากการตกจากทางต่างระดับที่ดีและราคาถูกสำหรับรถเข็นไฟฟ้า

1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความรู้ด้านการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคกับรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ
2. เพื่อออกแบบระบบจำกัดและควบคุมทิศทางของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อจากอันตรายที่จะเกิดจากทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางบางชนิด โดยระบบต้องมีประสิทธิภาพและราคาถูก
3. เพื่อทดสอบผลการทำงานของอัลตร้าโซนิคในแบบจำลองรถเข็นก่อนนำไปใช้กับรถเข็นจริง
4. เพื่อศึกษาและทดสอบการแทรกแซงการทำงานระหว่างจอยสติ๊กและระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยระบบรักษาความปลอดภัยที่พัฒนาขึ้น
5. เพื่อพัฒนาระบบให้สามารถนำไปใช้งานกับรถเข็นจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ระบบในงานวิจัยจะใช้ความสามารถของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่โดยรอบของตัวรถเข็น โดยระบบจะมีการจำกัดการเคลื่อนที่ของตัวรถในบางทิศทาง ทำให้เซนเซอร์จำเป็นจะต้องอยู่ในระยะที่เกี่ยวข้องกับทิศทางที่เป็นไปได้ของล้อรถเข็นแต่ละล้อ

2. ระบบที่สร้างจะต้องอยู่กึ่งกลางระหว่างจอยสติ๊กและส่วนควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เพื่อดัดแปลงและควบคุมสัญญาณที่จอยสติ๊กส่งมาก่อนจะถึงส่วนควบคุมมอเตอร์ของรถ

3. การออกแบบการติดตั้งเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคจำเป็นต้องคำนึงถึงความคล่องตัวรถเข็นผู้ป่วย

4. ออกแบบโดยใช้บอร์ดคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 และเซนเซอร์อัลตร้าโซนิครุ่น HC-SR04 เป็นหลัก

5. เหตุที่เลือกใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 แทนเซนเซอร์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นเซนเซอร์ที่มีราคาถูก ในการใช้งานร่วมกับเซนเซอร์ชนิดอื่นมักจะเป็นเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางอยู่เสมอ เช่นในหุ่นยนต์บริการสั่งการด้วยภาษามือ [18] เป็นต้น มีช่วงการวัดที่เหมาะสมคือ 5 เซนติเมตรถึง 400 เซนติเมตร และได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อย เมื่อเทียบกับเซนเซอร์ตรวจจับชนิดอื่นๆ เช่นเซนเซอร์แสงอินฟราเรดในท้องตลาด GP2D150A [17] ซึ่งมีระยะในการตรวจจับคือ 4 เซนติเมตร ถึง 30 เซนติเมตร ใช้กระแสถึง 33 มิลลิแอมป์ เซนเซอร์มีความไวต่อแสงจากสิ่งแวดล้อมที่จ้าเกินไป เช่น แสงอาทิตย์ แสงไฟรถยนต์ มีความเปราะบางเสียหายได้ง่าย อีกทั้งไม่สามารถวัดระยะห่างเมื่อเป็นพื้นกระจก เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงเลือกเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและเข้ากับสภาพแวดล้อมได้หลากหลายกว่า

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาลักษณะการวางตำแหน่งของล้อรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ เพื่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งการวางเซนเซอร์ที่ครอบคลุมทุกความเป็นไปได้ของการเคลื่อนที่ของรถเข็น และใช้จำนวนของเซนเซอร์ให้น้อยที่สุดแต่มีประสิทธิภาพ

2. ศึกษารูปแบบการทำงานของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 และความสามารถในการสะท้อนกับสภาพพื้นผิวต่างๆ

3. ออกแบบขั้นตอนวิธีการตรวจจับทางต่างระดับในทิศทางต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มากำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของรถที่จะสามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้

4. ศึกษาการรบกวนมีอาจจะเกิดขึ้นจากการทดลอง เช่นการแทรกสอดกันเองระหว่างเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค และหาวิธีแก้ไข

5. ออกแบบการทดลองระบบที่พัฒนาขึ้น และนำไปใช้กับแบบจำลองตำแหน่งล้อของรถเข็น

6. วิเคราะห์ผลที่ได้

7. ศึกษาสัญญาณที่จอยสติ๊กส่งมาให้กับส่วนควบคุมมอเตอร์

8. ออกแบบโปรแกรมในการรับและแปลงสัญญาณ จาก A/D และ D/A เพื่อให้เข้ากับการทำงานของรถเข็น

9. นำระบบที่ได้ไปติดตั้งในรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ

10. วิเคราะห์ผลที่ได้

11. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบป้องกันระวังภัยที่เกิดจากการตกด้วยอัลตร้าโซนิค สามารถนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากการตกได้

2. ช่วยลดภาระของผู้ดูแลที่จะต้องคอยระวังอันตรายที่เกิดจากทางต่างระดับหรือการชนได้

3. เพื่อสร้างระบบที่สามารถระวังภัยที่เกิดจากการตกที่มีราคาไม่แพงได้
4. เพื่อเป็นต้นแบบในการสร้างระบบระวังภัยที่เกิดจากการตกสำหรับรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ

1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 บทนำจะกล่าวถึงความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบที่ใช้อัลตร้าโซนิค และไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino ความรู้ในเรื่องการวัด ค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัด เครื่องมือการวัดในอุตสาหกรรมบางชนิดเช่นพร๊อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค ความรู้เกี่ยวกับรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ “Standy” แนวคิดการประยุกต์ใช้อัลตร้าโซนิคกับรถเข็นไฟฟ้าอื่นๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา กล่าวถึงหลักการโดยรวมของโปรแกรม ตั้งแต่การทดสอบความสามารถในการวัด ตำแหน่งในการติดตั้ง การแก้ปัญหาเมื่อเกิดการรบกวนกันและกันของคลื่นการออกแบบการทดลองเกี่ยวกับการวัดค่าสัญญาณจากจอยสติ๊ก การเลียนสัญญาณเพื่อจะส่งต่อไปยังส่วนควบคุมมอเตอร์ และการนำไปเชื่อมต่อกับระบบของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อ

บทที่ 4 การทดลองและสรุปผลการทดลอง กล่าวถึงการทดสอบเซนเซอร์และระบบที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 และผลการทดสอบ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงสรุปของการวิจัย ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ของงานวิจัย รวมถึงแนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในการจะสร้างระบบที่สามารถรักษาความปลอดภัยให้กับรถเข็นนั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาความรู้ต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกระบบที่ทำงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคเพราะเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งสูง มีความต้านทานต่อการรบกวนที่มาจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างได้ดี อีกทั้งราคาถูก รถเข็นที่ใช้ร่วมวิจัยครั้งนี้เป็นรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อที่ทางคณาจารย์กลุ่มหนึ่งของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการวิจัยและสร้างขึ้น การจะทำให้ระบบรักษาความปลอดภัยที่ทำการวิจัยอยู่นั้นเชื่อมต่อและใช้งานร่วมกับรถเข็นได้จำเป็นจะต้องรู้ถึงโครงสร้างและหลักการในการสร้างรถเข็นไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยการใช้ทฤษฎีต่างๆ

2.2 คลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาว ซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง การเคลื่อนที่ของเสียงจากแหล่งกำเนิดต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นไปยังที่ต่างๆ ซึ่งเสียงมีคุณสมบัติที่สำคัญคือการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบนและการแทรกสอด

คลื่นเสียงเป็นคลื่นความดัน ความดันนี้จะมีค่ามากหรือน้อยกว่าความดันปกติ (ความดันเกจ) เมื่อคลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศจะทำให้อากาศมีความดันเปลี่ยนแปลงไป โมเลกุลของอากาศรวมกันและมีผลต่อโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลอากาศสั่นไปมาพร้อมกับถ่ายโอนพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นๆ อย่างต่อเนื่องและกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม

ขณะที่คลื่นเสียงแผ่ไปในอากาศจะเกิดบริเวณที่มีการอัด (Compression) ซึ่งมีความหนาแน่นมาก และการขยายตัว (Expansion) ซึ่งมีความหนาแน่นน้อย โมเลกุลอากาศสลับกันอย่างกลมกลืนและมีระเบียบตามทิศทางการแผ่ของคลื่นเสียงดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค่าความดันปกติ (ความดันเกจ) โดยค่าความดันปกติของอากาศเป็น 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ถ้าได้รับคลื่นเสียงที่มีแอมพลิจูด 300 นิวตันต่อตารางเมตร จะทำให้อากาศมีความดัน 1.016×10^5 นิวตันต่อตารางเมตรที่ส่วนอัด และมีความดัน 1.010×10^5 นิวตันต่อตารางเมตรที่ส่วนขยาย

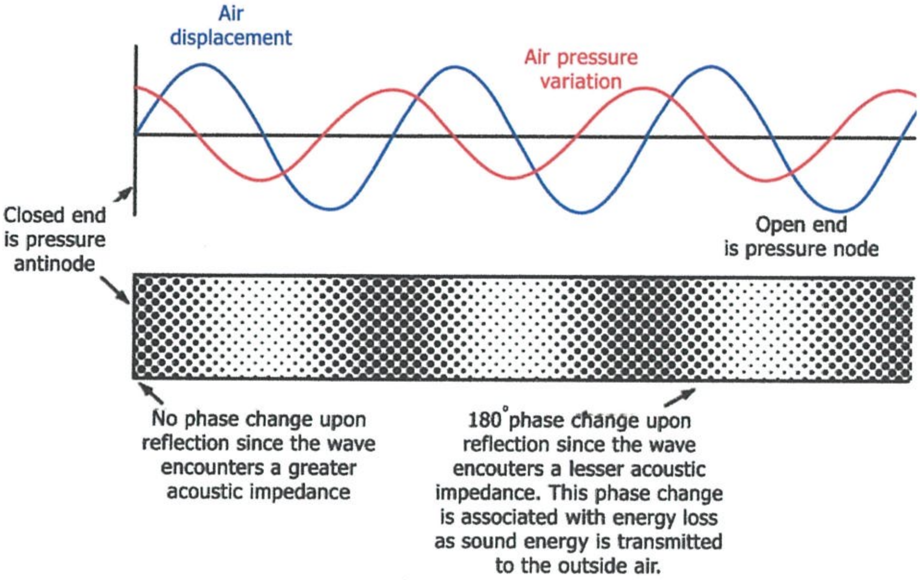
ความดันของอากาศในสภาพปกติ (ไม่มีเสียง) อากาศจะมีความดันเท่าความดันบรรยากาศปกติ อากาศมีความหนาแน่นขนาดหนึ่ง ในคลื่นเสียงที่มีความหนาแน่นสูงและต่ำ ทำให้ตัวกลางมีความดันสูงและต่ำตามไปด้วย คลื่นเสียงจะมีความดันอยู่ดังสมการที่ 2.1

$$P_0 = P_a \sin(\omega t + \phi) \qquad (2.1)$$

P_0 คือความดันคงที่ของอากาศปกติ

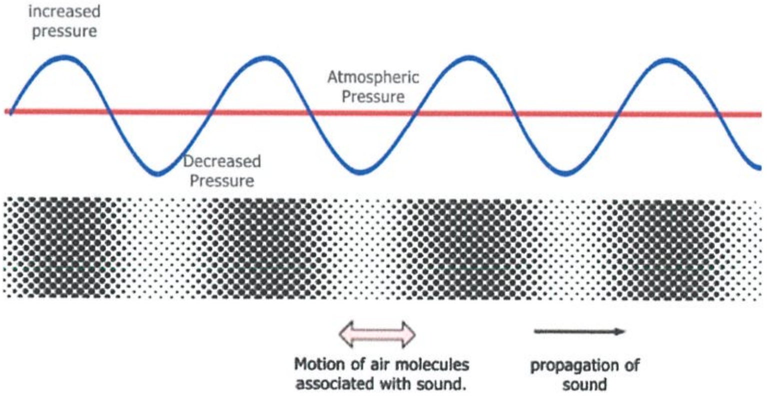
P_a คือแอมพลิจูดทางความดัน (pressure amplitude) ของคลื่นเสียง $\approx 28\ N/m^2$

ϕ คือค่าคงที่ทางเฟส ซึ่งขึ้นกับการเริ่มพิจารณาที่เวลาใด



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและความดันของคลื่น

คลื่นของการกระจัดและคลื่นของความดันมีเฟสต่างกัน 90° หรือ π /2 เรเดียน นั่นคือแอมพลิจูดการกระจัดจะเป็นบัพความดัน บัพการกระจัดจะเป็นแอมพลิจูดความดันดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 รูปเปรียบเทียบระหว่างกราฟความดันกับความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศ

มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 20 – 20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่าอินฟราโซนิค (Infrasonic) คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เรียกว่าอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic)

อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆ จะแตกต่างกัน โดยอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางที่มีสถานะของแข็งจะมีอัตราเร็วที่สุด รองลงมาคือของเหลวและก๊าซ ตามลำดับ อัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศก็คืออัตราเร็วของคลื่นเสียงในก๊าซ จะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยแปรผันตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ $v \propto \sqrt{T}$ นั่นคือ

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \tag{2.2}$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ (m/s)

T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

R คือ ค่านิจของกาซ =เคลวิน-จูลต่อโมล 8.314

M คือ มวลโมเลกุลของก๊าซ

γ คือค่าคงตัวที่เป็นอัตราส่วนของความจุความร้อนที่ความดันคงตัวต่อความจุ ความร้อนที่ ปริมาตรคงตัวของก๊าซ = 1.40

หรือโดยประมาณในอุณหภูมิองศาเซลเซียส เท่ากับ $V_t = 331 + 0.6\ t$

2.2.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงกำลังเคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางไปตกกระทบกับตัวกลางเช่นผนัง มีเพียงส่วนน้อยที่จะผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้น แต่ส่วนใหญ่จะเกิดคลื่นเสียงสะท้อนออกมาโดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เสียงที่สะท้อนกลับมานี้เรียกว่าเสียงก้อง (Echo) การสะท้อนของเสียงจะเกิดขึ้นได้เมื่อวัตถุที่สะท้อนมีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับความยาวของคลื่นเสียง ถ้าคลื่นเสียงชนกับตัวกลางที่อยู่กับที่ดังเช่นฝุ่นละอองที่ลอยอยู่อย่างหลวมๆ คลื่นเสียงจะถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมด การสะท้อนจะมีเล็กน้อย สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเสียงของวัสดุหาได้จากสมการ [16]

$$d = \frac{\text{sound energy absorbed}}{\text{sound energy incident upon surface}} \tag{2.3}$$

สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (d) จะขึ้นอยู่กับความถี่และคุณสมบัติของตัวกลาง เช่นพื้นผิว (เป็นรูโพรง) ความหนาและความแข็งของวัสดุ การสะท้อนของเสียงมีลักษณะเหมือนกับการสะท้อนของแสง

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน (2.4)

การวัดเสียงสะท้อนจะเกี่ยวข้องกับความเข้มของเสียงและระดับความดันของเสียง ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มและระดับความดันเฉลี่ยของเสียงที่ได้ยินเบาที่สุดที่ความถี่ 1000 Hz ทั้งความเข้มของเสียงและระดับความดังของเสียงจะถูกวัดในรูปของเดซิเบลล์ (dB) ตามสมการที่ 2.5 และ 2.6

$$\beta = 10\log_{10}\frac{I}{I_0} \tag{2.5}$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10\log_{10}\frac{P}{P_0} \tag{2.6}$$

เมื่อ β = ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบลล์

I = ความเข้มของเสียงที่วัดได้ มีหน่วยเป็น W/cm^2

I_0 = ความเข้มของเสียงอ้างอิงที่มนุษย์เริ่มได้ยิน 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร

β_2 = ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบลล์

β_1 = ระดับความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบลล์

P = ความดันของเสียงที่วัดได้ มีหน่วยเป็น dynes/cm^2

P_0 = ค่าความดันเสียงอ้างอิง มีค่า 2X10^{-4} dynes/cm^2

2.2.2 คลื่นอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic)

อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์ได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงความถี่สูงถึงประมาณ 15 KHz แต่เด็กๆ อาจได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตร้าโซนิคจึงมักหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป และไม่ได้ระบุความถี่สูงสุดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำคลื่นอัลตร้าโซนิคมาใช้ในการคำนวณหาระยะทาง เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งและส่งคลื่นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง คุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่งคือเมื่อคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดของแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจาย แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นอยู่ในย่านของอัลตร้าโซนิค เช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศประมาณ 8 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้เล็กกว่าปากของแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้ไม่มีการเลี้ยวเบนและพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เรียกว่า มีทิศทาง

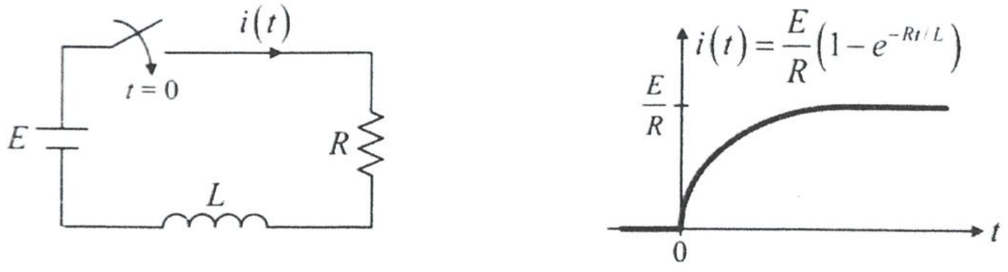
การมีทิศทางของคลื่นย่านอัลตร้าโซนิคทำให้นำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่นเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) เครื่องวัดความหนาของวัตถุ เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ทะเล เครื่องค้นหาอวัยวะบางส่วนในร่างกาย เครื่องทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงที่ต้องเดินทางผ่านอากาศ ความถี่ที่ใช้มักจะจำกัดไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (109 Hz) ก็มีใช้กันในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

2.3 สัญญาณ

ปรากฏการณ์ทางกายภาพหลายอย่างสามารถอธิบายได้ด้วยสิ่งที่เรียกว่า “สัญญาณ”โดยข้อมูลที่ต้องการจะแฝงอยู่ในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ [13] ตัวอย่างเช่นรูปที่ 2.3 (ก) แสดงวงจร แสดงวงจรไฟฟ้าแบบ *RL* ที่มีตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกัน และเมื่อเชื่อมต่อสวิตช์ที่เวลา $t=0$ ก็จะได้กราฟแดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในวงจรไฟฟ้าเมื่อ $t>0$ ตามรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งในกรณีนี้สัญญาณก็คือการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลาตามความสัมพันธ์

$$i(t) = (E/R)(1-e^{-Rt/L}) \qquad (2.7)$$

จากตัวแปรข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าสัญญาณคือฟังก์ชัน (Function) ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงปริมาณทางกายภาพ โดยทั่วไปสัญญาณจะถูกแทนที่ด้วยฟังก์ชั่นของตัวแปลอิสระ t เป็นต้น เช่น วงจรไฟฟ้าแบบ RL ในรูปที่ 2.3 (ก) และ 2.3 (ข) ดังนั้นในทางปฏิบัติสัญญาณจึงมีมากมายหลายรูปแบบให้พบเห็นในชีวิตประจำวัน ได้แก่ สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ สัญญาณคลื่นหัวใจ สัญญาณความดันโลหิต สัญญาณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้อง และสัญญาณราคาหลักทรัพย์ เป็นต้น



(ก) วงจรไฟฟ้าแบบ RL (ข) กราฟการเปลี่ยนแปลงของกระแสเทียบกับเวลา

รูปที่ 2.3 วงจรไฟฟ้าแบบ RL และกราฟของกระแสเทียบกับเวลา [13]

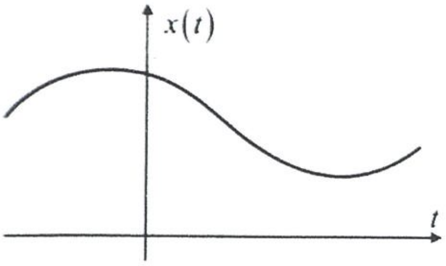
2.3.1 สัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลาและสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

สัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-time Signal) คือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทางเวลาโดยทั่วไปจะใช้สัญลักษณ์ $x(t)$ แทนสัญญาณต่อเนื่องทางเวลา x เมื่อ t คือตัวแปรอิสระที่ต่อเนื่องทางเวลา (นั่นคือตัวแปร t มีค่าเป็นจริง) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) เพราะฉะนั้นค่าของสัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลาจึงเป็นจึงเป็นสมาชิกของเซตจำนวนจริงหรือเซตอนันต์ (infinite set) ตัวอย่างของสัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลาได้แก่ เสียงพูด, สัญญาณภาพ, และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

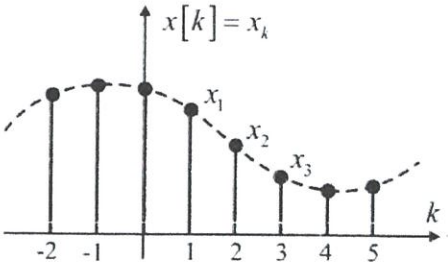
สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (discrete-time signal) คือสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทางเวลาโดยทั่วไปจะใช้สัญลักษณ์ $x[k]$ หรือ x_k แทนสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา x เมื่อ k คือตัวแปรอิสระที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (นั่นคือตัวแปร k เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าจำกัด) ดังนั้นค่าของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาจึงเป็นสมาชิกของเซตจำกัด (infinite set) ตัวอย่างของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาได้แก่ ดัชนีตลาดหุ้นไทย, จำนวนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตได้, และจำนวนประชากรของประเทศไทย เป็นต้น รูปที่ 2.4 (ข) แสดงตัวอย่างของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

ในทางปฏิบัติสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา x_k มักจะได้มาจากการชักตัวอย่าง (sample) สัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลา $x(t)$ ในทุกช่วงเวลา $t=kT_s$ เมื่อ k เป็นเลขจำนวนเต็ม และ T_s คือคาบการชักตัวอย่าง (sampling period) โดย $f_s = 1/T_s$ คือความถี่การชักตัวอย่าง (sampling frequency) ดังนั้นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาที่ได้จากการชักตัวอย่างสามารถเขียนเป็นสมการที่ 2.8 ดังนี้

$$x[k] = x_k = x(t)|_{t=kT_s} = x(kT_s) \tag{2.8}$$



(ก) สัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลา



(ข) สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

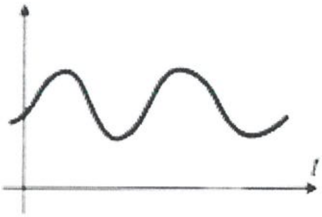
รูปที่ 2.4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องทางเวลา [13]

ซึ่งหมายความว่าข้อมูล x_k แต่ละตัวจะอยู่ห่างกัน T_s หน่วย ในหนังสือเล่มนี้ข้อมูลแต่ละตัวของ x_k จะถูกเรียกว่า “แซมเปิ้ล (Sample)” และแซมเปิลหลายๆ แซมเปิลที่เรียงต่อกันเป็นชุดจะเรียกว่า “ลำดับข้อมูล (Data Sequence)” ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\{x_k\}$

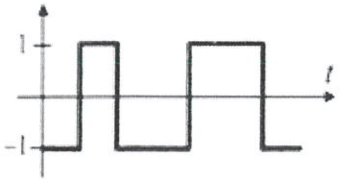
2.3.2 สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอล

สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal) คือสัญญาณที่แอมพลิจูด (Amplitude) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทางเวลาดังนั้นสัญญาณอนาล็อกทุกสัญญาณจึงถือเป็นสัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลา นั่นคือค่าของสัญญาณอนาล็อกจะเป็นสมาชิกของจำนวนจริงดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก)

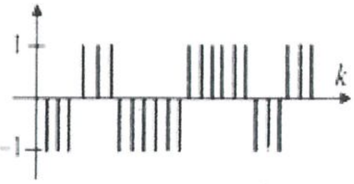
ในขณะที่สัญญาณดิจิตอล (Digital Signal) คือสัญญาณทีมีแอมพลิจูดหรือค่าของสัญญาณภายในเซตจำกัด ดังนั้นสัญญาณดิจิตอลอาจหมายถึงสัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลาหรือไม่ต่อเนื่องทางเวลาก็ได้ ตามรูปที่ 2.5 (ข–ค) โดยทั่วไปสัญญาณดิจิตอลแบบที่ต่อเนื่องทางเวลา (พบมากในระบบสื่อสารดิจิตอล) สามารถแบบออกได้เป็น 2 ประเภทคือ สัญญาณสองระดับหรือสัญญาณไบนารี (Binary Signal) และสัญญาณหลายระดับ (Multi-level Signal) ตามรูปที่ 2.6



(ก) สัญญาณอนาล็อก

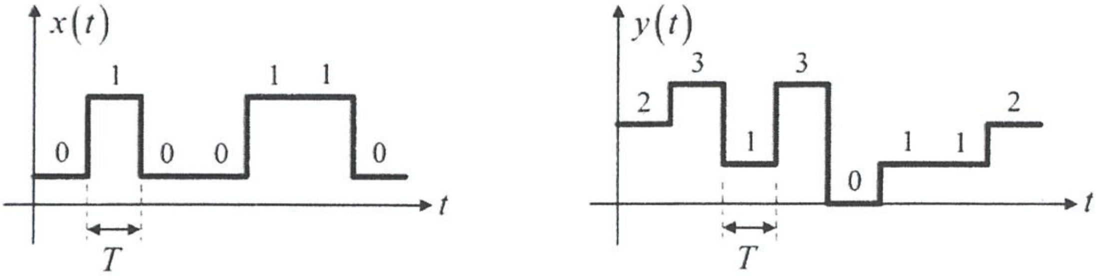


(ข) สัญญาณดิจิตอลแบบที่ต่อเนื่องทางเวลา



(ค) สัญญาณดิจิตอลแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอลแบบต่างๆ [13]



(ก) สัญญาณไบนารี (ข) สัญญาณหลายระดับ

รูปที่ 2.6 ลักษณะของสัญญาณไบนารีและสัญญาณหลายระดับ [13]

2.3.2.1 สัญญาณไบนารี

สัญญาณไบนารีจะมีระดับสัญญาณ (หรือแอมพลิจูด) อยู่สองระดับ โดยทั่วไปสัญญาณระดับหนึ่งจะใช้แทนข้อมูลเลข “0” และสัญญาณอีกระดับหนึ่งจะใช้แทนข้อมูลเลข “1” ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) นอกจากนี้ในระบบสื่อสารดิจิตอล ข้อมูลแต่ละตัวของสัญญาณไบนารีนิยมเรียกกันว่า “บิต (bit)” นั่นคือบิต 0 และบิต 1 โดยที่บิตแต่ละบิตจะมีช่วงเวลาห่างกัน *T* วินาที เมื่อ *T* คือคาบของบิต (Bit Period) ดังนั้นอัตราข้อมูล (Data Rate) สามารถนิยามได้โดย

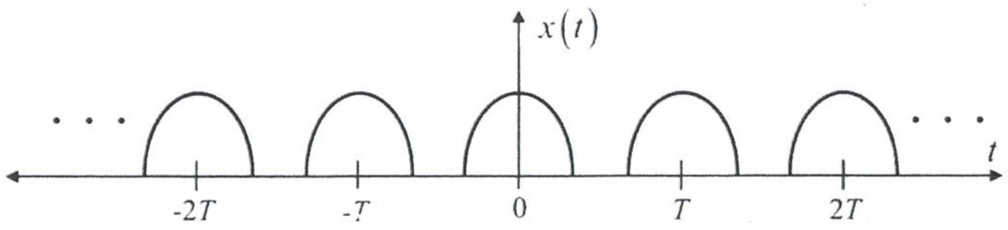
$$R = 1/T \tag{2.9}$$

โดย *R* มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps: bit per second)

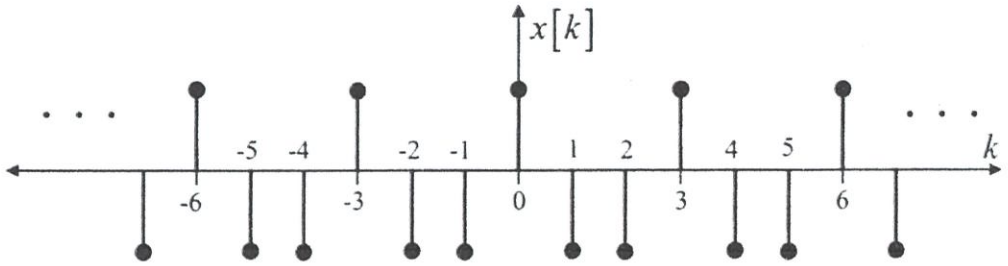
ข้อดีของสัญญาณไบนารีคือสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลได้รวดเร็ว เนื่องจากข้อมูลมีเพียงสองสถานะคือค่า 0 และค่า 1 ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้การออกแบบและการสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อทำงานกับสัญญาณไบนารีก็สามารที่ได้ง่ายและราคาถูก อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้สัญญาณไบนารี (เมื่อเทียบกับสัญญาณหลายระดับ) ก็คือจะต้องใช้บิตจำนวนมากสำหรับแทนข้อมูล เช่น สมมติถ้าต้องการเก็บข้อมูลตัวอักษร {ก, ข, ฃ,..., ฮ} รวมทั้งหมด 44 ตัวอักษร แสดงว่าต้องใช้บิตอย่างน้อยเป็นจำนวน 6 บิต (2^6 = 64) สำหรับแทนค่าค่าตัวอักษรแต่ละตัว ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลในอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและการประมวลผลข้อมูลก็จะเวลานานขึ้น

2.3.2.2 สัญญาณหลายระดับ

สัญญาณปลายระดับจะมีระดับสัญญาณอยู่หลายระดับแต่อยู่ภายในเซตจำกัด ตัวอย่างเช่น สัญญาณหลายระดับในรูปที่ 2.6 (ข) มีระดับสัญญาณทั้งหมด 4 ระดับ โดยที่สัญญาณแต่ละระดับจะถูกแทนที่ด้วยตัวเลข {0, 1, 2, 3}



(ก) สัญญาณคาบที่ต่อเนื่องทางเวลา



(ข) สัญญาณคาบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

รูปที่ 2.7 ลักษณะของสัญญาณคาบแบบต่างๆ [13]

ข้อดีของสัญญาณหลายระดับคือช่วยประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูล เช่น สมมติว่าสัญญาณหลายระดับมีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 ค่า ดังนั้นถ้าต้องการเป็นข้อมูลตัวอักษร {ก, ข, ค,...,ฮ} รวมทั้งหมด 44 ตัวอักษร แสดงว่าจะต้องใช้เลข {0, 1, 2, 3} อย่าน้อยเป็นจำนวน 3 ตัว (4^3 =64) สำหรับแทนค่าตัวอักษรแต่ละตัว อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้สัญญาณหลายระดับคือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานกับสัญญาณหลายระดับจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกสัญญาณดิจิตอลแบบใดมาใช้งานนี้จึงขึ้นอยู่กับลักษณะของงานประยุกต์ (Application) เช่นสัญญาณไบนารีนิยมมาใช้กับระบบจดบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่สัญญาณหลายระดับนิยมนำมาใช้กับระบบบันทึกข้อมูลของแผ่นซีดีและแผ่นดีวีดี เป็นต้น

2.3.3 สัญญาณคาบและสัญญาณไม่เป็นคาบ

สัญญาณคาบ (Periodic Signal) คือสัญญาณที่มีรูปร่างซ้ำตัวมันเองทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนด โดยอาจเรียกช่วงเวลานี้ว่า “คาบ (Period)” ของสัญญาณ ดังนั้นสัญญาณคาบที่ต่อเนื่องทางเวลา (Period Continous-time Signal) คือสัญญาณที่ต่อเนื่องทางเวลา *x(t)* ที่สามารถหาคาบเวลา *T* ที่เป็นค่าบวกที่ทำให้

$$X(t) = x(t + mT) \tag{2.10}$$

สำหรับทุกค่า *t* เมื่อ *m* เป็นเลขจำนวนเต็ม รูปที่ 2.7 (ก) แสดงตัวอย่างของสัญญาณคาบที่ต่อเนื่องทางเวลาซึ่งในที่นี้สามารถพิจารณาได้ว่าสัญญาณ *x(t)* เป็นสัญญาณที่มีคาบเท่ากับ *mT* หน่วย อย่างไรก็ตามค่า *T* ที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้สมการเป็นจริงจะเรียกว่า “คาบมูลฐาน (Fundamental

Period)” ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ T_0 (นั่นคือเมื่อ $m=1$ จะได้ว่า $T_0 =T$) และส่วนกลับของคาบเวลา T_0 จะเรียกว่า “ความถี่มูลฐาน (Fundamental Frequency)” f_0 มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz: Hertz) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.11

$$F_0 = 1/T_0 \tag{2.11}$$

นอกจากนี้สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา $x[k]$ ก็สามารถเป็นสัญญาณคาบเวลา N ที่เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่ทำให้สมการ 2.12 เป็นจริง

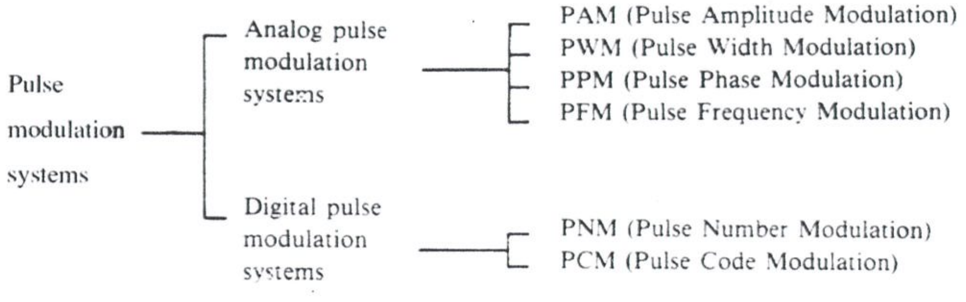
$$x[k] =x[k + N] \tag{2.12}$$

สำหรับทุกค่า k ตามรูปที่ 2.7 (ข) ซึ่งในที่นี้จะได้ว่าสัญญาณ $x[k]$ มีคาบเท่ากับ $N, 2N, 3N,...$ เมื่อ $N = 3$ ในทำนองเดียวกันกับคาบมูลฐาน N_0 คือค่า N ที่น้อยที่สุดที่ทำให้สมการเป็นจริงนั่นคือ $N_0 = 3$

สัญญาณคาบมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สัญญาณคาบเพียงหนึ่งคาบจะมีคุณลักษณะเทียบเท่าสัญญาณคาบทั้งหมด ดังนั้นสัญญาณคาบเพียงหนึ่งคาบสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ได้ครบถ้วน แทนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลขากสัญญาณคาบทั้งหมด สำหรับสัญญาณอื่นๆ ที่ไม่ได้มีสัญญาณคาบจะเรียกว่าสัญญาณไม่เป็นคาบ (Aperiodic หรือ Non-periodic Signal)

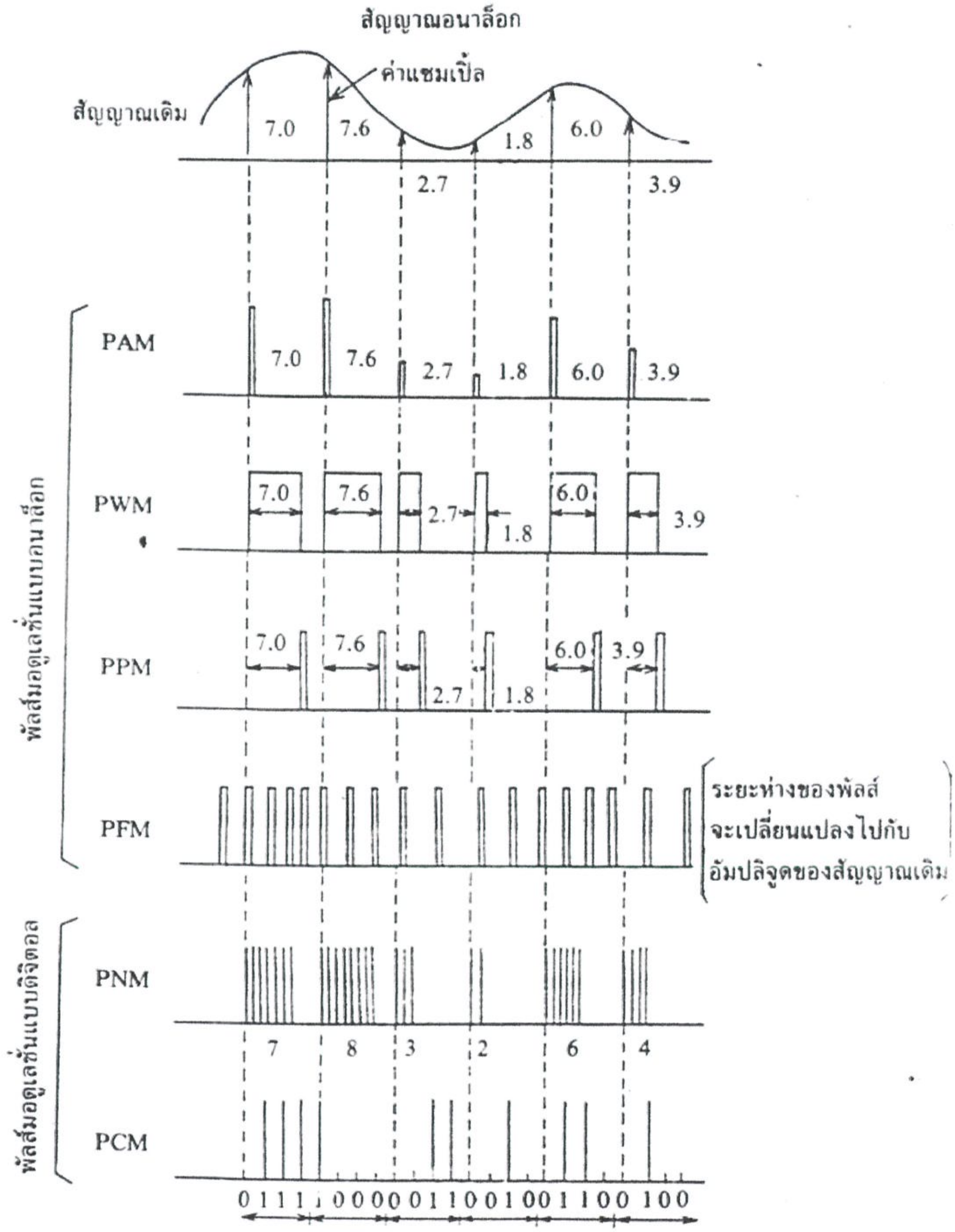
2.3.4 ระบบพัลส์มอดูเลชัน

เมื่อจำแนกระบบของพัลส์มอดูเลชันแล้วจะมี 2 ระบบกว้างๆ คือระบบพัลส์อนาล็อกมอดูเลชันและระบบพัลส์ดิจิตอลมอดูเลชัน [14] แบบแรกได้จากการแซมปลิ้งสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดีสครีทในช่วงเวลาที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอแล้วทำการส่งในหลายๆ รูปแบบโดยยังคงรักษาสัญญาณอนาล็อกเดิมไว้ดังเช่นระบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), PPM (Pulse Phase Modulation) และ PFM (Pulse Frequency Modulation) ส่วนแบบที่สองนั้นจะใช้ค่าแบบดีสครีททั้งเวลาและแอมพลิจูดโดยผ่านกระบวนการควอนไตซิง (Quantizing) และการเข้ารหัส (Coding) ซึ่งจะกล่าวให้ละเอียดในตอนหลัง ระบบนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ PNM (Pulse Number Modulation) และ PCM (Pulse Code Modulation) พัลส์มอดูเลชันระบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นพอสรุปได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.8 และแสดงการเปรียบเทียบลักษณะไว้ในรูป 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงการแบ่งระบบของระบบพัลส์มอดูเลชัน [14]

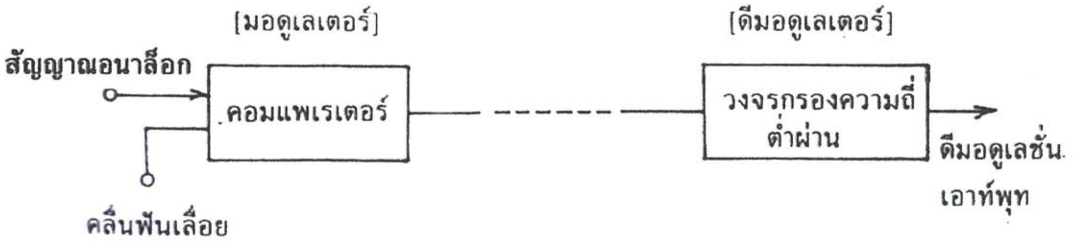
ในระบบแบบอนาล็อก ปริมาณที่เป็นอนาล็อกอย่างเช่น PAM และ PWM นั้น เมื่อมันถูกส่งออกไปยังด้านรับ ถ้ามีนอยส์ปนอยู่ในช่องสัญญาณใดๆ ก็จะไม่สามารถแยกสัญญาณเดิมออกมาได้อย่างแจ่มชัด ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้มีนอยส์มากกว่าของแบบดิจิตอลพัลส์มอดูเลชัน แต่อย่างไรก็ตามระบบ PFM เป็นการมอดูเลตแบบความถี่สัญญาณเดิมดังนั้นจะมีนอยส์น้อยกว่าของ PAM, PWM และ PPM จึงถูกนำไปใช้ในระบบการส่งสัญญาณภาพไปในเคเบิลใยแก้ว



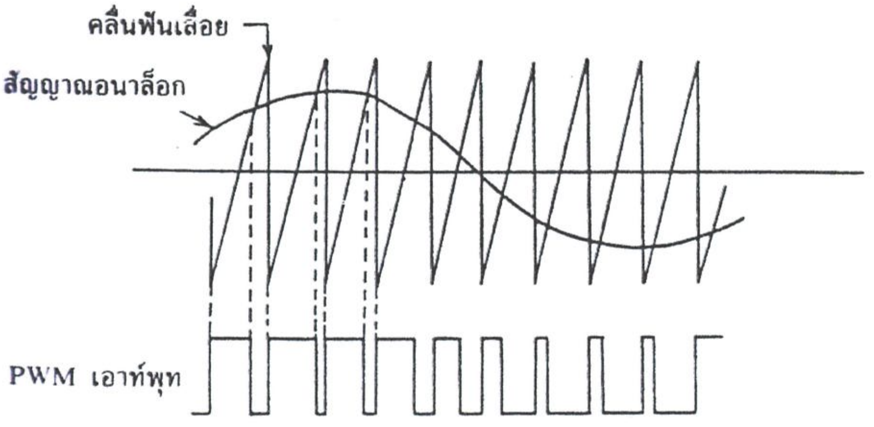
รูปที่ 2.9 พัลส์มอดูเลชันระบบต่างๆ [14]

2.3.4.1 พัลส์วิดธ์มอดูเลชัน

ตามรูปที่ 2.10 (ก) และ 2.10 (ข) เป็นหลักการของมอดูเลชันและดีมอดูเลชันแบบ PWM ที่เอาท์พุทของคอมแพเรเตอร์จะเป็น “High” เมื่อสัญญาณอนาล็อกมีแอมพลิจูดสูงกว่าของลักษณะคลื่นแบบฟันเลื่อย (Sawtooth) เท่านั้น และขบวนพัลส์จะมีความกว้างเปลี่ยนแปลงไปกับแอมพลิจูดของสัญญาณเดิม



(ก) โครงสร้างของวงจร



(ข) กระบวนการมอดูเลต

รูปที่ 2.10 หลักการของ PWM มอดูเลชันและดีมอดูเลชัน [14]

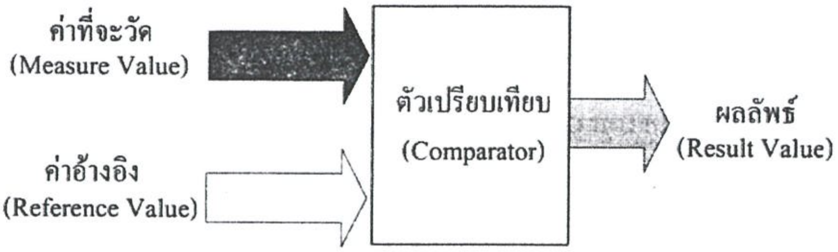
2.4 หลักการวัดเบื้องต้น

การวัด (Measurement) ถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญขอศาสตร์หลายแขนง ทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยจะครอบคลุมถึงการตรวจรู้ การรับค่า การควบคุมรวมไปถึงการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณของตัวแปร ซึ่งการวัดจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่างทั้งทางกายภาพ เคมี เชิงกลหรือตัวแปรต่างๆ เครื่องมือวัดจัดว่ามีบทบาทสำคัญมากในการวัดเพื่อการวิจัยทาววิทยาศาสตร์และกระบวนการทางอุตสาหกรรม ตลอดจนระบบควบคุม ในปัจจุบันเครื่องมือวัดในกระบวนการและการรวบรวมข้อมูลล้วนแล้วแต่เป็นผลมาจากการพัฒนาอันชาญฉลาดอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีความถูกต้องแม่นยำสูงอันเนื่องมาจากการเจริญก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์แขนงอื่นๆ และการประยุกต์ของเครื่องมือวัดและระบบการวัดที่มีอยู่มากมายดังนั้นจึงทำให้สามารถแก้ไขปัญหาอันเกิดจากการวัดได้หลายประการ ซึ่งเป็นหัวใจที่สำคัญไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านการบิน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีงานด้านอวกาศ เวชภัณฑ์ ด้านสมุทรศาสตร์ และงานทั่วๆ ไปในโรงงานอุตสาหกรรม [15]

การวัดสามารถอธิบายถึงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้ในเชิงปริมาณซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่สำคัญทางวิทยาศาสตร์ ลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) ได้กล่าวไว้ว่า “เมื่อใดก็ตามที่คุณสามารถวัดค่าได้ และค่าอะไรก็ตามที่คุณสามารถบอกและอธิบายเป็นตัวเลขได้ นั่นคือคุณรู้และเข้าใจสิ่งนั้น แต่เมื่อใดก็ตามที่คุณไม่สามารถวัดค่า หรือไม่สามารถอธิบายค่านั้นเป็นตัวเลขได้ สิ่งที่คุณรู้มาจะเป็นสิ่งด้อยค่าและยังไม่น่าพอใจ ถึงแม้จะเป็นจุดเริ่มต้นของความรู้ แต่ความรู้เพียงน้อยนิดนี้จะเป็นบันไดก้าวสำคัญที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์” การสร้างรากฐานของการใช้งานนั้นจะใช้ข้อมูลเชิงปริมาณอ้างอิงที่ได้มาจากการทดลองในการวัดและการควบคุมคุณสมบัติต่างๆ ให้ถูกต้องแม่นยำ นั่นหมายความว่าจะทำให้ความน่าเชื่อถือของการควบคุมเกี่ยวข้องโดยตรงกับความหน้าเชื่อถือของเครื่องมือวัด อย่างไรก็ตาม ได้มีการใช้เครื่องมือวัดกันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 เกี่ยวกับงานอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ประยุกต์หรือทั้งสองอย่างร่วมกันด้วยความสามารถของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่แม่นยำน่าเชื่อถือสำหรับการวัดอย่างต่อเนื่อง และบันทึกค่าตัวแปรทางฟิสิกส์ต่างๆ จึงทำให้เครื่องมือวัดมีจำนวนความต้องการใช้งานมากขึ้น เพราะหลังจากนั้นได้มีแผ่ขยายทางเทคนิคและทฤษฎีพื้นฐานจากการค้นพบใหม่ๆ ทางกายภาพและวิธีการทางเคมีอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาเกือบ 80 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคทางการวัดขึ้นอย่างมากมาย เพื่อให้ตรงกับความต้องการของนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร ตลอดจนช่างเทคนิคมากที่สุด

2.4.1 ความหมายของการวัด (Measurement of Meaning)

การวัดหมายถึงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณค่าของตัวแปรสองค่าคือ ค่าของตัวแปรที่ต้องการทราบ (Measure Value) และค่าอ้างอิง (Reference Value) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบคือค่าที่แท้จริงของปริมาณตัวแปรที่ต้องการทราบ ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 ลักษณะของการวัดสามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์ได้ 2 ลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการวัด [15]

1. การวัดเพื่อรู้ หมายถึงการวัดปริมาณของตัวแปรใดๆ โดยไม่ได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดมาทำการควบคุมกระบวนการหรือประมวลผล แต่วัดเพื่อต้องการที่จะทราบค่าบันทึกหรือทำสถิติ ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดในลักษณะนี้จึงไม่ต้องการความละเอียด ความถูกต้องหรือแม่นยำมากนัก

2. การวัดเพื่อควบคุม การวัดในลักษณะนี้จะครอบคลุมไปถึงการวัดเพื่อรู้ด้วย นั่นคือนอกจากต้องการทราบปริมาณค่าที่ได้จากการวัดแล้ว ยังจำเป็นต้อนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดเหล่านั้นไปใช้ในกระบวนการด้วยเช่น การควบคุมปริมาณของตัวแปรต่างๆ ในระบบให้คงที่ หรือการปรับแต่งระดับของปริมาณที่ได้จากการวัดให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ต่อร่วมในระบบเพื่อให้การทำงานของระบบมีแระสิทธิภาพมากที่สุด เพราะฉะนั้นค่าที่ได้จากการวัดในลักษณะนี้จึงต้องมีความละเอียดสูง มีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากเมื่อเทียบกับวัดเพื่อรู้

2.4.2 รูปแบบการวัด

นอกจากวัตถุประสงค์ของการวัดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังสามารถแบ่งรูปแบบของการวัดออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1. การวัดทางตรง (Direct Comparison)

หมายถึงการวัดปริมาณตัวแปรใดๆ โดยค่าที่ได้จากการวัดนั้นคือผลลัพธ์ที่ต้องการหรือเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ได้เลยไม่จำเป็นต้องนำมาทำการคำนวณเปรียบเทียบหรือแปลงหน่วยอีก เช่น การวัดระยะทางด้วยตลับเมตร การวัดอุณหภูมิด้วยปรอท การใช้ก้านโลหะวัดระดับของน้ำมันเครื่องในรถยนต์หรือการวัดน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสปริง เป็นต้น

2. การวัดทางอ้อม (Indirect Comparison)

ส่วนใหญ่การวัดทางอ้อมจะเกี่ยวข้องกับการวัดในทางวิศวกรรมหรือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งค่าหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดนั้นจะต้องนำมาคำนวณและทำการแปลงหน่วยเพื่อให้เหมาะสมกับการปริมาณการวัด หรืออีกมากมาย หนึ่งคือ การวัดปริมาณตัวแปรประเภทหนึ่งโดยอาศัยการหลักการพื้นฐานจากตัวแปรอีกประเภทหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่นการวัดอุณหภูมิโดยการวัดค่าความดันที่เปลี่ยนแปลง การวัดอัตราการไหลโดยใช้หลักการของค่าความดันแตกต่าง การวัดระดับด้วยการชั่งน้ำหนักเป็นต้น จากตัวอย่างที่กล่าวมาอาจพอสรุปได้ว่าการวัดทางอ้อมนั้นจำเป็นต้องมีตัวกลางเป็นตัวคั่นระหว่างปริมาณที่ต้องการวัดกับค่าที่ได้จากการวัด ตัวกลางนี้จะทำให้ตัวแปรทั้งสองค่าเปลี่ยนแปลงปริมาณอย่างสัมพันธ์กันเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและเที่ยงตรงมากที่สุด

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4.3 คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องมือวัด (Basic Characteristics of Measuring Device)

เครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับรับค่าหรือตรวจรู้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่พบในกระบวนการทางอุตสาหกรรม หรือในการค้นคว้าทาววิทยาศาสตร์เช่น ความเครียด ความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหล ระดับ ระยะทาง ความเร่ง การเคลื่อนไหว ความต้านทานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ฯลฯ จะต้องมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีความแม่นยำ (Accuracy) ในการตรวจวัดทุกๆ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของตัวแปรที่ต้องการวัดเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมกระบวนการ ทั้งแบบสามารถสร้างสัญญาณเตือนเมื่อต้องปรับเปลี่ยนด้วยมือ (Manual) หรือแบบกระตุ้นให้อุปกรณ์ควบคุมทำงานโดยอัตโนมัติ ตลอดจนเพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางด้านพื้นฐานต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติแต่ละข้อจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องโดยตรงกับการวัด

2.4.4 คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรม

คำนิยามที่ใช้ในการวัดทางอุตสาหกรรมหมายถึงคำศัพท์ที่ใช้อธิบายค่าที่มีผลต่อการวัดด้วยวิธีต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของเครื่องมือวัด ได้แก่

2.4.4.1 ย่านวัด (Range)

ย่านวัดหรือพิสัยการวัด หมายถึงขีดความสามารถ หรือขีดจำกัดที่เครื่องมือวัดสามารถตรวจวัดหรือบันทึกค่าได้ โดยแบ่งออกเป็นสองระดับ คือ

1. ค่าต่ำสุดของย่านวัด (Lower Range Value; LRV) คือค่าต่ำสุดที่เครื่องมือวัดตัวนั้นๆ จะจะมารถปรับลงมาอ่านหรือวัดค่าได้ ยกตัวอย่างเช่น ในเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าทั่วๆ ไป จะมีค่าต่ำสุดของย่านวัดเป็นศูนย์ แต่สำหรับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมเช่นเครื่องมือวัดความดันอาจมีค่าต่ำสุดของย่านวัดเริ่มต้นที่ค่าคงที่ใดๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของความดันที่ใช้ในระบบ ถ้าความดันที่ต้องการตรวจวัดในระบบนั้นมีค่าสูงมากๆ ค่าต่ำสุดของย่านวัดที่อาจจะเริ่มต้นที่ค่าใดๆ ก็ได้ที่ไม่ใช่ศูนย์
2. ค่าสูงสุดของย่านวัด (Upper Range Value; URV) คือค่าสูงสุดที่เครื่องมือวัดนั้นๆ สามารถปรับขึ้นไปอ่านหรือบันทึกค่าได้ ซึ่งในเครื่องมือวัดตัวหนึ่งๆ อาจมีค่าสูงสุด (URV) อยู่หลายระบบหน่วย (Multi – Range) ของการวัดก็ได้

2.4.4.2 สแปน (Span)

คำว่า “สแปน” หมายถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดของย่านวัด (URV) กับค่าต่ำสุดของย่านวัด (LRV) ซึ่งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสแปนของเครื่องมือวัด ย่านวัดจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่ในกรณีที่ย่านการวัดเปลี่ยนแปลงในระดับที่เท่ากันหรือสมมาตรกันทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่นอกเหนือจากกรณีดังกล่าวแล้วจะทำให้สแปนเปลี่ยนแปลงตามย่านวัดด้วย

$$Span = URV - LRV \tag{2.13}$$

2.4.4.3 ความแม่นยำ (Accuracy)

ในการตรวจวัดค่าปริมาณใดๆ สิ่งต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดเป็นอย่างมากคือ ความคลาดเคลื่อนทางสถิต (Static Error) ความคลาดเคลื่อนทางพลวัต (Dynamic Error) การเลื่อน (Drift) ความสามารถในการถ่ายทอด (Reproducibility) และความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linearity) ความแม่นยำของการวัดและความถูกต้องในการอ่านค่านั้น จะมีความเกี่ยวข้องกันโดยตรง ความถูกต้อง

139429

แม่นยำในที่นี้หมายถึงค่าที่อ่านได้จะต้องมีความใกล้เคียงกันกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้หรือค่าจริง แต่ในความเป็นจริงแล้วความถูกต้องแม่นยำอย่างสมบูรณ์นั้นไม่มีความจำเป็นในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ เพราะในทุกๆ การทดลองความถูกต้องแม่นยำของการวัดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับข้อจำกัน อันเนื่องมาจากการคลาดเคลื่อนภายในตัวเอง (Intrinsic Error) ข้อจำกัดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอยู่เสมอขณะทำการวัด ความไม่เสถียรทางไฟฟ้า (Electrical Zero) และข้อจำกัดจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งข้อจำกัดต่างๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการวัด

นอกจากนี้ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับการสอบเทียบ (Calibration) ภายใต้สภาวะการทำงานที่ถูกต้องเหมาะสม โดยอาจจะกำหนดค่าความแม่นยำได้จากการที่ค่าที่วัดได้อยู่ในช่วงบวกหรือลบของค่าตัวเลขหรือเปอร์เซ็นต์ที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ จะถูกแบ่งประเภทตามความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์นั้นๆ

ความแม่นยำของระบบที่สมบูรณ์นั้นมีความสัมพัทธ์กับความถูกต้องแม่นยำเฉพาะตัวของอุปกรณ์เซนเซอร์ขั้นปฐมภูมิ (Primary Sensing Element) อุปกรณ์เซนเซอร์ขั้นทุติยภูมิ (Secondary Sensing Element) และอุปกรณ์ที่ใช้งาน อุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีความถูกต้องแม่นยำในขอบเขตของตัวเอง ถ้า $\pm a_1$, $\pm a_2$ และ $\pm a_3$ เป็นหน่วยความแม่นยำของอุปกรณ์แต่ละชนิดในระบบ และ A เป็นค่าความแม่นยำโดยรวมแล้ว ค่าขอบเขตความแม่นยำต่ำสุดสามารถเขียนได้ว่า $A = \pm (a_1 + a_2 + a_3)$ และรากที่สองของความแม่นยำสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.14 ว่า

$$A = \sqrt{(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)} \qquad (2.14)$$

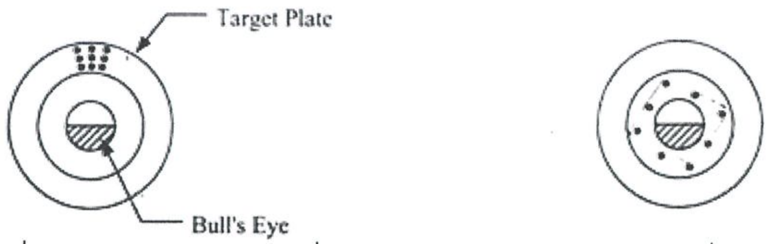
แต่ในทางปฏิบัติรากที่สองของความแม่นยำมักจะถูกกำหนดขึ้นมา เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่อุปกรณ์ทุกตัวในระบบจะมีความคลาดเคลื่อนทางสถิติมากที่สุด ณ ตำแหน่งและช่วงเวลาเดียวกัน

โดยทั่วไปแล้ว ค่าความแม่นยำจะอยู่ในรูปของความคลาดเคลื่อน (Error) ในหน่วยของการวัดที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของสแปนหรือเปอร์เซ็นต์ของย่านการวัดสูงสุด (URV) ดังสมการที่ 2.15

ความแม่นยำ = [(ค่าจริง – ค่าที่วัดได้) x 100 %] / Span (2.15)

2.4.4.4 ความเที่ยงตรง (Precision)

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งซึ่งมักจะกล่าวถึงของการวัดคือความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด ในขณะที่ความเที่ยงตรงนั้นสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็นสองความหมาย ความหมายแรกคือความใกล้เคียงกันของค่าที่ได้จากการวัดปริมาณเดียวกัน โดยที่ค่าที่ได้จะต้องอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยของการวัดทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าเครื่องมือวัดมีความคงเส้นคงวา หรือมีความสามารถซ้ำค่าเดิม (Repeatability) นั่นเอง เครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจะมีการกระจายน้อยกว่าเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงต่ำ ดังรูปที่ 2.12



(ก) ความเที่ยงตรงสูงแต่ความแม่นยำต่ำ (ข) ความแม่นยำมีการกระจายที่ดีแต่ความเที่ยงตรงต่ำ

(ก) ความแม่นยำต่ำอีกทั้งยังมีความเที่ยงตรงต่ำเช่นเดียวกัน

(ง) ความแม่นยำสูงและมีความเที่ยงตรงสูงด้วยเช่นกัน

รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างระหว่างความแม่นยำและความเที่ยงตรง [15]

จากรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจวัดนั้นมีความน่าเชื่อถือเพียงใด ส่วนในความหมายที่สองของคำว่า “เที่ยงตรง” คือความละเอียดของการวัดซึ่งอาจจะหมายถึงเครื่องมือวัดที่มีสเกล (Scale) ที่ละเอียดมากๆ ทำให้สามารถอ่านค่าทีได้จากการวัดอย่างละเอียด โดยจะสามารถเห็นได้ชัดเจนจะสเกลของเครื่องมือวัดที่เป็นแบบอนาล็อก ส่วนเครื่องมือวัดที่เป็นแบบดิจิตอลก็คือมีจุดทศนิยมหลายๆ ตำแหน่งเป็นต้น

2.4.4.5 ความคลาดเคลื่อน (Errors)

ความคลาดเคลื่อนหมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณที่แท้จริงของค่าตัวแปรที่ต้องการวัดกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของปริมาณตัวเลข หรือเปอร์เซ็นต์ค่าเอาต์พุตที่ได้จากอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ทุกชนิดนั้นทั้งในอุดมคติหรือในทางทฤษฎีกับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการวัดจะมีความสัมพันธ์กัน สำหรับการออกแบบทรานสดิวเซอร์จะถูกสร้างจากวัสดุที่มีความเหมาะสมและให้ค่าเอาต์พุตกับค่าของการวัดจากการใช้งานทรานสดิวเซอร์จะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ กราฟ หรือตาราง โดยที่เอาต์พุตในทางอุดมคติจะไม่มีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและสภาวะการทำงานของเครื่องมือนั้นๆ

ในทางปฏิบัติถึงแม้ว่าเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์จะได้รับผลกระทบจากความไม่เป็นไปตามอุดมคติของอุปกรณ์ในกรณีที่ค่าที่วัดได้มีการเบี่ยงเบนจากค่าจริง แต่ความแตกต่างทางพีชคณิตระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงของการวัดจะอยู่ในรูปความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ ความคลาดเคลื่อนนี้จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์ของเอาต์พุตเต็มสเกล (Full Scale Output % *F.S.*) อัตราส่วนของความคลาดเคลื่อนกับค่าเอาต์พุตเต็มเสกลนี้เรียกว่า ความแม่นยำของอุปกรณ์

ความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนเฉพาะตัวซึ่งมีค่ามากในการปฏิบัติงานจริงจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดผลจากความคลาดเคลื่อนของทรานสดิวเซอร์เหล่านี้ ซึ่งสามารถจำแนกความคลาดเคลื่อนออกได้เป็นข้อๆ โดยรายละเอียดที่เกี่ยวกับชนิดของคลาดเคลื่อนที่

จะกล่าวถึงต่อไปนี้สามารถนำไปใช้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความแม่นยำของการวัดโดยรวมสูงขึ้น

1. ความคลาดเคลื่อนในตัวเอง ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และความคลาดเคลื่อนเกี่ยวเนื่อง (Intrinsic, Absolute and Relative Error) ความคลาดเคลื่อนที่พบเมื่อเครื่องมือวัดอยู่ภายใต้สภาวะอ้างอิงที่กำหนดเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) เป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่อ่านได้และความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์หรือความคลาดเคลื่อนเกี่ยวเนื่อง (Relative Error) คืออัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์กับค่าจริง ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของความคลาดเคลื่อนเกี่ยวเนื่อง (K) ได้จากสมการ

$$K = \frac{K_a - K_b}{K_b} \tag{2.16}$$

เมื่อ K_a คือค่าเฉลี่ยของความชันที่วัดได้เหนือจุดศูนย์กลางประมาณ 80% ของ *F.S.*
K_b คือค่าเฉลี่ยของความชันที่วัดได้ที่จุดต่ำกว่า 10% ของ *F.S.*

2. ความคลาดเคลื่อนจากความไม่แน่นอนและความคลาดเคลื่อนจากการสุ่ม (Uncertainty and Random Error) การหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไม่แน่นอนและคลาดเคลื่อนจากการสุ่มจะทราบได้ก็ต่อเมื่อทำการวัดซ้ำๆ ค่าเดิมจากค่าเดียวกัน แต่จะไม่สามารถทราบขนาดและทิศทางของความคลาดเคลื่อนนี้และไม่สามารถวัดหาค่าได้ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้เกิดขึ้นได้หลายปัจจัย เช่นแรงเสียดทาน (Friction) ฮีสเตอรีซิส (Hysteresis) ของสปริง สัญญาณรบกวน (Noise) และอื่นๆ เป็นต้น ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกๆ การเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนของสัญญาณอินพุตรวมถึงสัญญาณรบกวนและการเลื่อน ความคลาดเคลื่อนนี้อาจมีอาจมีมากยิ่งขึ้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางพลวัต (Dynamic) ในตัวจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ (Signal Conditioner) นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนจากความไม่แน่นอนยังหมายถึงการเบี่ยงเบนค่าเฉลี่ย และโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนหรือความเบี่ยงเบนทางสถิติ ค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถหาได้จากการสังเกตหรือนำค่าที่ได้จากการคำนวณลบด้วยค่าจริง

3. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบและเครื่องมือวัด (Systematic and Instrumental Error) ความคลาดเคลื่อนจากระบบและเครื่องมือวัดเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เพื่อประกอบกับอุปกรณ์การวัด หรือเกิดจากระบบเองโดยตรงดังนี้

(ก) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systemmatic Error) เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าคงที่โดยเกิดจากการเลื่อนของความไว (Sensitivity Drift) ผลของศูนย์ (Zero Effect) และความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นต้นปรากฏการณ์นี้ไม่สามารถสังเกตเห็นได้โดยตรง แต่สามารถหาได้ด้วยวิธีทางสถิติโดยการวัดซ้ำๆ ค่าเดิมๆ หลายๆ ครั้งภายใต้สภาวะต่างกันหรือด้วยอุปกรณ์ต่างกัน แต่ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้สามารถแก้ไขให้หมดไปได้ด้วยวิธีการที่ถูกต้องและเหมาะสม

(ข) ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด (Instrumental Error) เป็นสิ่งแสดงถึงความถูกต้องจากการอ่านค่าของเครื่องมือวัด ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยรวมของการวัดโดยเฉพาะความถูกต้องแม่นยำของการวัด ซึ่งเกิดจากการเสียดสีกันภายในวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือระหว่างที่ทำการวัด หรืออาจจะเกิดจากการยืดและหด

ตัวของสปริงภายในเครื่องมือวัด ถือว่าเป็นความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดโดยตรง ความคลาดเคลื่อนประเภทนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการบำรุงรักษาและใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกวิธีความคลาดเคลื่อนเชิงระบบจะเหมือนกับความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดในเรื่องของคุณสมบัติ คือเป็นความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่มีสามเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นเชิงเส้นของการสอบเทียบ (Calibration Linearity) การเลื่อน (Zero Drift) และความไว (Sensitivity) ตลอดช่วงของการวัดเป็นต้น

4. ความคลาดเคลื่อนจากการสอดแทรกของสัญญาณ (Interference Error) การตรวจวัดปริมาณตัวแปรที่มีค่าของสัญญาณทางอินพุตระดับต่ำๆ นั้นมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน (Noise) คลื่นรบกวนต่อสัญญาณอินพุตที่มีระดับต่ำซึ่งไม่ต้องการให้เกิดขึ้นนั้นได้แก่ สัญญาณรบกวนการกระเพื่อม (Ripple) การสวิตช์ชั่วขณะ (Switching Transient) และสัญญาณรบกวนชั่วขณะที่เกิดจากสายส่งแรงดันไฟฟ้า (Line Transient) สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุหลักของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นรบกวน สัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก แหล่งกำเนิดความร้อน คลื่นรบกวนในชั้นบรรยากาศ ประกายไฟจากหน้าสัมผัสของสวิตช์และรีเลย์ สัญญาณรบกวนจากไฟฟ้าสถิตและสัญญาณรบกวนในสายเคเบิล การลดหรือแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้สามารถทำได้โดยหุ้มฉนวน (Shielding) ที่สายตัวนำหรือแยกประเภทของความถี่ทั้งนี้การหุ้มฉนวนอาจใช้แก้ไขได้ในกรณีที่เกิดสัญญาณรบกวนจากทางไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กหรือไฟฟ้าสถิต

5. ความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งหรือความคลาดเคลื่อนจากการใช้งาน (Installation Error or Application Error) ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดจากการนำเอาเครื่องมือวัดไปใช้งานอย่างไม่ถูกต้องเหมาะสมรวมไปถึงการติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องมือผิดลักษณะประเภท เช่นการใช้เครื่องมือกับอุณหภูมิหรือการสั่นสะเทือนที่สูงเกินกว่าค่าที่กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องวัดทุกประเภทนั้นต้องใช้งานภายใต้การออกแบบและคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตจึงจะสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

6. ความคลาดเคลื่อนจากการทำงานหรือความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด (Operation Error or Human Error) ความคลาดเคลื่อนลักษณะนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์โดยตรง ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของความคลาดเคลื่อนที่มักเกิดขึ้นเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการปฏิบัติงานทางด้านงานช่าง ยกตัวอย่างเช่นการปรับใช้ค่าหรือเสกลที่ไม่เหมาะสม ไม่มีมาตรฐานในการใช้งานหรือการอ่านค่าค่าจากมาตรวัดไม่ถูกต้อง ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าแบบเหลื่อม (Parallax Error) ตลอดจนมีการอบรมและประสบการณ์จากการใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดน้อยเกินไป

7. การเลื่อน (Zero Drift) การเลื่อนเป็นความคลาดเคลื่อนที่สามารถสังเกตได้จากเอาต์พุตของเครื่องมือวัดตั้งแต่ค่าเริ่มต้นของการวัดใดๆ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งในขณะที่สภาวะของสัญญาณทางอินพุตไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าขององค์ประกอบต่างๆ เช่นสภาพอากาศหรืออายุการใช้งานของอุปกรณ์ เป็นต้น

8. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไว (Error Due to Sensitivity Change) ในบางครั้งความคลาดเคลื่อนจากการเลื่อนไปจากค่าเริ่มต้นหรือจากการตั้งค่าเต็มสเกล โดยปกติแล้วถือว่าเป็นการสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely Random) ที่มีวงกว้าง การทำให้เกิดความถูกต้องนั้นเป็นสิ่งที่สามารถทำได้ยากมากถึงแม้ว่าจะใช้สัญญาณสอบเทียบเพื่อทำการตรวจสอบการทำงานของ

เครื่องมือวัดในระหว่างการวัดก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนที่เห็นได้อย่างชัดเจนที่สุดจะเกิดขึ้นขณะเริ่มต้นการทำงานและจะลดลงหลังจากผ่านช่วงของการอุ่นเครื่อง (Warm Up) ความคลาดเคลื่อนเหล่านี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่สามารถทำให้ลดลงได้โดยการชดเชยค่าอุณหภูมิและการรักษาระดับของแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulation) ให้คงที่ รวมถึงการจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณ เช่น Balance Differential Amplifier หรืออุปกรณ์ Chopper Stabilized Amplifier ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอ่านค่าที่ไม่ถูกต้องสามารถทำให้ลดลงได้โดยการสอบเทียบทางสถิติหลายๆ ครั้งเช่น การสังเกตและการรักษาค่าอินพุตให้คงที่ ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินี้มักจะเกิดขึ้นตามการกระจายของเกาส์เซียน

9. ความคลาดเคลื่อนทางสถิติ (Statistical Errors) ความคลาดเคลื่อนทางสถิติ (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Deviation) ถ้า $x_1, x_2, \ldots, x_n$ แทนกลุ่มของค่าที่วัดได้ในเชิงปริมาณค่าเฉลี่ยทางสถิติ $\bar{x}$ ที่ได้จากการอ่านค่าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.17

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (2.17)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถวัดได้จากการกระจายของค่าที่อ่านได้จากสเกลซึ่งใช้ในการคำนวณเพื่อหมาค่าเฉลี่ย โดยหาได้จากสมการ 2.18

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i^2} \qquad (2.18)$$

เมื่อ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

d_i คือการเบี่ยงเบนของจุดๆ หนึ่งจากค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $|x_i - \bar{x}|$

n คือจำนวนครั้งของการสังเกต

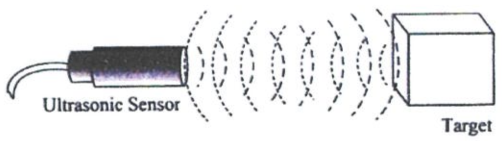
2.4.4.6 ความสามารถซ้ำค่าเดิม (Repeatability)

ความสามารถซ้ำค่าเดิมหมายถึงการวัดปริมาณของตัวแปรชนิดเดียวกันจำนวนหลายๆ ครั้งจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดตัวเดียวกัน โดยค่าที่อ่านได้จากการวัดในแต่ละครั้งนั้นเท่ากันหรือมีความใกล้เคียงกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของความเที่ยงตรง (Precision)

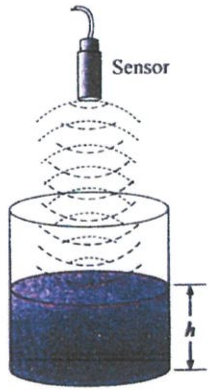
2.5 พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Proximity)

พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้หลักการพื้นฐานของการแผ่กระจายคลื่นความถี่สูงที่อยู่ในช่วงระหว่าง 20 kHz ถึง 1 GHz ออกไปกระทบกับวัสดุที่อยู่ภายในบริเวณของสนามคลื่นความถี่และสะท้อนกลับมายังตัวรับ หรือเรียกว่า *"Echo"* การเซนเซอร์และแยกแยะคลื่นความถี่ที่ส่งออกไปจากแหล่งกำเนิดเปรียบเทียบสัญญาณทางด้านเอาต์พุตสามารถทำได้โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ควบคุม (Controller) หรืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตนั้นอาจเป็นได้ทั้งอนาล็อกหรือดิจิตอลขึ้นอยู่กับการใช้งาน รวมไปถึงการติดตั้งและอุปกรณ์ที่ต่อร่วม

ในรูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของการสะท้อนกลับคลื่นความถี่สูงที่ไปกระทบกับวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็งหรือรูปที่ 2.13 (ก) และเหลวหรือรูปที่ 2.13 (ข)



(ก) เซนเซอร์ระยะห่างของวัตถุ



(ข) เซนเซอร์ระดับความสูงของของเหลว

รูปที่ 2.13 การสะท้อนกลับของคลื่นจากวัสดุที่เป็นของแข็งและของเหลว [15]

การแผ่กระจายคลื่นความถี่สูงของ Ultrasonic Sensor จะสัมพันธ์กับค่าความเร็วคงที่ตลอดจนช่วงเวลาในการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่ที่กระทบกับวัสดุและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างของวัสดุ ด้วยเหตุนี้ พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคจึงเป็นอุปกรณ์ที่ประยุกต์ใช้ความถี่สำหรับตรวจวัดระยะห่างของวัสดุได้ เช่นการกระจัดและการควบคุมระดับ เป็นต้น

พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคสามารถใช้ตรวจจับชนิดของวัสดุได้หลากหลายทั้งชนิดที่เป็นโลหะและอโลหะ วัสดุโปร่งแสงหรือทึบแสง ของเหลวและของแข็ง หรือวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กๆ ที่มีพื้นที่เพียงพอในการสะท้อนกลับของคลื่น ข้อดีอีกประการหนึ่งของ Ultrasonic Sensor คือมีผลที่เกิดจากละอองน้ำหรือความชื้นน้อยกว่าอุปกรณ์ชนิด Photoeletric Sensor แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการใช้งานคลื่นอัลตร้าโซนิคคือ วัสดุที่ต้องตรวจจับจะต้องไม่มีลักษณะดังต่อไปนี้เช่นเป็นผ้าบางๆ เป็นยางที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม เป็นแป้งหรือเป็นฝุ่นผง และเป็นโฟมหรือฟองน้ำ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวนั้นจะดูดกลืน (Absorbing) คลื่นความถี่ไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับ

2.5.1 โครงสร้างของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค

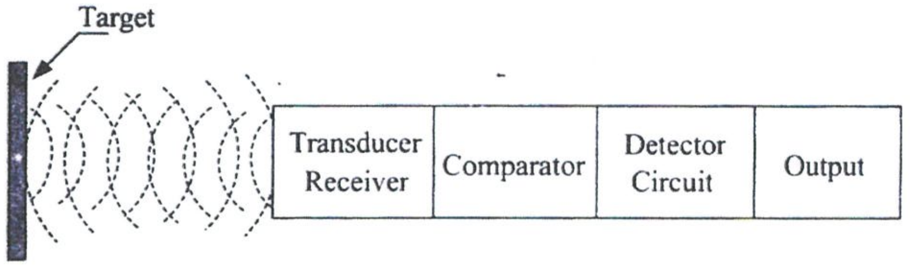
ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1. ทรานสดิวเซอร์และตัวรับ (Transducer and Receiver) ทรานสดิวเซอร์ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่สูงให้แผ่กระจายออกไปทางผิวหน้าของตัวเซนเซอร์พร้อมกับรับการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่เมื่อมีการกระทบพื้นผิวของวัสดุ

2. วงจรเปรียบเทียบและแยกแยะความถี่ (Comparator and Detector Circuit) ทำหน้าที่เปรียบเทียบแยกแยะระหว่างคลื่นความถี่ที่ส่งออกไปกับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับมาและคำนวณหาระยะห่างของวัสดุโดยพิจารณาจากความเร็วในการเดินทางของคลื่นจากตัวส่งไปกระทบกับวัสดุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับในหน่วยของเวลา

3. อุปกรณ์จัดระดับของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (Solid State Output Switching Device) ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงมาจากคลื่นความถี่ (Frequency to Voltage) โดยผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Interface Device) เช่น PLC (Programmable Logic Controller) รูปแบบของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตจะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ คือ สัญญาณแบบดิจิตอลและแบบอนาล็อก สัญญาณที่อยู่ในรูปของดิจิตอลจะแสดงสภาวะของการเซนเซอร์ได้ 2 สภาวะคือ มีหรือไม่มีวัสดุอยู่ภายในบริเวณคลื่นความถี่ของการเซนเซอร์ แต่สัญญาณแบบอนาล็อกจะสามารถแสดงถึงระยะและตำแหน่งของวัสดุที่อยู่ภายในบริเวณคลื่นความถี่ของการเซนเซอร์ได้อย่างต่อเนื่อง

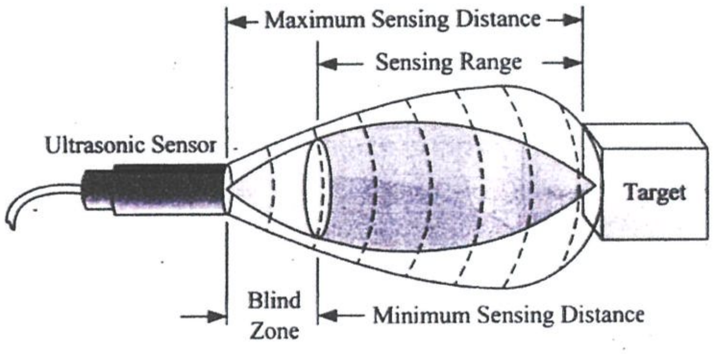
4. ความถี่ใช้งาน (Sensing Frequency) โดยทั่วไปช่วงความถี่ใช้งานของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคในอุตสาหกรรมจะอยู่ระหว่าง 25 kHz ถึง 500 kHz ในทางการแพทย์จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 MHz หรืออาจมากกว่านั้น อย่างไรก็ตามความถี่ที่ใช้สำหรับการเซนเซอร์จะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะห่างของวัสดุ เช่นความถี่ 5 kHz อาจใช้งานได้ระยะถึง 10 m (33 ft) หรือมากกว่านั้น ส่วนความถี่ 200 kHz จะมีระยะในกากรเซนเซอร์ได้ไม่เกิน 1 m (3 ft) เท่านั้น



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของ Ultrasonic Proximity Sensor [15]

2.5.2 ระยะการเซนเซอร์และระยะที่เหมาะสมต่อการใช้งาน (Sensing Range and Effective Beam)

ระยะการเซนเซอร์ของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคคือบริเวณพื้นที่ใช้งานหรือขอบเขตระหว่างระยะใกล้สุดและไกลสุดที่อุปกรณ์เซนเซอร์สามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



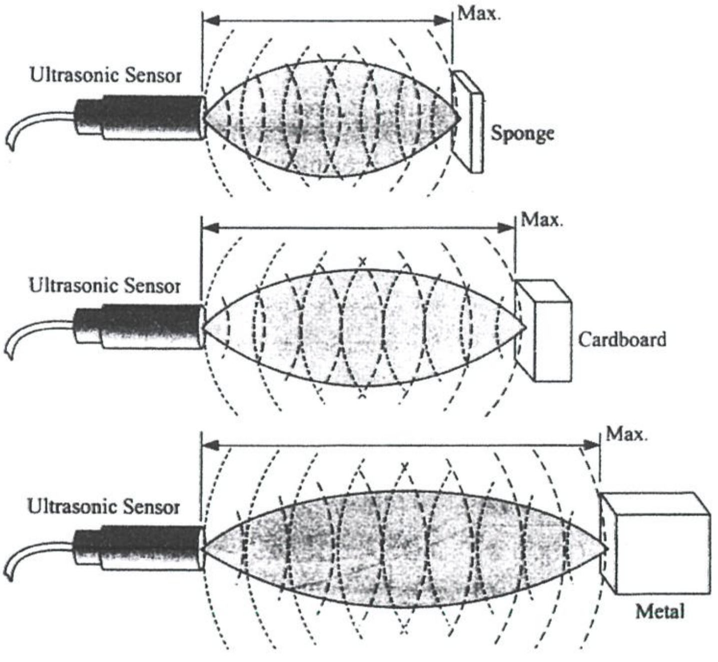
รูปที่ 2.15 แสดงระยะในการเซนเซอร์ของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค [15]

2.5.2.1 ระยะใกล้สุดของการเซนเซอร์ (Minimum Sensing Distance)

การเซนเซอร์แบบไม่สัมผัสโดยใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคจะมีตำแหน่งที่อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้อยู่ในบริเวณใกล้ๆ กับผิวหน้าของตัวเซนเซอร์ เช่นถ้าส่งคลื่นความถี่ออกไปกระทบวัสดุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวเซนเซอร์ในขณะที่ตัวเซนเซอร์ยังรับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับมาก่อนหน้านี้ยังไม่สมบูรณ์ อุปกรณ์เซนเซอร์ก็จะไม่สามารถรับคลื่นความถี่ใหม่ที่สะท้อนกลับมาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ พื้นที่บริเวณนี้เรียกว่า “เขตบอด” (Blind Zone) จุดสิ้นสุดของ Blind Zone หมายถึงระยะห่างที่ใกล้ที่สุดที่ตัวเซนเซอร์สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำและน่าเชื่อถือ

2.5.2.2 ระยะห่างสูงสุดของเซนเซอร์ (Maximum Sensing Distance)

ระยะห่างสูงสุดของการเซนเซอร์จะถูกกำหนดด้วยขนาดและชนิดของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ยกตัวอย่างเช่น โฟม ผ้าฝ้าย และยาง เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับคลื่นความถี่ การใช้งานคลื่นอัลตร้าโซนิคกับวัสดุเหล่านี้จึงค่อนข้างยากเพราะการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่มีน้อยมาก ไม่เหมือนกับพวกเหล็ก พลาสติก หรือแก้ว



รูปที่ 2.16 แสดงระยะห่างสูงสุดในการเซนเซอร์ของวัสดุแต่ละชนิด [15]

ดังนั้นการใช้งานพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคกับวัสดุใดๆ จะต้องพิจารณาถึงความสารถในการดูดซับเสียงหรือคลื่นความถี่ของวัสดุนั้นๆ เป็นสำคัญ เนื่องจากความสามารถในการดูดซับคลื่นความถี่ของวัสดุแต่ละชนิดจะเป็นตัวกำหนดระยะห่างสูงสุดของการเซนเซอร์ด้วยเช่นกัน

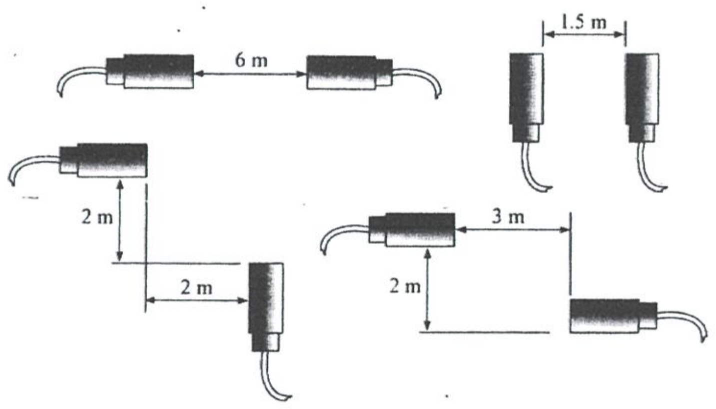
2.5.3 ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ (Spacing Consideration)

ในกรณีใช้งานตัวเซนเซอร์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์จะพิจารณาจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ออกไป ซึ่งจะต้องมีระยะห่างเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสอดแทรก (Interference) หรือกวนกันของคลื่นความถี่ทีเกิดขึ้นจาก Ultrasonic Proximity

Sensor แต่ละตัว ดังแสดงรูปที่ 2.17 การสอดแทรกของคลื่นความถี่ดังกล่าวนี้บางครั้งเรียกว่า "Crosstalk" โดยสามารถพิจารณาถึงระยะห่างมาตรฐานระหว่างเซนเซอร์แต่ละตัวได้ดังรูปที่ 2.18

(ก) ระยะห่างที่ถูกต้องและเหมาะสม (ข) ตำแหน่งที่ทำให้เกิดการกวนกันระหว่างคลื่นความถี่

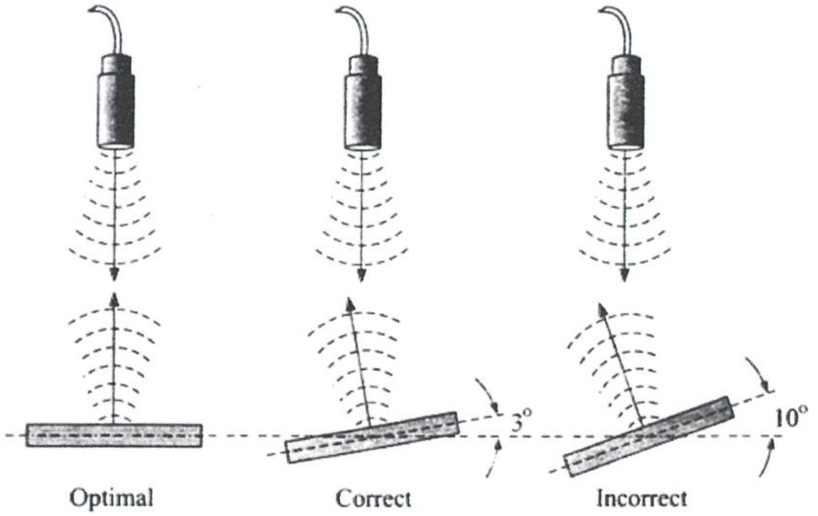
รูปที่ 2.17 ระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์พร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค [15]



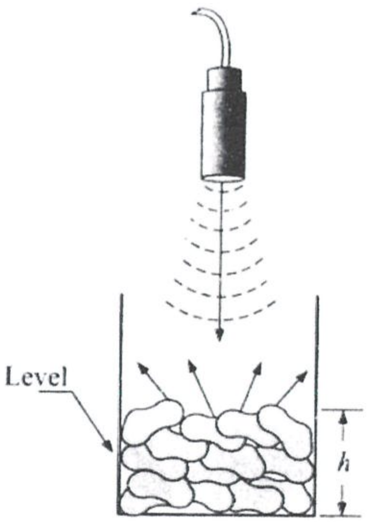
รูปที่ 2.18 ระยะห่างมาตรฐานของพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิค [15]

2.5.4 ตำแหน่งที่เหมาะสมของเป้าหมาย (Target Consideration)

โดยปกติแล้วพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคจะได้รับผลกระทบที่เกิดจากคุณลักษณะพื้นผิวของวัสดุน้อยกว่าอุปกรณ์ชนิด Photoelectric Sensor อย่างไรก็ตาม ในการเซนเซอร์วัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ตำแหน่งในการจัดวางระดับของวัสดุที่มีลักษณะเป็นก้อนๆ และไม่สม่ำเสมอ เช่นดังรูปที่ 2.20 และจากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่โดยเฉลี่ยทำมุมไม่เกิน 3° เช่นเดียวกัน แต่ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตร้าโซนิคที่ใช้กับวัสดุลักษณะนี้จะมีความเที่ยงตรงต่ำ

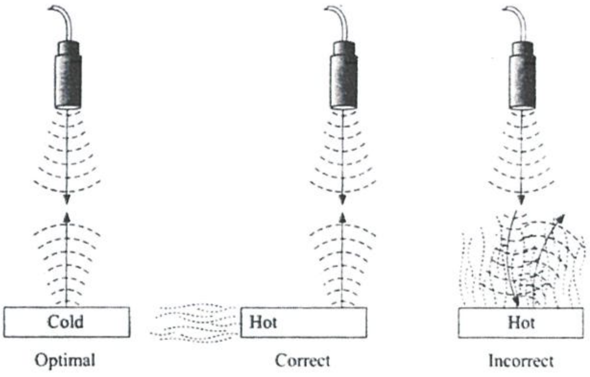


รูปที่ 2.19 ตำแหน่งการวางวัสดุกับพื้นผิวเรียบอย่างเหมาะสม [15]



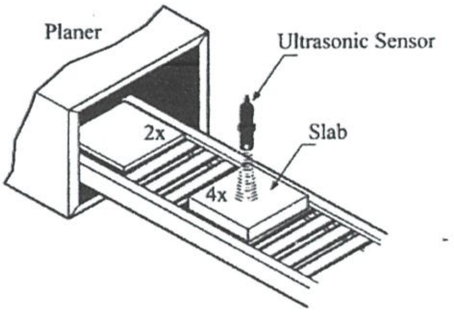
รูปที่ 2.20 การเซนเซอร์วัสดุที่ไม่มีความสม่ำเสมอ [15]

นอกจากนี้ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่มีอุณหภูมิมาเกี่ยวข้องก็มีผลกระทบกับย่านในการเซนเซอร์เช่นกัน วัสดุที่มีอุณหภูมิสูงและแผ่ความร้อนออกมาจะให้เกิดความผิดเพี้ยนของคลื่นอัลตร้าโซนิคขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.21 โดยระยะการเซนเซอร์ของอุปกรณ์จะสั้นลงและผลที่ได้จากการเซนเซอร์จะไม่แน่นอน

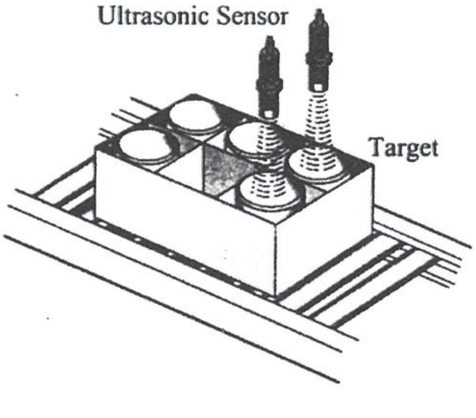


รูปที่ 2.21 ลักษณะการเซนเซอร์วัสดุที่มีผลกระทบจากอุณหภูมิ [15]

การประยุกต์ใช้งานพร็อกซิมิตี้ชนิดอัลตร้าโซนิคเพื่อคัดแยกวัสดุโดยการเซนเซอร์ความหนา สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.22 ส่วนรูปที่ 2.23 แสดงการติดตั้งเพื่อตรวจนับจำนวนของวัสดุที่บรรจุอยู่ภายในกล่องโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.22 การประยุกต์ใช้ในงานเซนเซอร์ความหนาของวัสดุ [15]



รูปที่ 2.23 การประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบจำนวนวัสดุ [15]

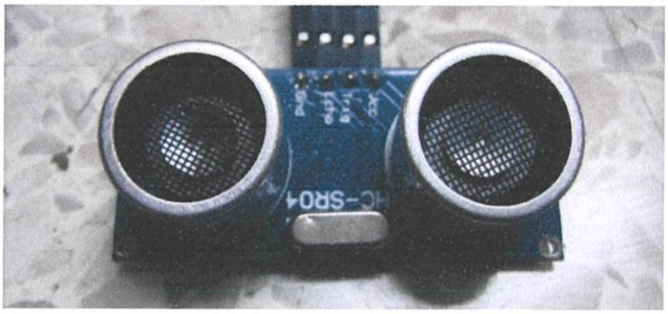
บทที่ 3
อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

3.1 กล่าวนำ

ระบบรักษาความปลอดภัยที่วิจัยนี้ได้ออกแบบโดยใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคซึ่งเป็นที่นิยมในการตรวจหาระยะหรือสิ่งกีดขวางในงานทางอุตสาหกรรม โดยทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 ซึ่งสามารถรองรับพอร์ทข้อมูล ได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้พยายามออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์อื่นๆ ในท้องตลาดเพื่อที่จะสามารถทดลองและติดตั้งระบบทั้งหมดลงในรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อปรับยืนได้ “STANDY” ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ข้อมูลอุปกรณ์ของรถเข็นไฟฟ้าชนิดนี้ด้วย ซึ่งทางผู้วิจัยได้รับความกรุณาจากคณะอาจารย์ผู้เป็นเจ้าของโครงการรถเข็นไฟฟ้ามาโดยตลอด รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

3.2 เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Ranging Module HC-SR04)

โมดูล HC-SR04 ในรูปที่ 3.1 เป็นเซนเซอร์เพื่อใช้ในการวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคที่มีราคาถูก เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาการใช้งานและใช้ได้กับบอร์ดควบคุมได้ทุกชนิด หลักการคือการปล่อยคลื่นอัลตร้าโซนิคไปยังวัตถุที่เป็นเป้าหมายและจับเวลาการกลับมาของเสียงสะท้อนเพื่อนำมาคำนวณระยะทาง



รูปที่ 3.1 โมดูลเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04

โมดูลอัลตร้าโซนิค HC-SR04 สามารถวัดระยะได้ตั้งแต่ 2 เซนติเมตร ถึง 400 เซนติเมตร มีค่าความแม่นยำผิดพลาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ภายในโมดูลประกอบด้วยวงจรสำหรับสร้างและรับคลื่นสัญญาณอัลตร้าโซนิค

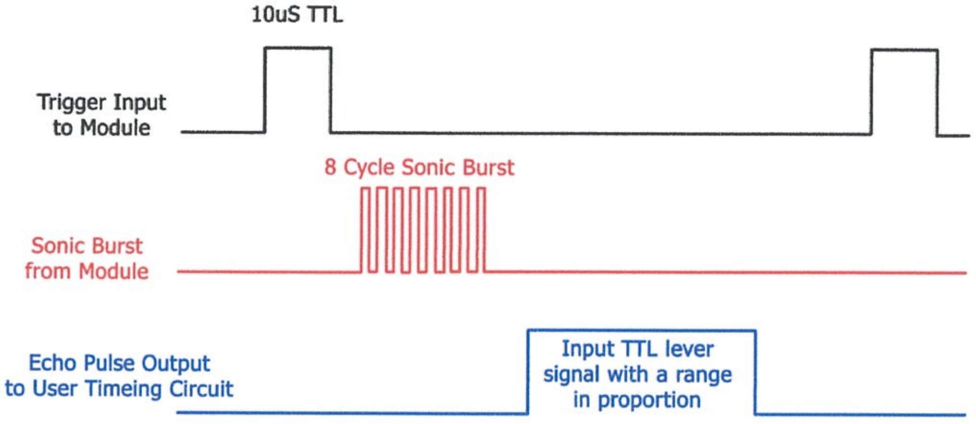
3.2.1 หลักการพื้นฐานในการทำงาน

1. เริ่มต้นโดยการส่งสัญญาณ IO Trigger ยาว 10 ไมโครวินาที

2. หลังจากนั้นโมดูลจะส่งคลื่นความถี่ 40 KHz ออกไป 8 พัลส์ และรอตรวจสอบว่ามีสัญญาณพัลส์กลับ (Echo) มายังตัวรับหรือไม่ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3. ถ้ามีสัญญาณกลับมาในระดับที่สูงหลังจากส่งสัญญาณ IO Trigger เวลาที่ใช้ก่อนจะได้รับสัญญาณ Echo จะถูกนำมาคำนวณหาระยะทาง โดยสูตรการคำนวณดังนี้

ระยะทางจริง = ความยาวของสัญญาณสะท้อน x 340 (m/s) /2



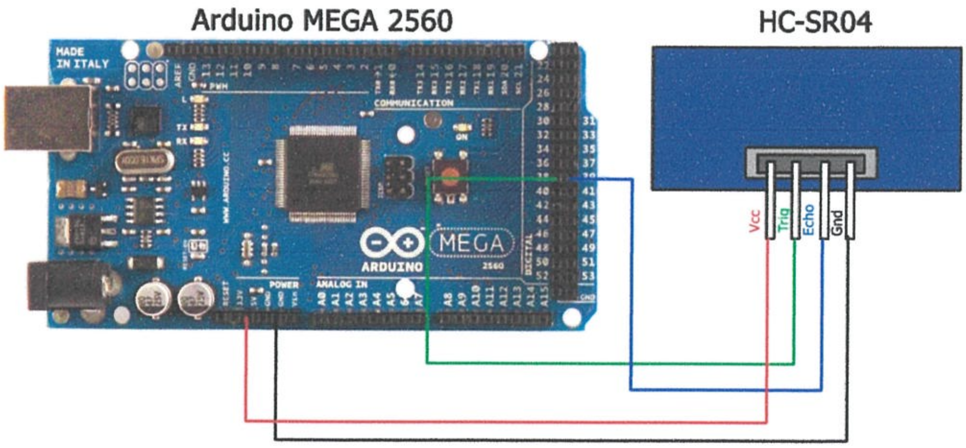
รูปที่ 3.2 แสดงการรับและส่งของโมดูล HC-SR04

3.2.2 การเชื่อมต่อเพื่อใช้งาน

โมดูล HC-SR04 นั้นจำเป็นจะต้องต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้หลายชนิด ซึ่งมีปัจจัยในการทำงานดังแสดงในตารางที่ 3.1 และมีปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการใช้งานดังนี้

1. สายไฟสำหรับจ่าย 5 โวลต์
2. สายไฟสำหรับสัญญาณ Trigger Pulse Input
3. สายไฟสำหรับสัญญาณ Echo Pulse Output
4. สายไฟสำหรับ 0 โวลต์ (Ground)

ในการใช้งานของงานวิจัยนี้นั้น จะใช้บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 ซึ่งสามารถต่อเข้ากับโมดูล HC-SR04 ได้โดยตรง โดยการเชื่อมต่อกันนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



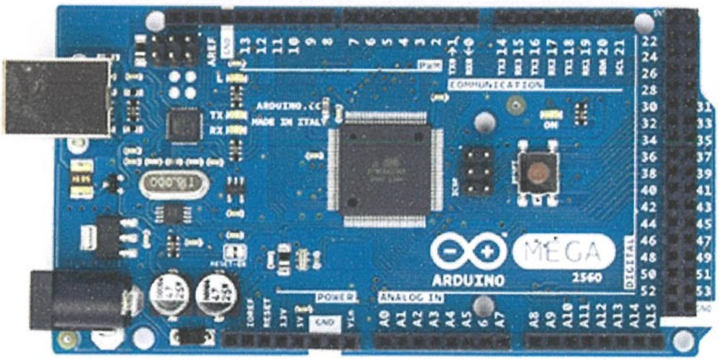
รูปที่ 3.3 แผนผังการเชื่อมต่อโมดูล HC-SR04 1 ตัว กับบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ ที่จำเป็นในการใช้งานโมดูล HC-SR04

Working Voltage	DC 5 Volts
Working Current	15 mA
Working Frequency	40kHz
Max Range	4 m
Min Rang	2 cm
Measuring	15 degree
Trigger Input signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15 mm

3.3 บอร์ดอาร์ดูโน่ เมก้า 2560 (Arduino Mega 2560)

บอร์ด Arduino Mega 2560 เป็นบอร์ดควบคุมที่มีพื้นฐานมาจาก ATmega2560 [12] มี 54 อินพุต/เอาท์พุต (ซึ่งมี 15 ช่องที่สามารถใช้แบบ PWM ได้) มี 16 อินพุตแบบอนาล็อก, 4 UARTs (ฮาร์ดแวร์ซีเรียลพอร์ต), 1 ช่องของคริสตัล 16 MHz, 1 ช่องสำหรับ USB, แจ๊คไฟ, 1 ICSP header, และปุ่มรีเซ็ต ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นบอร์ดซึ่งมีทุกอย่างที่จะสนับสนุนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงแค่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB หรือกับ Adaptor AC to DC หรือแบตเตอรีเพื่อเริ่มต้นการทำงาน กล่าวได้ว่า รุ่น Mega 2560 เป็นรุ่นที่ออกแบบมาที่ใช้สะดวกและมีความปลอดภัยสูงแทนรุ่น Arduino Mega 2560



รูปที่ 3.4 บอร์ด Arduino Mega 2560 R3 [11]

3.3.1 ลักษณะของบอร์ด Arduino Mega 2560

บอร์ด Arduino Mega 2560 แตกต่างจากบอร์ดที่เคยมีมาของ Arduino ทั้งหมด เนื่องจากมันไม่ได้ใช้ FTDI USB-to-serial Driver Chip แต่จะมี ATmega16U2 (ATmega8U2 ในบอร์ดรุ่น Revision 1 และ Revision 2) อุปกรณ์และลักษณะต่างๆ ได้ถูกอธิบายไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์และลักษณะของ บอร์ด Arduino Mega 2560 โดยสังเขป

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

3.3.2 แหล่งพลังงาน

บอร์ด Arduino Mega 2560 สามารถทำงานได้โดยการเชื่อมต่อผ่านสาย USB หรือแหล่งจ่ายภายนอก แหล่งพลังงานจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

แหล่งพลังงานจากภายนอก (Non-USB) สามารถมาได้จากอะแดปเตอร์ AC to DC (Wall-wart) หรือแบตเตอรี อะแดปเตอร์สามารถเชื่อมต่อด้วยการเสียบปลักขนาด 2.1 mm Centre-positive เข้าไปในแจ๊คของบอร์ดได้ ส่วนแหล่งจ่ายที่มาจากแบตเตอรีสามารถใส่ได้โดยตรงในขา Gnd และ Vin ของ Power คอนเนคเตอร์ได้

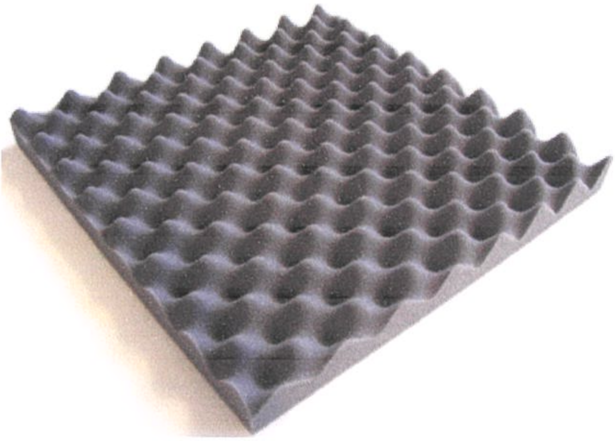
บอร์ดสามารถทำงานได้ด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 6–20 โวลต์ ถ้าให้ไฟน้อยกว่า 7 โวลต์ ขา 5 โวลต์อาจจ่ายไฟให้ได้น้อยกว่า 5 โวลต์ ทำให้การทำงานของบอร์ดอาจจะไม่เสถียร ถ้าใช้ไฟมากกว่า 12 โวลต์ ตัวควบคุมแรงดันอาจจะเกิดความร้อนสูงและทำลายบอร์ดได้ ดังนั้นช่วงของแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงควรเป็น 7–12 โวลต์

3.4 แผ่นลดเสียงสะท้อน (Acoustic Sponge Foam)

แผ่นลดเสียงสะท้อนในปัจจุบันเป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม, บ้าน, สตูดิโอ และอาคารพาณิชย์ต่างๆ แบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือแบบ Eggcrate เนื่องจากเป็นแบบที่มีราคาถูกและมีความสามารถในการดูดและป้องกันการสะท้อนได้ดีมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.4.1 คุณลักษณะ

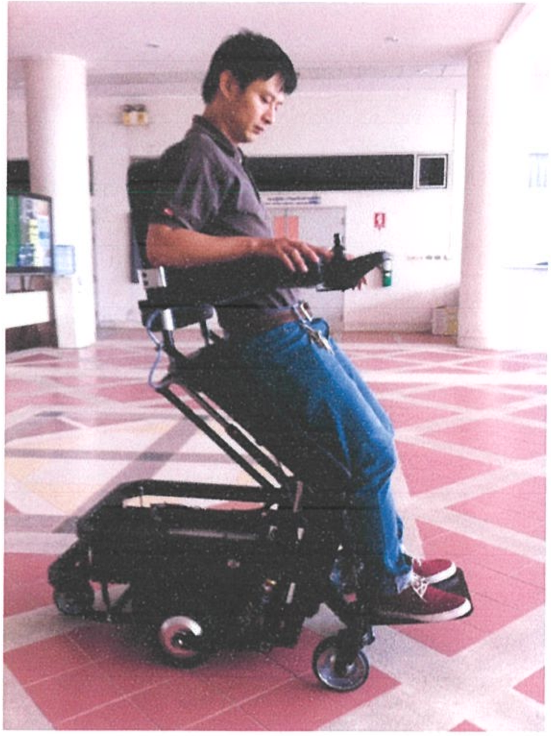
1. มีช่วงความหนาแน่นอยู่ที่ 23.5 – 25.5 kg/m^3
2. สามารถลดความดังเสียงได้ทุกระดับ
3. ดูดซับเสียงสะท้อน
4. ราคาไม่แพง
5. ติดตั้งง่ายด้วยเทปกาวสองหน้า
6. น้ำหนักเบา



รูปที่ 3.5 แผ่นลดเสียงสะท้อน Acoustic Sponge Foam

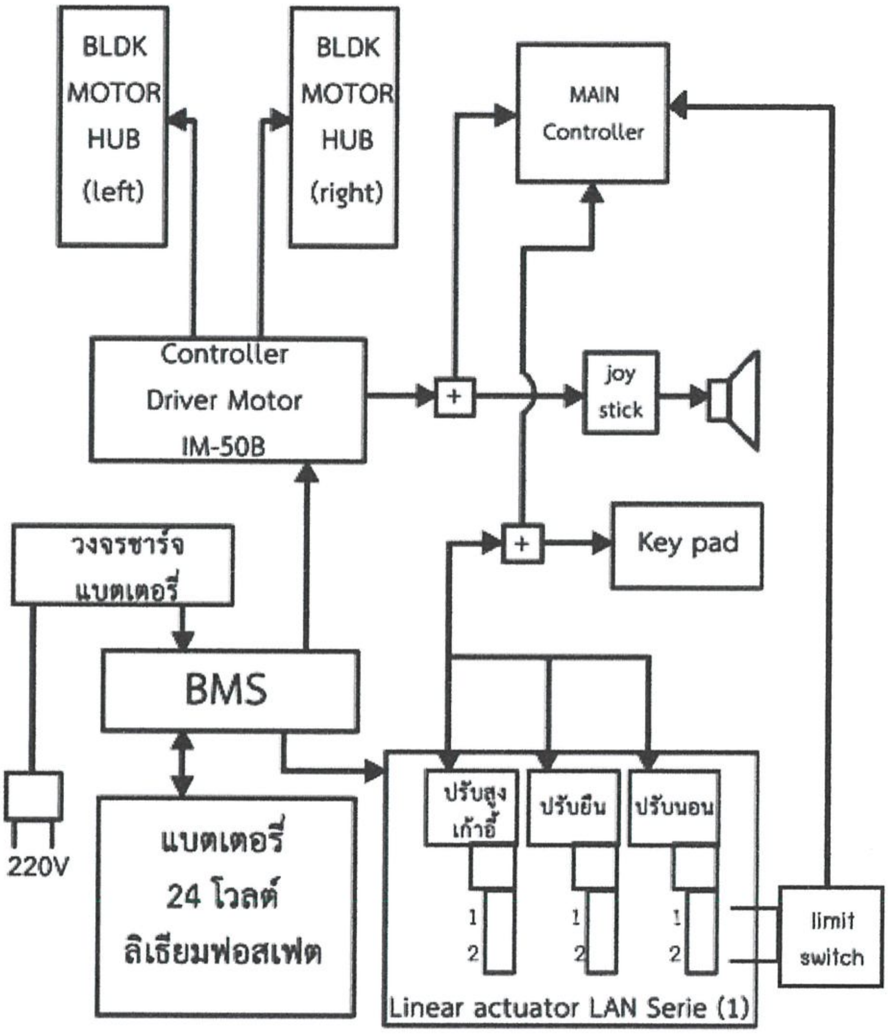
3.5 รถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ (STANDY)

รถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ STANDY [1] ในรูปที่ 3.6 เป็นรถเข็นในโครงการวิจัยของคณาจารย์ซึ่งถูกออกแบบให้ปรับยืนได้ และพัฒนาชุดควบคุมให้ใช้งานง่าย ซึ่งสามารถโปรแกรมความต้องการของผู้ใช้งาน ทางคณาจารย์ได้ออกแบบโครงสร้างของรถเข็นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Solid Works โดยรถเข็นจะประกอบด้วย ล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ ล้อพยุง 3 ล้อ มอเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ 2 ตัว มอเตอร์ควบคุมตำแหน่งยืน-นั่ง-นอน-เอนหลัง 3 ตัว แบตเตอรีความจุสูง 1 ชุด โช๊คอัพ 3 ชุด และวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานต่างๆ



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ STANDY

การออกแบบตัวรถเข็นเกิดจากการศึกษารถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าของบริษัท LEVO จากนั้นจึงหาอุปกรณ์ในท้องตลาดว่าอุปกรณ์ใดเหมาะสม และซื้อมาเพื่อวัดขนาดและออกแบบโครสร้างของตัวรถให้เข้ากับอุปกรณ์ที่ต้องการ การทำงานและภาพรวมของระบบภายในตัวรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้า STANDY สามารถแสดงในแผนผังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังภาพรวมของระบบภายในรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้ [1]

3.5.1 อุปกรณ์ในระบบของรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้

1. BLDC Motor HUB
2. Brushless Wheelchair Joystick Controller
3. BMS
4. วงจรชาร์จแบตเตอรี
5. แบตเตอรี 24 โวลต์ ลิเธียมไอออนฟอสเฟต
6. ระบบโช๊คปรับความสูงเก้าอี้ผู้ป่วย Linear Actuator

7. คีย์แพด LAP4N
8. คอนโทรลเลอร์ LAK4N

3.6 BLDC Motor HUB Model: PW-12H Wheelchair Hub Motor

ในรูปที่ 3.8 เป็นมอเตอร์แบบ HUB ซึ่งถูกออกแบบมาให้แกนของมอเตอร์อยู่ภายในล้อขับเคลื่อนทำให้ประหยัดพื้นที่ภายในของรถหรือหุ่นยนต์ ยางของมอเตอร์สามารถถอดเปลี่ยนได้และน้ำหนักเบา

3.6.1 สิ่งจำเป็นสำหรับการใช้ BLDC Motor HUB Model: PW-12H

1. แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์
2. กำลังไฟฟ้า 220 วัตต์

3.6.2 คุณสมบัติของ BLDC Motor HUB Model: PW-12H

1. ความเร็ว 5-8 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. ทอร์ก 15 Nm
3. ความเร็วในการหมุน 180-300 rpm
4. มีประสิทธิภาพ 78%
5. ปรับความเร็วได้
6. มอเตอร์ล้อมีเบรกในตัวแบบแปรงถ่าน
7. ล้อทำการเบรกอัตโนมัติเมื่อปล่อยตัวควบคุมจอยสติ๊ก
8. ยางสามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย
9. น้ำหนัก 7.2 กิโลกรัม

รูปที่ 3.8 BLDC Motor HUB Model: PW-12H Wheelchair Hub Motor (brush/gear) [1]

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ BLDC Motor HUB Model: PW-12H

ลักษณะ (Description)	U (v)	I (A)	P1 (W)	M (N.m)	n (rpm)	P2 (W)	Eff (%)
Noload	24.06	0.729	17.54	0.40	110.3	4.61	26.3
Max Eff	24.03	3.376	81.14	5.62	101.4	59.66	73.5
Max Pout	23.91	13.09	313.1	23.82	72.6	181.0	57.8
Max Torque	23.91	13.09	313.1	23.82	72.6	181.0	57.8
End	23.91	13.09	313.1	23.82	72.6	181.0	57.8

3.7 Brushless Wheelchair Joystick Controller

ตัวคอนโทรลเลอร์อัจฉริยะซึ่งทำการควบคุมมอเตอร์ด้วยจอยสติ๊กในรูปที่ 3.9 ทำงานด้วยโปรแกรมจากบริษัทไมโครชิพ เป็นวงจรสำเร็จรูปซึ่งยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์รถเข็นได้ถึง 10 เท่ามากกว่ากว่ามอเตอร์รถเข็นธรรมดาซึ่งเป็นแบบใช้แปรงถ่านที่มีขายในตลาด

รูปที่ 3.9 จอยสติ๊กและคอนโทรลเลอร์รถเข็นผู้ป่วย IM-50B **[1]**

3.7.1 สิ่งที่จำเป็นต่อการใช้จอยสติ๊กและไมโครคอนโทรลเลอร์ IM-50B

1. แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์
2. กระแสไฟ 50 แอมแปร์

3.7.2 คุณสมบัติของจอยสติ๊กและไมโครคอนโทรลเลอร์ IM-50B

1. ตัวเครื่องคอนโทรลเลอร์เป็นแบบ Programmable All–in-one
2. ตั้งค่าความเร็วได้ 5 ระดับ
3. การเบรกเป็นแบบ Regenerative
4. Parking Brake Open Circuit Detection

5. Parking Brake Manual Release Microswitch Detection
6. รวมการเชื่อมต่อไปหามอเตอร์และเครื่องชาร์จ

รูปที่ 3.10 จอยสติ๊กและคอนโทรลเลอร์ IM-50B กับ BLDC Motor HUB Model: PW-12H **[1]**

3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อผู้ป่วยหรือผู้พิการสามารถที่จะเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้อย่างอิสระมากกว่าแต่ก่อน ทำให้ลดความลำบากของผู้ดูแลลงได้มาก แต่เนื่องจากทัศนวิสัยจากผู้ป่วยที่อยู่บนรถเข็นนั้นมีจำกัด ทำให้เมื่อเคลื่อนย้ายตำแหน่งด้วยตนเองทำให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากการชนหรือตกได้ นักวิจัยหลายท่านจึงได้พยายามนำเสนอความคิดใหม่ๆ ในการป้องกันหรือลดอันตรายที่เกิดจากความจำกัดของทัศนวิสัยผู้ป่วย หรือลดงบประมาณในการสร้างให้น้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ป่วยหรือผู้พิการที่กำลังทรัพย์มีจำกัด สามารถเข้าถึงระบบป้องกันภัยเหล่านั้นได้ เราสามารถสรุปวิธีการหลบเลี่ยงอันตรายต่างๆ ที่ได้เคยมีการวิจัยมาแล้วได้ดังต่อไปนี้

งานวิจัยของ DA Sanders, U Stott, MJ Goodwin, IGE Tewkesbury, H Cawte และคณะ [2] ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการนำทางรถเข็นผู้ป่วยผ่านช่องประตูโดยใช้คอมพิวเตอร์คำนวณข้อมูลที่ได้จากตัวส่งคลื่นอัลตร้าโซนิคสองตัวและตัวรับสองตัวด้านข้างรถในการสร้างภาพที่อยู่ข้างหน้ารถและคำนวณช่องทางที่รถอาจสามารถผ่านไปได้ การคำนวณของรถจะคำนวณความเป็นไปได้จากการตรวจจับได้สามกรณี กรณีแรกคือไม่มีการตรวจพบสิ่งกีดขวางจากทั้งสองเซนเซอร์ นั่นแปรว่ารถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างปกติ กรณีที่สองคือ เซนเซอร์ตัวหนึ่งสามารถตรวจจับวัตถุข้างหน้าได้แต่อีกตัวไม่สามารถตรวจจับได้ รถเข็นจะถูกเคลื่อนไปทางด้านที่ไม่มีการตรวจจับได้ กรณีที่สามคือเซนเซอร์ทั้งสองตรวจจับได้ทั้งคู่ ซึ่งอาจเป็นวัตถุตั้งเดี่ยวหรืออาจเป็นกำแพง รถเข็นจะเคลื่อนที่ไปทางด้านตรงกันข้ามของทิศทางรถ

งานวิจัยของ Amal Elawad และคณะ [3] ได้ศึกษาและทดลองสร้างหุ่นยนต์ในการขนส่งคนพิการเพื่อลดการพึ่งพาแรงงานของมนุษย์และประหยัดค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรภายในโรงพยาบาล การออกแบบและทดลองได้ทำกับหุ่นยนต์จำลองขนาดเล็ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองคือเซนเซอร์อินฟราเรด (IR) และดีซีมอเตอร์ L293D ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Atmega16L งานวิจัย

นี้เน้นที่ความประหยัดและความคล่องตัวในการขนส่ง เซนเซอร์อินฟราเรดใต้หุ่นจะจะตรวจจับเส้นขาวดำที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

งานวิจัยของ Hiroki Murakami และ Hirokazu Seki [4] ได้ค้นคว้าและออกแบบรถเข็นคนพิการที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยอาศัยวิธีการ Fuzzy ซึ่งอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคสี่ตัวหน้าตัวรถ ซึ่งทิศทางที่เป็นไปได้ในการเคลื่อนที่ถูกตั้งไว้ห้าเส้นทางการเลือกเส้นทางใดนั้นขึ้นอยู่กับผลจากการคำนวณจาก PID Control งานวิจัยนี้เน้นที่การเลือกเส้นทางที่อยู่ข้างหน้ารถเข็นเพียงอย่างเดียว

งานวิจัยของ Gang Liu, Lei Zhang, Meng Yao, Chao Zhang [5] ได้ค้นคว้าและออกแบบรถเข็นไฟฟ้าที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวาดด้วยวิธีการ Fuzzy คำนวณด้วยชิป 8 บิต รับข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค UT-180 สามชุดด้านหน้ารถ เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่เป็นไปได้สามเส้นทาง

งานวิจัยของ Mohamed Fezari และ Abd-Erahman Khati [6] ได้ออกแบบรถเข็นไฟฟ้าที่ผสานการควบคุมที่มาจากหลายอินพุตเช่น ข้อมูลจากจอยสติ๊ก, ข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค MSU05 และคำสั่งจากไมโครโฟน ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F252

งานวิจัยของ Tilak Dutta และ Geoff R. Fernie [7] ได้ศึกษาการใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคสำหรับป้องกันการปะทะ เพื่อที่จะเป็นข้อมูลในการออกแบบสร้างระบบรักษาความปลอดภัยในอนาคต และค้นพบว่าเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคมีข้อจำกัดบางประการในการตรวจจับค้นหาระยะในบางสภาพแวดล้อมที่พบปกติ เนื่องจากวัสดุบางชนิดในสิ่งแวดล้อมมีความความสามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ต่างกัน การตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวาง มีข้อจำกัดในเรื่องมุมที่ใช้ในการตรวจจับ หรือแม้แต่รูปร่างของวัตถุสิ่งของบางอย่างที่เซนเซอร์ไม่สามารถตรวจจับได้เป็นต้น

งานวิจัยของ Malek NJAH และ Mohamed JALLOULI [8] ได้ออกแบบรถเข็นไฟฟ้าซึ่งอาศัยวิธีการ Fuzzy ในการคำนวณหาเส้นทาง โดยใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคอัลตร้าโซนิคแปดตัวรอบตัวรถ เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่เป็นไปได้และควบคุมการทำงานของจอยสติ๊ก

งานวิจัยของ H. Seki, S. Kobayashi และคณะ [9] ได้ออกแบบวิจัยระบบนำร่องแบบกึ่งอิสระโดยใช้ตัวส่งสัญญาณคลื่นอัลตร้าโซนิคบนเพดานสื่อสารกับตัวรับอัลตร้าโซนิคที่อยู่บนรถเข็นผู้ป่วยด้วย ID Code เพื่อระบุพิกัดของรถเข็นไฟฟ้าและแสดงผ่านหน้ามอนิเตอร์ที่รถเข็น ระบบนี้ถูกติดตั้งและทดสอบในโรงพยาบาลเพื่อลดการใช้บุคลากรในการพาผู้ป่วยไปยังห้องต่างๆ โดยผู้ป่วยก็สามารถที่จะควบคุมทิศทางของรถผ่านจอยสติ๊กได้ด้วยตนเอง

3.9 บทสรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวของในการวิจัย เช่น เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค, บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560, แผ่น Acoustic Sponge Foam และหลักการวัดและคำนวณผลการทดลองต่างๆ ซึ่งจะได้นำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบรักษาความปลอดภัยในรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อต่อไป

งานวิจัยที่ผ่านมาของรถเข็นไฟฟ้าอื่นๆ นั้นจะเน้นที่ระบบนำร่องและระวังภัยที่เกิดจากการชนหรือกระแทกสิ่งกีดขวางในสี่ทิศทางคือเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา โดยระบบมักจะอาศัยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการตรวจหาวัตถุต่างๆ เนื่องจากมีการตรวจจับวัสดุได้หลากหลายชนิด ได้รับผลกระทบจากสีและแสงต่ำ ถึงกระนั้นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการทำมุมกับวัตถุหรือพื้นผิวบางชนิด

การปรับใช้จึงจำเป็นจะต้องอาศัยการออกแบบการจัดวางที่เหมาะสม รวมถึงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์

บทที่ 4

การออกแบบและหลักการทำงาน

4.1 กล่าวนำ

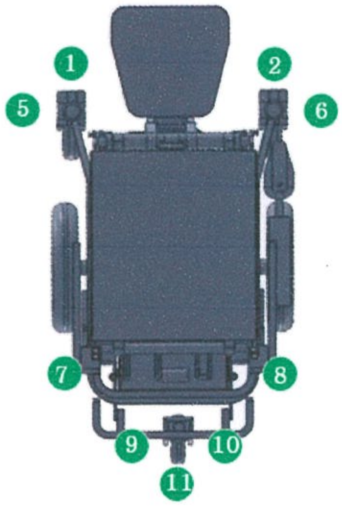
จากที่ได้กล่าวถึงทฤษฎี และหลักการทำงานของอัลตร้าโซนิค บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบย่อยต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นระบบใหญ่ ซึ่งจะแบ่งเป็นส่วนของรถจำลองสำหรับทดสอบการทำงานของอัลตร้าโซนิคกับระบบสำหรับรถเข็นจริง ซึ่งสองระบบนี้แตกต่างกันที่ชนิดของจอยสติ๊กสำหรับรถจำลองนั้นจะเริ่มจากการจัดวางเซนเซอร์รอบตัวรถให้ครอบคลุมทิศทางการเคลื่อนที่ของรถเข็นห้าล้อ จากนั้นกำหนดทิศทางที่ต้องการให้รถเข็นหยุด ซึ่งบอร์ดควบคุมจะสั่งการผ่านวงจรรีเลย์ จากนั้นออกแบบฮาร์ดแวร์ที่สามารถป้องกันการรบกวนระหว่างเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคที่อยู่ใกล้กัน เมื่อประกอบระบบของรถเข็นจำลองเสร็จแล้วจึงเริ่มทดสอบการทำงาน จากนั้นจึงปรับปรุงระบบทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อติดตั้งลงบนรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อของจริง การจะติดตั้งได้นั้นต้องปรับปรุงในส่วนของชนิดของจอยสติ๊กและในส่วนของระบบที่ติดต่อกับตัวควบคุมมอเตอร์ของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อของจริง เป็นต้น

4.2 การออกแบบการวางตำแหน่งของอัลตร้าโซนิคบนรถเข็น

แนวคิดในการวางตำแหน่งของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในรถเข็นจริงแสดงตามรูปที่ 4.1 เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทั้งสิบเอ็ดตัวจะถูกติดตั้งรอบตัวรถ โดยจะติดในบริเวณที่เป็นล้อของรถเข็น เมื่อเซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคหนึ่งตัวหรือมากกว่าสามารถวัดระยะทางได้มากกว่าที่ได้ตั้งค่าไว้ นั่นแปลว่ามีหลุมหรือทางต่างระดับในตำแหน่งนั้น ซึ่งในขณะเดียวกันบอร์ดควบคุมก็จะได้รับสัญญาณการควบคุมจากจอยสติ๊กซึ่งมีค่าเป็นแรงดัน บอร์ดควบคุมจะพิจารณาว่ามาจากเซนเซอร์ตัวใดและทำการคำนวณสัญญาณที่เหมาะสมที่ควรจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ของรถเข็น ทั้งการชะลอหรือหยุดรถ โดยระบบอัลตร้าโซนิคที่ใช้จะมีอยู่สองส่วนคือ

4.2.1 ส่วนสำหรับตรวจหาทางต่างระดับ

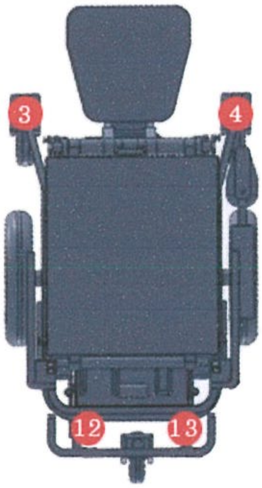
การตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่รอบตัวรถเป็นจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ โดยตำแหน่งเซนเซอร์จะอยู่บริเวณรอบล้อทั้งห้าของรถเข็น การวางตั้งใจที่จะสามารถรองรับการเคลื่อนไหวของรถได้ทุกรูปแบบ ทั้งการเดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา หรือแม้แต่การเคลื่อนที่ในสองทิศทางร่วมกัน เช่น เดินหน้าพร้อมกับเลี้ยวซ้าย เป็นต้น โดยใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทั้งหมด 9 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ส่วนนี้เซนเซอร์ทั้งหมดจะวางรอบล้อของรถในลักษณะหันปากเซนเซอร์ตั้งฉากกับพื้นเพื่อตรวจจับพื้นต่างระดับที่อยู่รอบตัวรถ เซนเซอร์ในส่วนนี้เมื่อมีการตรวจพบทางต่างระดับไม่ว่าจะสูงหรือต่ำกว่าระดับเดิม บอร์ดควบคุมจะสั่งให้รถไม่สามารถบังคับไปในทิศทางนั้นได้ทันที



รูปที่ 4.1 การวางเซนเซอร์สำหรับตรวจหาทางต่างระดับรอบตัวรถ

4.2.2 ส่วนสำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวาง

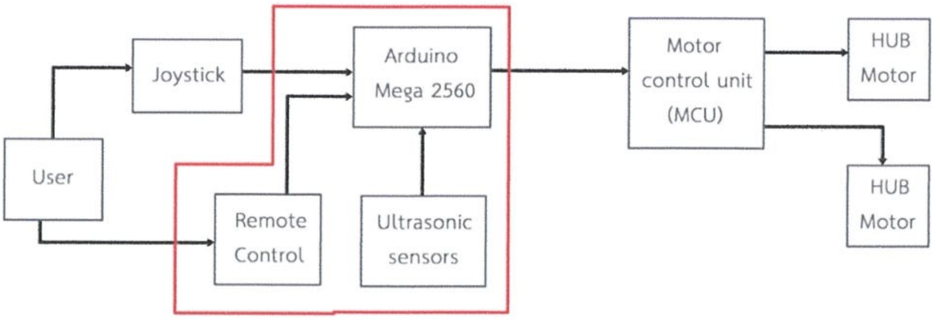
ในส่วนของเซนเซอร์สำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวางจะใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทั้งหมด 4 ตัว แสดงตำแหน่งในรูปที่ 4.2 โดยทิศการตรวจจับของเซนเซอร์จะวางขนานกับทิศการเคลื่อนที่ หน้า, หลังของรถ เมื่อเซนเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ในระยะน้อยกว่า 2 เมตร บอร์ดควบคุมจะปรับเปลี่ยนสัญญาณให้รถเคลื่อนที่ในทิศทางนั้นช้าลง และเมื่อเซนเซอร์อ่านค่าได้น้อยกว่า 0.5 เมตร บอร์ดควบคุมจะปรับเปลี่ยนสัญญาณให้รถหยุดการเคลื่อนที่ เป็นต้น



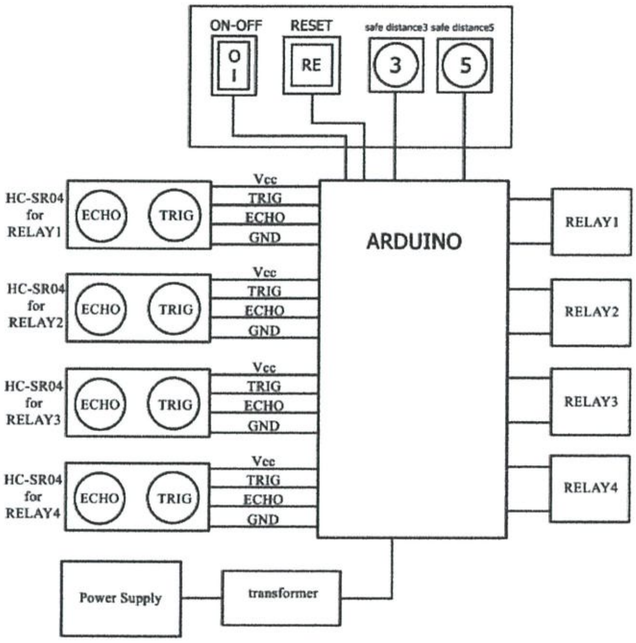
รูปที่ 4.2 การวางเซนเซอร์สำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของรถ

4.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่ออกแบบ

ในระบบสำหรับควบคุมมอเตอร์ผ่านจอยสติ๊กของรถเข็นนั้น จอยสติ๊กของรถเข็นจะส่งสัญญาณทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ ซึ่งระบบที่คิดขึ้นจะเข้าไปแทรกและควบคุมการส่งสัญญาณก่อนจะถึงส่วนควบคุมมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ระบบที่ออกแบบได้ใช้โปรแกรม Arduino-1.0.5-r2 บอร์ดควบคุมจะรับสัญญาณที่มาจากจอยสติ๊กและเซนเซอร์อัลตร้าโซนิครอบตัวรถพร้อมกัน และคำนวณว่าควรจะส่งสัญญาณแบบใดไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ของรถ



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบที่ออกแบบ



รูปที่ 4.4 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในรถเข็นจำลอง

4.4 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับการทดสอบการทำงานในรถเข็นจำลอง

ระบบควบคุมนี้ใช้ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 ทำงานร่วมกับบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 โดยทำงานร่วมกับจอยสติ๊กแบบกดติดปล่อยดับ 4 ทิศทางและวงจรรีเลย์สำหรับควบคุมการทำงานของมอเตอร์ DC 12 โวลต์ การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ นั้นแสดงได้ตามรูปที่ 4.4

4.4.1 การออกแบบซอฟต์แวร์

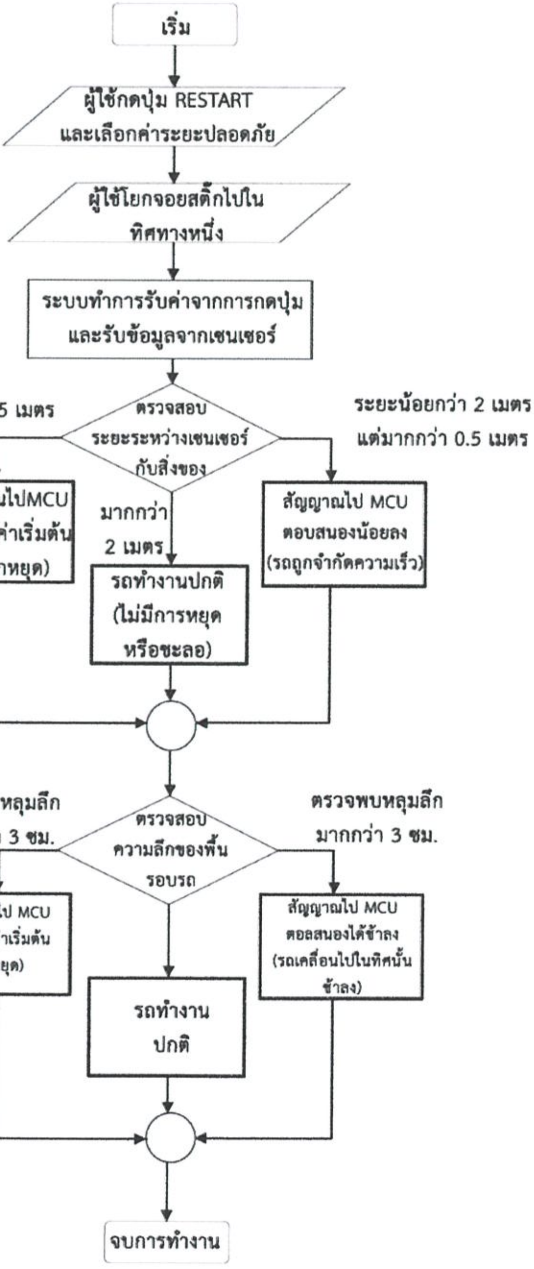
ในการออกแบบซอฟต์แวร์ได้มีการศึกษาและปฏิบัติงานเป็น 2 ส่วน คือ

1. ออกแบบกระบวนการทำงานของระบบระหว่างรีโมท, บอร์ดควบคุม, เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค โดยทำการทดลองกับรถจำลอง และใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ Arduino-1.0.5-r2 เขียนโค๊ดเพื่อประสานงานอุปกรณ์ทั้งหมดให้ได้ โดยแสดงผลผ่านทางมอนิเตอร์

2. ออกแบบการเชื่อมต่อเพื่อแทรกแซงการติดต่อระหว่างจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU) ให้ระบบรับค่าจากจอยสติ๊กหรือผู้ใช้ และนำมารวมกับข้อมูลที่เซนเซอร์อัลตร้าโซนิครอบรถวัดได้ จากนั้นจึงตัดสินใจเลือกปรับแต่งสัญญาณก่อนไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ในบางสถานการณ์ได้

4.4.2 การออกแบบแลดเดอร์ไดอะแกรม

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ จะเป็นต้องควบคุมผ่านบอร์ดควบคุม Arduino โดยบอร์ดควบคุมจะรับค่าต่างๆ เช่น ค่าแรงดันจากจอยสติ๊ก, สัญญาณจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค, สัญญาณจากรีโมท เป็นต้น เมื่อเริ่มทำงาน ผู้ใช้จะต้องกดปุ่มรีสตาร์ทและปุ่มระยะปลอภัยเพื่อให้บอร์ดควบคุมบันทึกค่าระยะห่างจากพื้นของเซนเซอร์ตรวจจับทางต่างระดับทั้ง 9 ตำแหน่ง และค่าความปลอดภัยในการเริ่มแปลงสัญญาณ เมื่อมีการโยกจอยสติ๊ก บอร์ดควบคุมจะนำค่าแรงดันที่ได้มาคำนวณกับค่าที่เซนเซอร์รอบตัวรถวัดได้ว่าตรงตามเงื่อนไขใดบ้าง เมื่อคำนวณเสร็จแล้วบอร์ดควบคุมจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันจากจอยสติ๊กแล้วส่งให้กับตัวควบคุมมอเตอร์ด้วยค่าเหมาะสมกับสถานการณ์นั้นๆ เป็นต้น



รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

4.4.1 ตำแหน่งของอัลตร้าโซนิคในรถเข็นจำลอง

รถเข็นจำลองมีการวางตำแหน่งล้อที่เลียนแบบรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อของจริง การวางตำแหน่งของเซนเซอร์จะคิดถึงความเป็นไปได้ที่รถเข็นจะสามารถเจอทางต่างระดับรอบรถ ตำแหน่งของเซนเซอร์แต่ละตัวในรูปที่ 4.6 จะมีหน้าที่แตกต่างกัน โดยเซนเซอร์ 1, 2, 4, 5 จะทำหน้าที่ตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่ด้านหน้ารถ เซนเซอร์ 7, 8, 11 จะทำหน้าที่ตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่ด้านหลังรถ เซนเซอร์ 2, 3, 9 จะทำหน้าที่ตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่ด้านซ้ายของรถ และเซนเซอร์ 5, 6, 10 จะทำหน้าที่ตรวจหาทางต่างระดับที่อยู่ด้านขวาของรถ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเซนเซอร์ที่พบหลุมกับทิศทางที่ต้องการให้รถหยุดเป็นตามตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.6 การวางตำแหน่งของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค 11 จุด รอบตัวรถในรถจำลอง

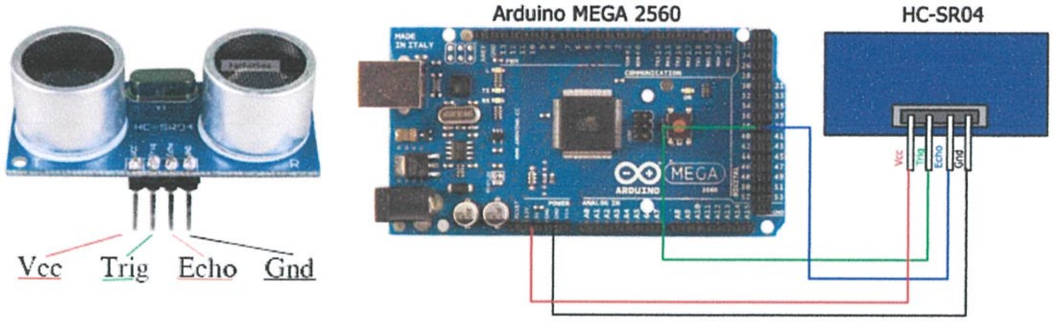
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคตรวจพบหลุม กับทิศทางของจอยสติ๊กที่ถูกจำกัด

Number of Ultrasonic											Direction that was Limited			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	F	B	L	R

4.4.2 การเชื่อมต่อระหว่าง Arduino Mega 2560 กับเซนเซอร์ HC-SR04

ในการใช้งานเซนเซอร์ HC-SR04 หนึ่งตัวจะต้องเชื่อมต่อกับขาของเซนเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ข) เซนเซอร์ HC-SR04 มีขาทั้งหมด 4 ขาที่สำคัญตามรูปที่ 4.7 (ก) ดังนี้

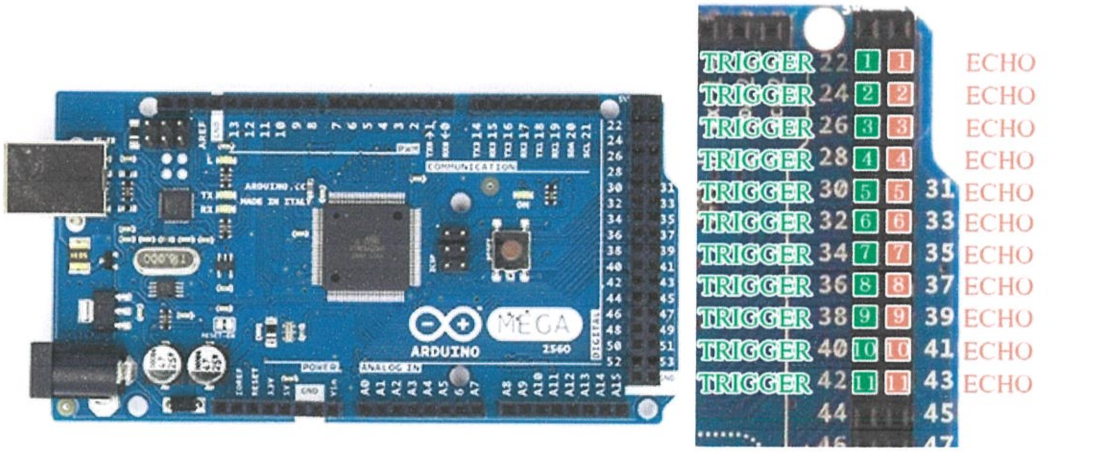
1. ขา Vcc หรือไฟเลี้ยงสำหรับความต่างศักย์ 5 โวลต์
2. ขา Trig สำหรับสัญญาณ Trigger Pulse Input จากบอร์ดควบคุม
3. ขา Echo สำหรับสัญญาณ Echo Pulse Output ส่งให้บอร์ดควบคุม
4. ขา Gnd สำหรับ 0 โวลต์ (Ground)



(ก) ขาต่างของเซนเซอร์ HC-SR04 (ข) การเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม Arduino

รูปที่ 4.7 ขาต่างๆ ของเซนเซอร์ HC-SR04 และการเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino

ในงานวิจัยนี้ใช้บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 ดังแสดงในรูป 4.8 (ก) ซึ่งมีขาดิจิตอล (Digital I/O Pins) ทั้งหมด 54 ขา การเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ HC-SR04 จะใช้ขาดิจิตอลในการเชื่อมต่อกับขา Trigger และขา Echo ของเซนเซอร์ HC-SR04 ทั้งหมด 22 ขา ดังแสดงในรูป 4.8 (ข)



(ก) บอร์ด Arduino Mega 2560 (ข) แสดงขาเชื่อมต่อกับ SR04 11 ตัว

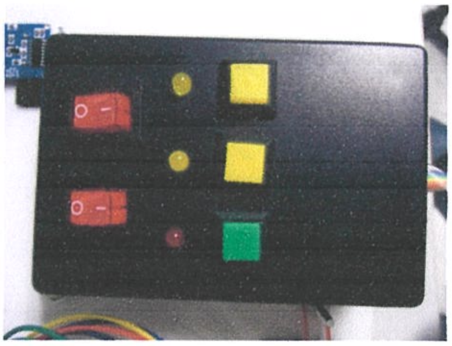
รูปที่ 4.8 ขาของบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 กับเซนเซอร์ HC-SR04 ทั้ง 11 ตัว

ตารางที่ 4.2 สถานะขาของ Arduino Mega 2560 ในการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ HC-SR04 11 ตัว

หมายเลขขาดิจิตอล (I/O) บนบอร์ดควบคุม	สถานะ
22	Trigger
23	Echo
24	Trigger
25	Echo
26	Trigger
27	Echo
28	Trigger
29	Echo
30	Trigger
31	Echo
32	Trigger
33	Echo
34	Trigger
35	Echo
36	Trigger
37	Echo
38	Trigger
39	Echo
40	Trigger
41	Echo
42	Trigger
43	Echo

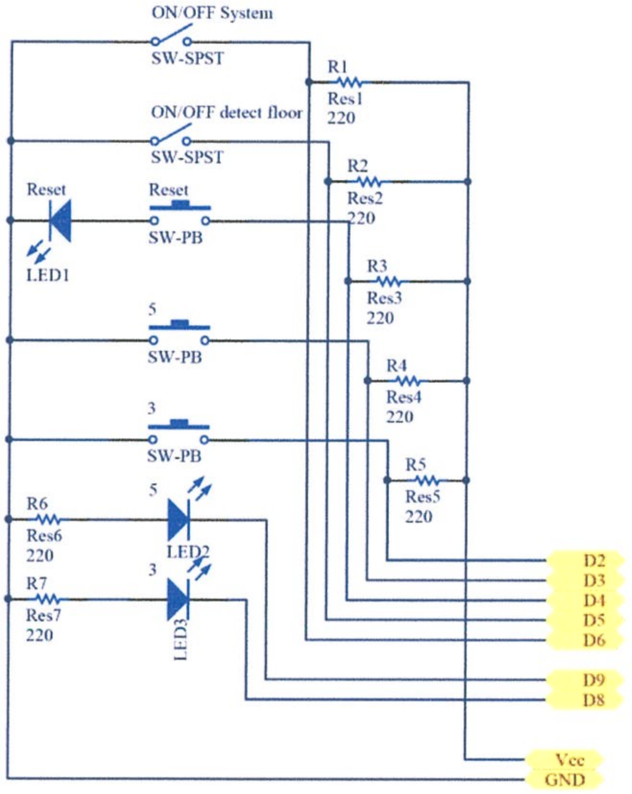
4.4.3 รีโมทควบคุม

รีโมทถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าต่างๆ ที่บอร์ดควบคุมใช้ในการคำนวณ โดยตัวรีโมทประกอบด้วยปุ่มทั้งหมด 5 ปุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 รีโมทสำหรับควบคุมระบบรักษาความปลอดภัยด้วยอัลตร้าโซนิค

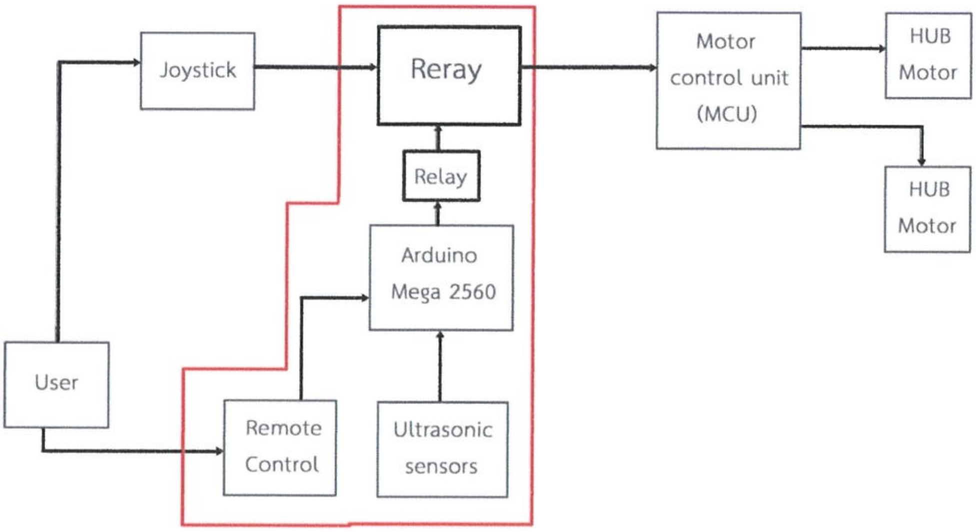
1. ปุ่มรีเซต สำหรับกำหนดค่าอ้างอิงให้กับระบบ โดยค่าอ้างอิงจะได้มาจากการวัดของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 รอบตัวรถ เมื่อกดปุ่มค่าที่เซนเซอร์วัดได้ในขณะนั้นจะกลายเป็นค่าอ้างอิงระดับของเซนเซอร์ตัวนั้นๆ การกดปุ่มรีเซตควรกระทำเมื่อรถอยู่บนพื้นที่เรียบสนิท
2. ปุ่มระยะปลอดภัย 3 เมื่อกดแล้วค่าระยะต่างจากระดับอ้างอิงของบอร์ดควบคุมจะกลายเป็น 3 เซนติเมตร หมายความว่า เมื่อเซนเซอร์สามารถตรวจพบทางต่างระดับที่มีความสูงมากกว่าหรือน้อยกว่า 3 เซนติเมตร บอร์ดควบคุมจะตัดการทำงานของจอยสติ๊กในทิศทางนั้นๆ
3. ปุ่มระยะปลอดภัย 5 เมื่อกดแล้วค่าระยะต่างจากระดับอ้างอิงของบอร์ดควบคุมจะกลายเป็น 5 เซนติเมตร หมายความว่า เมื่อเซนเซอร์สามารถตรวจพบทางต่างระดับที่มีความสูงมากกว่าหรือน้อยกว่า 5 เซนติเมตร บอร์ดควบคุมจะตัดการทำงานของจอยสติ๊กในทิศทางนั้นๆ
4. ปุ่มเปิดปิดระบบอัลตร้าโซนิค สำหรับการเปิดปิดระบบค้นหาทางต่างระดับรอบตัวรถ
5. ปุ่มเปิดปิด สำหรับการเปิดหรือปิดระบบรักษาความปลอดภัยทั้งระบบ



รูปที่ 4.10 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในของรีโมทควบคุมระบบ

4.4.4 การทำงานร่วมกันของจอยสติ๊ก, บอร์ดควบคุม, วงจรรีเลย์และมอเตอร์

ในรถเข็นจำลองนั้นจอยสติ๊กจะเชื่อมต่อกับวงจรรีเลย์ก่อนที่จะเข้าสู่มอเตอร์ บอร์ดควบคุมต้องอาศัยวงจรรีเลย์ในการตัดการทำงานของจอยสติ๊ก เพราะมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ดีซี 12 โวลต์ ซึ่งไม่สามารถต่อตรงเข้ากับบอร์ดควบคุมได้ แผนผังการเชื่อมต่อแสดงดังรูป 4.11

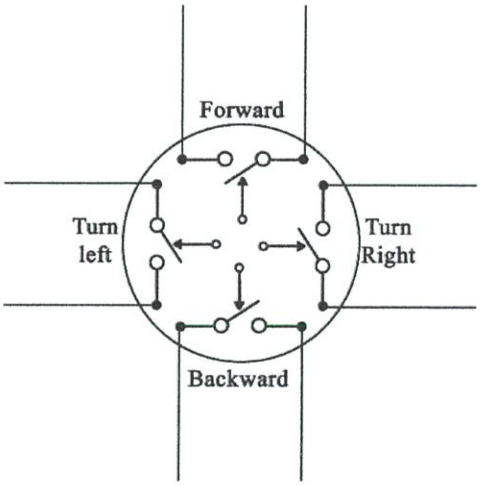


รูปที่ 4.11 แผนผังการเชื่อมต่อของรถเข็นจำลอง

4.4.4.1 วงจรของจอยสติ๊ก

จอยสติ๊กในรถจำลองเป็นแบบกดติดปล่อยดับ คือเมื่อมีการโยกคันโยกให้ทำงาน สวิตซ์ที่อยู่ภายในจะเชื่อมต่อกัน ทำให้วงจรทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12

(ก) จอยสติ๊กของรถจำลอง



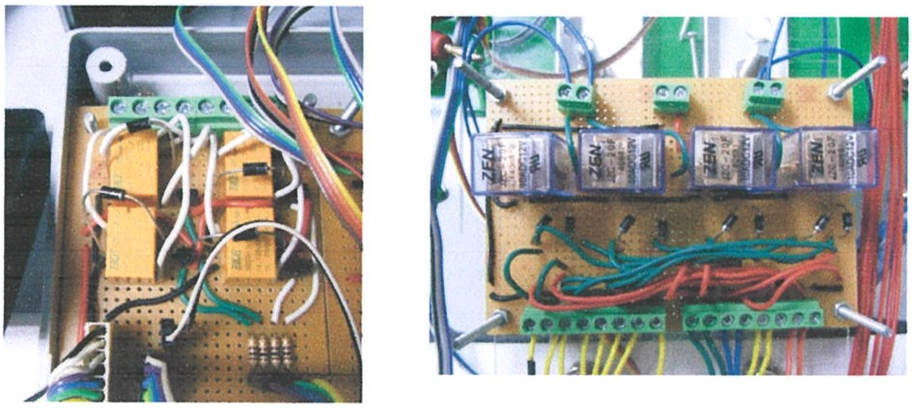
(ข) แผนผังวงจรภายใน

รูปที่ 4.12 จอยสติ๊กของรถเข็นจำลองและวงจรภายใน

4.4.4.2 วงจรรีเลย์

มีสองส่วนคือรีเลย์ที่บอร์ดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) และรีเลย์ควบคุมจอยสติ๊ก โดยวงจรรีเลย์ที่บอร์ดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากบอร์ดควบคุมก่อนจะส่งสัญญาณไปที่วงจรรีเลย์ควบคุมมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของบอร์ดควบคุม ส่วนวงจรรีเลย์ควบคุมจอยสติ๊ก ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณที่มาจากบอร์ดควบคุมผ่านวงจรรีเลย์ของบอร์ด เพื่อตัด

การเชื่อมต่อระหว่างจอยสติ๊กและมอเตอร์ โดยเมื่อไม่มีสัญญาณ จะทำให้จอยสติ๊กและมอเตอร์เชื่อมต่อกันตามปกติ

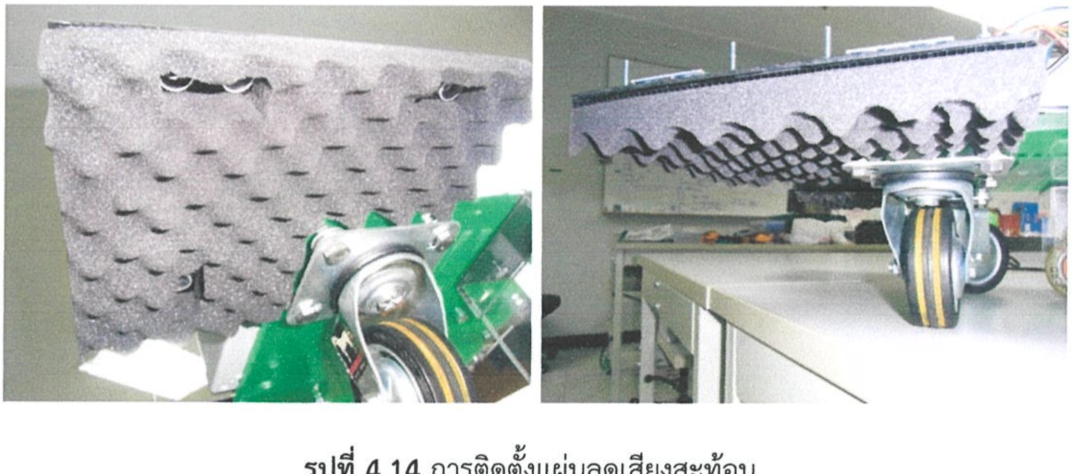


(ก) วงจรรีเลย์ที่ระบบควบคุม (ข) วงจรรีเลย์ควบคุมจอยสติ๊ก

รูปที่ 4.13 วงจรรีเลย์สำหรับรับสัญญาณจากบอร์ดควบคุมและสำหรับควบคุมจอยสติ๊ก

4.4.5 การใช้แผ่นลดเสียงสะท้อน Acoustic Sponge Foam

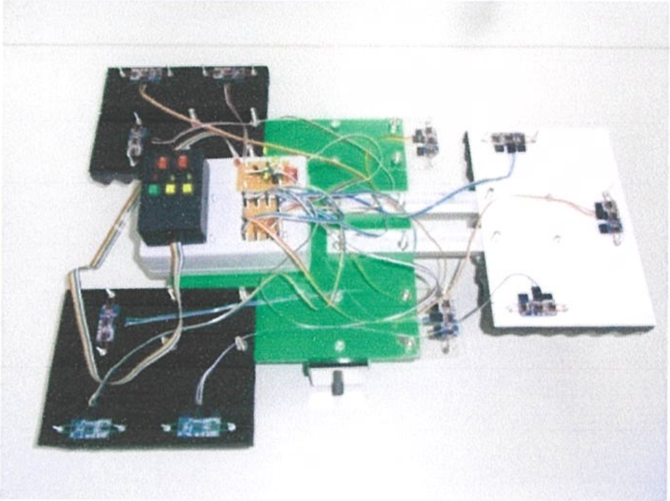
เนื่องจากการวางเซนเซอร์ในรถจำลองรวมถึงรถเข็นจริงนั้นใกล้กันมาก อีกทั้งวัสดุทีเป็นฮาร์ดแวร์สำหรับรองรับเซนเซอร์เป็นวัสดุแข็ง, ผิวเรียบและขนานกับพื้น การสอดแทรกระหว่างเซนเซอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอาจเกิดขึ้นได้เช่นบริเวณล้อหน้าของรถเข็นซึ่งมีเซนเซอร์รวมทั้งหมด 3 ตัว ในพื้นที่จำกัด การใช้แผ่นลดเสียงสะท้อนซึ่งเป็นวัสดุที่นุ่มและมีความสามารถในการดูดซับคลื่นเสียงได้จึงมีความจำเป็น การติดแผ่นลดเสียงสะท้อนนั้นจะติดบริเวณรอบๆ ของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทุกตัว เมื่อเซนเซอร์ทำงาน คลื่นที่พุ่งกระทบพื้นและตั้งฉากกับพื้นเท่านั้นจึงจะสามารถกลับมาหาตัวรับ (Receiver) ของตัวเซนเซอร์ได้ ส่วนคลื่นที่มีการตกกระทบและไม่สามารถสะท้อนแบบตั้งฉากได้ จะถูกแผ่นลดเสียงสะท้อนดูดซับพลังงานจนหมดไป การติดตั้งแผ่นลดเสียงสะท้อนแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การติดตั้งแผ่นลดเสียงสะท้อน

4.4.6 รถจำลองที่ใช้ทดลอง

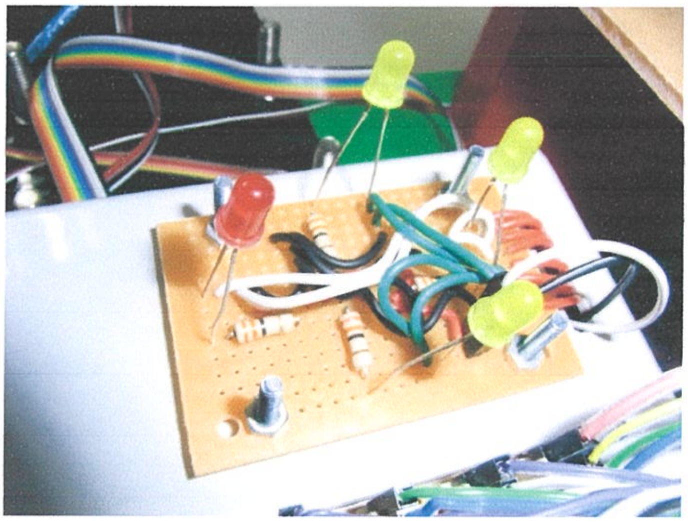
รถจำลองที่ใช้ทดลองสร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.15 เพื่อเลียนแบบการวางล้อของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อของจริง ตัวรถทำด้วยแผ่นอะคริลิคและอลูมิเนียมเชื่อมต่อกันด้วยน็อตขนาด 8 มิลลิเมตร สามารถถอดประกอบล้อกลางตัวรถเพื่อเปลี่ยนเป็นการใช้ดีซีมอเตอร์ได้



รูปที่ 4.15 รถจำลองสำหรับทดสอบระบบ

4.4.7 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของระบบ

ในการทดลองจะมีการเพิ่มวงจรแอลอีดีดังแสดงในรูป 4.16 เข้าไปในระบบโดยต่อจากวงจรรีเลย์ของบอร์ดควบคุมเพื่อให้เห็นการทำงานของระบบชัดเจนขึ้น โดยวงจรแอลอีดีจะมีอยู่ทั้งหมดสี่ดวงแทนทิศทั้งสี่ที่รถจะสามารถวิ่งไปได้คือ หน้า, หลัง, ซ้าย, ขวา เป็นต้น ขั้นตอนการทำงานของระบบเป็นดังนี้



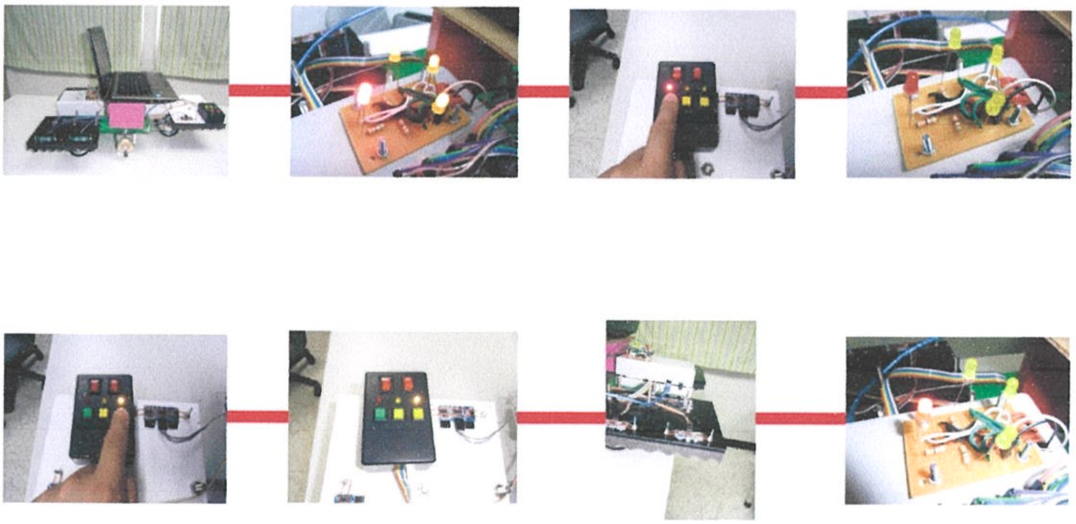
รูปที่ 4.16 วงจรแอลอีดีเพื่อบอกทิศทางที่รถไม่สามารถวิ่งไปได้

เมื่อระบบเริ่มทำงาน (เปิดสวิตช์) หลอดแอลอีดีทั้งหมดจะดับ เนื่องจากค่าระยะอ้างอิงเริ่มแรกจะเท่ากับ “0” และค่าระยะปลอดภัยเริ่มแรกก็จะเท่ากับ “0” แต่ค่าที่เซนเซอร์อ่านได้เริ่มแรกคือระยะที่เซนเซอร์อยู่เหนือพื้นในขณะนั้น ซึ่งระดับจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเซนเซอร์แต่ละตัว และจากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ว่า ระบบจะทำการตัดการทำงานของจอยสติ๊กเมื่อ

ระยะที่เซนเซอร์อ่านได้ > ค่าระยะอ้างอิง (0) + ค่าระยะปลอดภัย (0)

ซึ่งตรงเงื่อนไขในการทำให้รถหยุด ดังนั้น จากการทดลอง หลอดแอลอีดีทุกหลอดจึงอยู่ในสถานะ “OFF” หมายความว่า ไม่สามารถบังคับรถในทิศทางใดได้เลย

เมื่อกดปุ่มรีเซต (ปุ่มเขียว) ค่าระยะที่เซนเซอร์แต่ละตัวอ่านได้จะถูกบันทึกกลายเป็นค่าระยะอ้างอิง นั้นคือ ระยะที่เซนเซอร์อ่านได้ = ค่าระยะอ้างอิง + ค่าระยะปลอดภัย (0) ดังนั้นแอลอีดีทั้งสี่ดวงจึงสว่าง ลำดับของการทำงานแสดงในรูปที่ 4.17



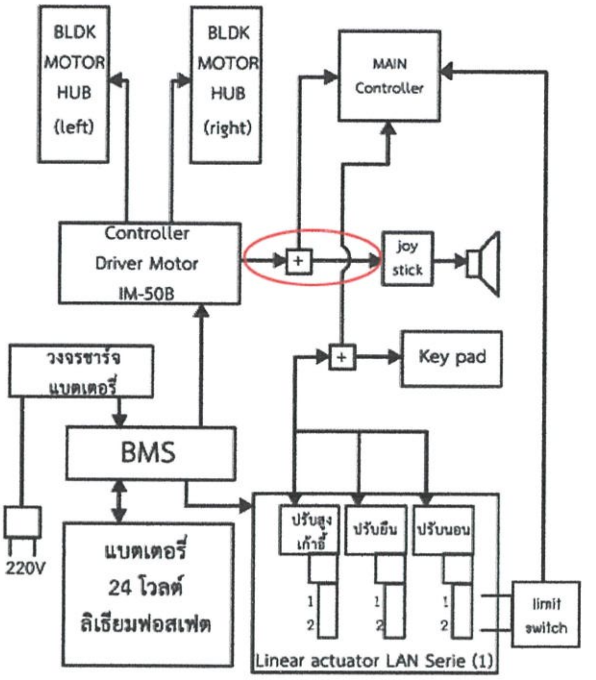
รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการทำงานในช่วงเริ่มต้นของระบบ

เมื่อกดปุ่มค่าระยะปลอดภัยเลข 5 นั่นหมายความว่าถ้าเซนเซอร์พบทางต่างระดับที่มากกว่าค่าระยะอ้างอิงรวมกับค่าระยะปลอดภัยเลข 5 ระบบจึงจะสั่งให้รถหยุดเคลื่อนที่ในทิศทางนั้น (หลอดแอลอีดีดับ ตามเงื่อนไข)

ระยะที่เซนเซอร์อ่านได้ > ค่าระยะอ้างอิง + ค่าระยะปลอดภัยเลข 5

4.5 การออกแบบระบบควบคุมสำหรับเชื่อมต่อกับรถเข็นจริง

ในระบบของรถเข็นจริงจะต่างจากระบบของรถจำลองในส่วนของจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ โดยจอยสติ๊กของรถเข็นจริงจะเป็นจอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ และตัวควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Unit : MCU) โดยระบบรักษาความปลอดภัยที่สร้างจะเข้าไปแทรกการทำงานระหว่างจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

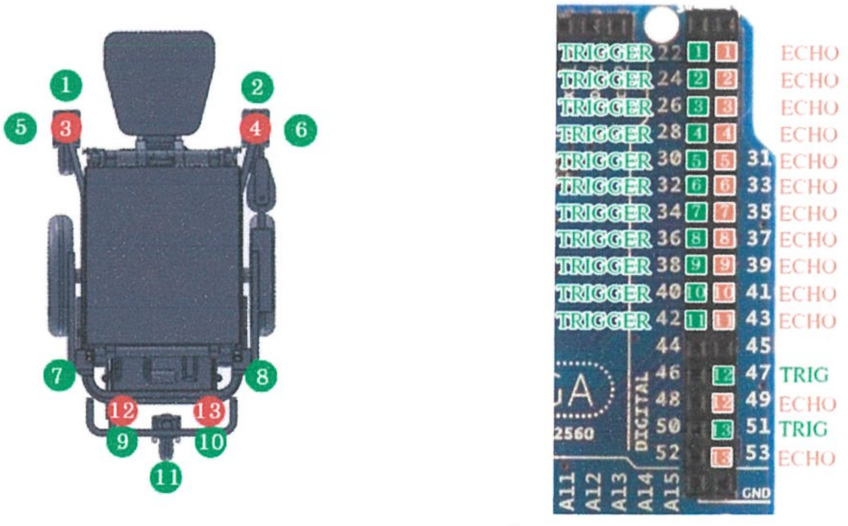


รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการแทรกแซงของระบบรักษาความปลอดภัย

4.6 การติดตั้งและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

4.6.1การติดตั้งเซนเซอร์เพื่อใช้งาน

เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคในการใช้กับรถเข็นจริงจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางและส่วนตรวจจับพื้นต่างระดับ ซึ่งจากภาพที่ 3.19 เซนเซอร์หมายเลข 3, 4, 12, 13 เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจหาสิ่งกีดขวางรอบตัวรถ ส่วนเซนเซอร์หมายเลข 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจหาพื้นต่างระดับที่อยู่รอบตัวรถ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

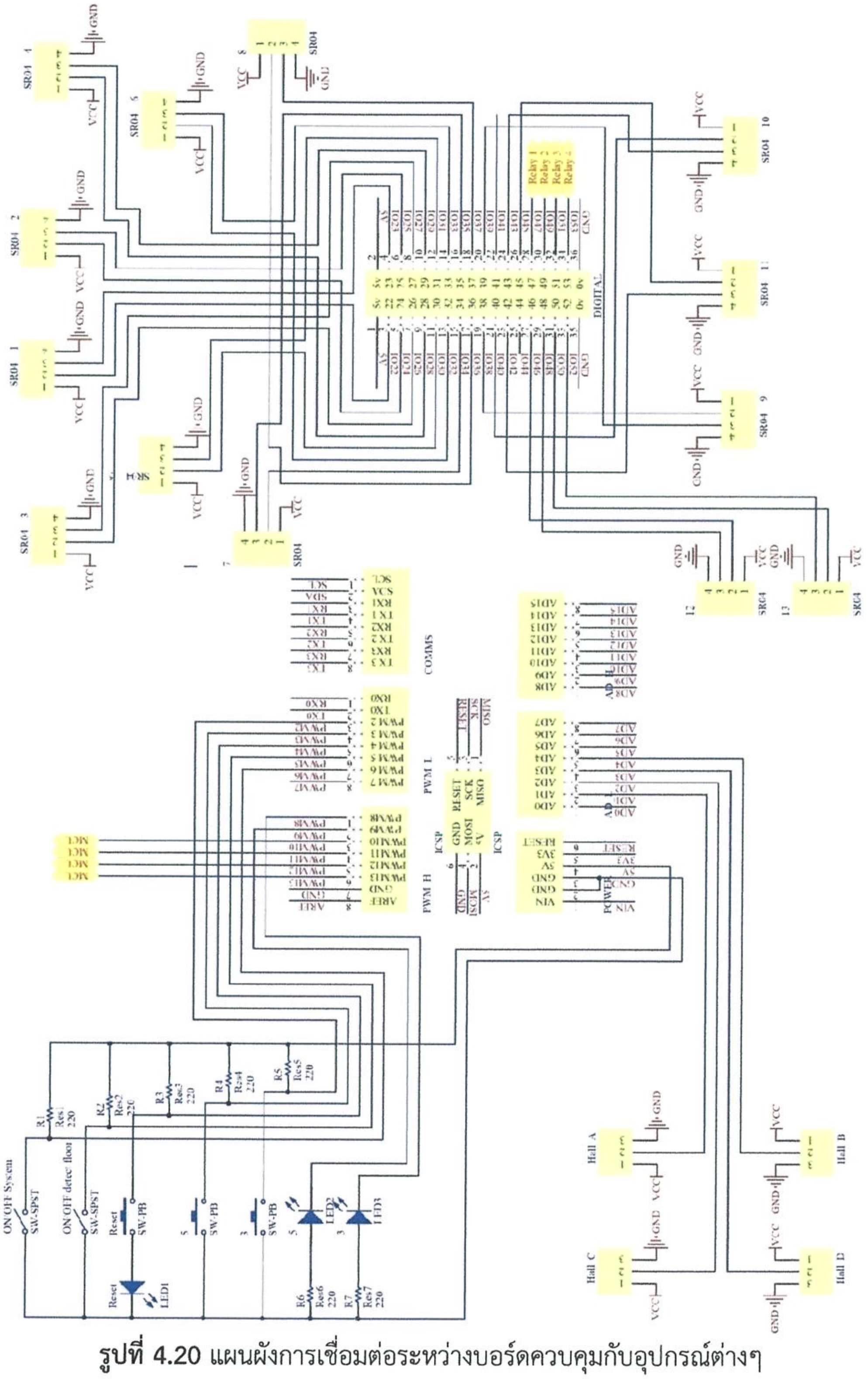


(ก) การจัดวางเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคตำแหน่งต่างๆ (ข) การเชื่อมต่ออัลตร้าโซนิคกับบอร์ดควบคุม

รูปที่ 4.19 แผนผังการวางเซนเซอร์ในรถเข็นไฟฟ้าที่จะใช้จริงและการเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม

4.6.2 การเชื่อมต่อกล่องควบคุมกับอุปกรณ์ต่างๆ

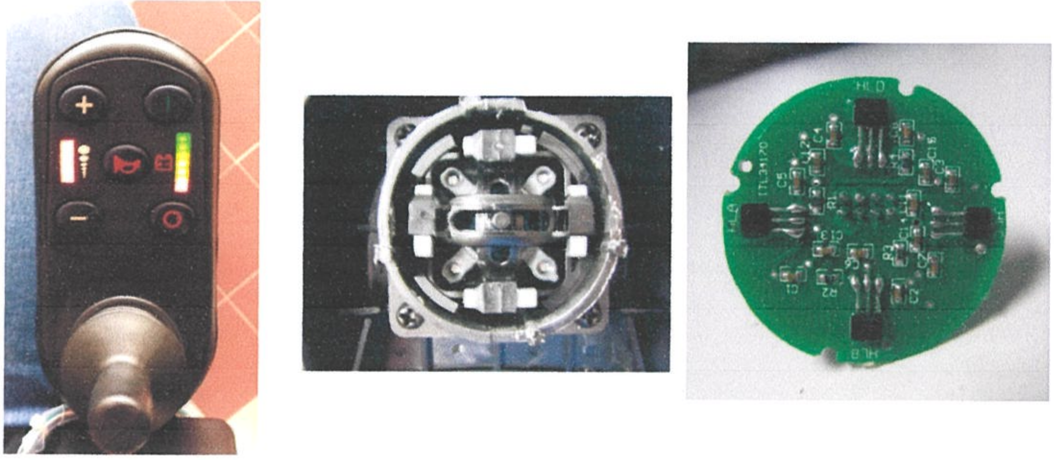
กล่องควบคุมเป็นศูนย์กลางของการเชื่อมต่อทั้งระบบ โดยกล่องควบคุมจะประกอบด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560 แผงวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับอัลตร้าโซนิคทั้งหมด 13 ตัว วงจรรีเรย์สำหรับการเชื่อมต่อกับรถจำลอง (เดิม) และแผงวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ของรถเข็นจริง ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดควบคุมกับอุปกรณ์ต่างๆ

4.7 จอยสติ๊กบนรถเข็นและการจัดการ

จอยสติ๊กของรถเข็นจริงจะเป็นจอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ คือใช้การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กภายในจอยสติ๊ก ค่าสัญญาณที่ได้จะเป็นค่าสัญญาณความต่างศักย์ที่จะเปลี่ยนแปลงตามการขยับของสนามแม่เหล็กภายในจอยสติ๊กดังแสดงในรูปที่ 4.21



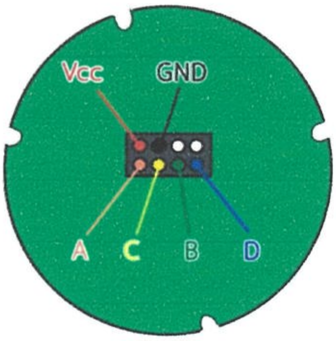
(ก) จอยสติ๊กบนรถเข็น (ข) แม่เหล็กที่อยู่ที่ก้านควบคุมทิศทาง (ค) ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์)

รูปที่ 4.21 จอยสติ๊กชนิดฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ IM-50B

4.7.1 ขาสำหรับการเชื่อมต่อเพื่อทำงานของจอยสติ๊ก IM-50B

ในรูป 4.22 จอยสติ๊กเชื่อมต่อกับโมดูลอื่นด้วยขาจำนวน 6 ขา ซึ่งประกอบด้วยขาที่เกี่ยวข้องกับการเดินหน้าถอยหลังคือ ขา A และขา C และขาที่เกี่ยวข้องกับการเลี้ยวซ้ายขวาคือขา B และขา D แสดงดังในรูปที่ 4.22

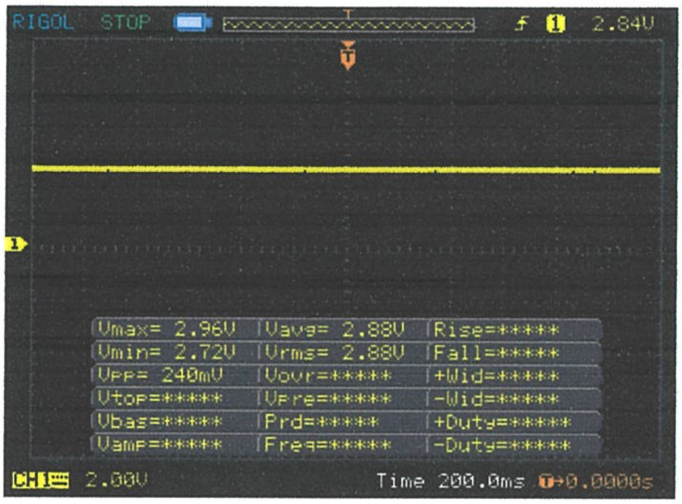
1. ขา Vcc สำหรับป้อนแรงดันมีค่า 5 โวลต์
2. ขา Gnd สำหรับการต่อลงกราวด์
3. ขาส่งสัญญาณจากฮอลล์เซนเซอร์ด้านหน้า
4. ขาส่งสัญญาณจากฮอลล์เซนเซอร์ด้านหลัง
5. ขาส่งสัญญาณจากฮอลล์เซนเซอร์ด้านซ้าย
6. ขาส่งสัญญาณจากฮอลล์เซนเซอร์ด้านขวา



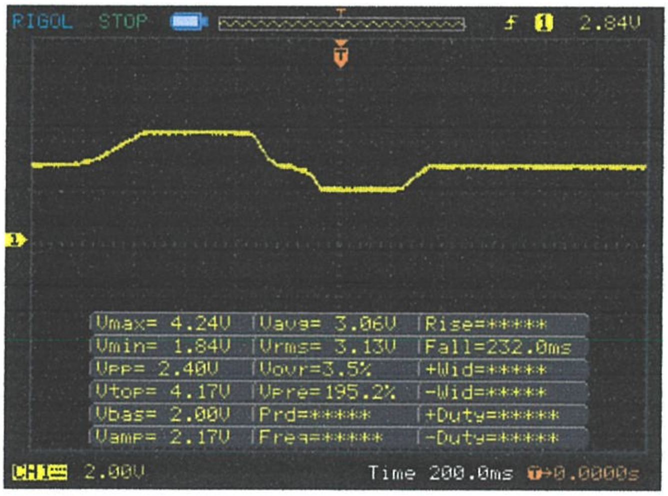
รูปที่ 4.22 แผนผังการวางขาของจอยสติ๊กชนิดฮอลล์เซนเซอร์ IM-50B

4.7.2 สัญญาณที่ส่งออกมาจากขาสัญญาณของจอยสติ๊ก

เมื่อทำการโยกจอยสติ๊ก ค่าสนามแม่เหล็กภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลง ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ที่อยู่ในแต่ละตำแหน่งจะให้แรงดันที่ต่างกันออกมาดังรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ซึ่งค่าที่วัดได้จากทุกเซนเซอร์จะแสดงดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสัญญาณที่ออกมาจากขา A ของจอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์



รูปที่ 4.24 สัญญาณจากขา A ในขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าและด้านหลัง

ตารางที่ 4.3 ค่าสัญญาณที่ส่องออกมาจากขาสัญญาณของจอยสติ๊ก

ขา	ค่าความต่างศักย์ของสัญญาณเมื่อโยกคันโยกของจอยสติ๊กจนสุด			
	หน้า	หลัง	ซ้าย	ขวา
A	4.24	1.84	2.88	2.88
C	3.60	1.28	2.44	2.5
B	2.51	2.51	3.76	0.88
D	2.66	2.66	3.92	1.04

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสัญญาณที่ออกมาจากจอยสติ๊กของรถเข็น

ทิศ	ลักษณะของสัญญาณขณะขยับคันโยกของจอยสติ๊ก			
	หน้า	หลัง	ซ้าย	ขวา
A				
C				
B				
D				

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 สามารถสรุปการส่งสัญญาณความต่างศักย์จากจอยสติ๊กไปตัวควบคุมมอเตอร์ที่ขาสัญญาณทั้ง 4 ของจอยสติ๊กได้ดังนี้

1. ค่าความต่างศักย์ของขาสัญญาณ A เมื่อไม่มีการบังคับจะเท่ากับ 2.8 โวลต์ และขาสัญญาณ C จะเท่ากับ 2.44 โวลต์

2. ค่าความต่างศักย์ของขาสัญญาณ B เมื่อไม่มีการบังคับจะเท่ากับ 2.51 โวลต์ และขาสัญญาณ D เท่ากับ 2.66 โวลต์

3. เมื่อมีการบังคับไปข้างหน้าจนสุด ขาสัญญาณใน A และขาสัญญาณ C จะมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ “เพิ่มขึ้น” เป็น 4.24 โวลต์ และ 3.60 โวลต์ ตามลำดับ

4. เมื่อมีการบังคับไปข้างหลังจนสุด ขาสัญญาณใน A และขาสัญญาณ C จะมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ “ลดลง” เป็น 1.84 โวลต์ และ 1.28 โวลต์ ตามลำดับ

4. เมื่อมีการบังคับไปทางซ้ายจนสุด ขาสัญญาณใน B และขาสัญญาณ D จะมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ “เพิ่มขึ้น” เป็น 3.76 โวลต์ และ 3.92 โวลต์ ตามลำดับ

5. เมื่อมีการบังคับไปข้างขวาจนสุด ขาสัญญาณใน B และขาสัญญาณ D จะมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ “ลดลง” เป็น 0.88 โวลต์ และ 1.04 โวลต์ ตามลำดับ

7. ปริมาณความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงจะแปรผันตรงกับองศาของการโยกจอยสติ๊ก เมื่อโยกคนโยกของจอยสติ๊กมากความต่างศักย์ก็จะเปลี่ยนจากเดิมมาก เป็นต้น

4.7.3 แผนการจัดการกับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากจอยสติ๊กในสถานการณ์ต่างๆ

ข้อมูลของบอร์ดควบคุมในการปรับเปลี่ยนสัญญาณจากจอยสติ๊กก่อนจะไปหาตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU) มาจากการตรวจจับทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิครอบตัวรถ ซึ่งจากข้อมูลจากหัวข้อ 4.5.2 ได้มีการวางแผนเพื่อที่จะปรับเปลี่ยนสัญญาณก่อนจะส่งไปให้ตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU) ดังนี้

1. เมื่อไม่มีการตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือทางต่างระดับ บอร์ดควบคุมของระบบรักษาความปลอดภัยจะส่งสัญญาณความต่างศักย์ให้ตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU) เท่ากับสัญญาณความต่างศักย์ที่ได้มาจากจอยสติ๊ก ไม่ว่าจะเป็นการบังคับในทิศทางใดหรือไม่มีการบังคับ

2. เมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหน้าระยะใกล้กว่า 2 เมตร ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา A และขา C ไปหา MCU "ได้ไม่เกินกว่า 3.56 โวลต์ และ 3.02 โวลต์ ตามลำดับ" (จำกัดความเร็วเหลือครึ่งหนึ่ง)

3. เมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหลังระยะใกล้กว่า 2 เมตร ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา A และขา C ไปหา MCU "ได้ไม่น้อยกว่า 2.36 โวลต์ และ 1.86 โวลต์"ตามลำดับ (จำกัดความเร็วเหลือครึ่งหนึ่ง)

4. เมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหน้าระยะใกล้กว่า 0.5 เมตร ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา A และขา C ไปหา MCU "ได้ไม่เกิน 2.88 โวลต์ และ 2.44 โวลต์" ตามลำดับ (หยุดรถ, ห้ามเดินหน้า)

5. เมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางด้านหลังระยะใกล้กว่า 0.5 เมตร ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา B และขา D ไปหา MCU "ไม่ต่ำกว่า 2.51 โวลต์ และ 2.66 โวลต์"ตามลำดับ (หยุดรถ, ห้ามถอยหลัง)

6. เมื่อมีการตรวจพบทางต่างระดับด้านหน้ามากกว่าค่าอ้างอิงรวมกับค่าระยะปลอดภัยหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงลบค่าระยะปลอดภัยจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคหมายเลข "1, 2" ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา A และขา C ไปหา MCU "ไม่เกิน 2.88 โวลต์และ 2.44 โวลต์" (ห้ามเดินหน้า) และบังคับให้สัญญาณจากขา B และขา D ไปหา MCU "อยู่ที่ 2.55 โวลต์ และ 2.66โวลต์" (ห้ามเลี้ยวซ้ายและขวา)

7. เมื่อมีการตรวจพบทางต่างระดับด้านหลังมากกว่าค่าอ้างอิงรวมกับค่าระยะปลอดภัยหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงลบค่าระยะปลอดภัยจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคหมายเลข "7, 8, 11" ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา A และขา C ไปหา MCU "ไม่น้อยกว่า 2.88 โวลต์และและ 2.44 โวลต์" (ห้ามถอยหลัง) และบังคับให้สัญญาณจากขา B และขา D ไปหา MCU "อยู่ที่ 2.5 โวลต์ และ 2.66" (ห้ามเลี้ยวซ้ายและขวา)

8. เมื่อมีการตรวจพบทางต่างระดับด้านซ้ายมากกว่าค่าอ้างอิงรวมกับค่าระยะปลอดภัยหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงลบค่าระยะปลอดภัยจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคหมายเลข "5, 10" ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา B และขา D ไปหา MCU "ไม่เกิน 2.51 โวลต์และ 2.66'" (ห้ามหมุนซ้าย, ห้ามเลี้ยวซ้าย) และสัญญาณจากขา A และขา C ส่งไปหา MCU ได้ตามปกติ (เดินหน้าและถอยหลังได้)

9. เมื่อมีการตรวจพบทางต่างระดับด้านขวามากกว่าค่าอ้างอิงรวมกับค่าระยะปลอดภัยหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงลบค่าระยะปลอดภัยจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคหมายเลข "6, 9" ระบบควบคุมจะบังคับให้สัญญาณจากขา B และขา D ไปหา MCU "ไม่น้อยกว่า 2.5 โวลต์ และ 2.66" (ห้ามหมุนขวา, ห้ามเลี้ยวขวา) และสัญญาณจากขา A และขา C ส่งไปหา MCU ได้ตามปกติ (เดินหน้าและถอยหลังได้)

จากการสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันเมื่อโยกและปล่อยจอยสติ๊กทำให้พบว่าค่าของแรงดันของขาแต่ละขาจะมีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง สามารถเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันได้ต่างจากเดิมไม่เกิน 1 โวลต์ ทำให้สามารถวางแผนการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากจอยสติ๊กไปตัวควบคุมมอเตอร์ได้ในสถานการณ์ต่างๆ

เช่น เมื่อมีการตรวจพบหลุมทางด้านหน้า ระบบจะต้องบังคับให้ค่าแรงดันจากจอยสติ๊กไปตัวควบคุมมอเตอร์ให้มีค่าเท่ากับค่าแรงดันขณะไม่มีการโยกจอยสติ๊ก หรือเมื่อตรวจพบวัตถุตั้งอยู่ด้านหลัง ระบบจะต้องบังคับให้ค่าแรงดันลดลงเพียงครึ่งเดียวจากที่เคยลดได้เพื่อให้รถวิ่งถอยหลังได้ช้าลง เป็นต้น โดยตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ได้กล่าวถึงแนวคิดในการวางแผนเปลี่ยนแปลงแรงดันจากจอยสติ๊กให้กับตัวควบคุมมอเตอร์ในสถานการณ์ต่างๆ

ตารางที่ 4.5 การแปลงค่าสัญญาณจอยสติ๊กก่อนไปตัวควบคุมมอเตอร์ MCU ในสถานการณ์ต่างๆ กรณีโยกคันโยกจนสุด กรณีพบสิ่งกีดขวาง

กรณี	สัญญาณติดต่อกับ Motor Control Unit (MCU) (โวลต์)			
	A	C	B	D
พบสิ่งกีดขวางด้านหน้าระยะน้อยกว่า 2 ม.แต่มากกว่า 0.5 ม	ไม่เกิน 3.56	ไม่เกิน 3.02	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม
พบสิ่งกีดขวางด้านหลังระยะน้อยกว่า 2 ม แต่มากกว่า0.5 ม.	ไม่ต่ำกว่า 2.36	ไม่ต่ำกว่า 1.86	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม
พบสิ่งกีดขวางด้านหน้าระยะน้อยกว่า 0.5 ม.	ไม่เกิน 2.88	ไม่เกิน 2.44	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม
พบสิ่งกีดขวางด้านหลังระยะน้อยกว่า 0.5 ม.	ไม่ต่ำกว่า 2.88	ไม่ต่ำกว่า 2.44	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม

ตารางที่ 4.6 การแปลงค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กก่อนไปตัวควบคุมมอเตอร์ MCU ในสถานการณ์ต่างๆ กรณีโยกคันโยกจนสุด กรณีพบทางต่างระดับ

กรณี	สัญญาณติดต่อกับ Motor Control Unit (MCU)			
	A	C	B	D
พบทางต่างระดับที่ด้านหน้า	ไม่เกิน 2.88	ไม่เกิน 2.44	อยู่ที่ 2.51	อยู่ที่ 2.66
พบทางต่างระดับที่ด้านหลัง	ไม่ต่ำกว่า 2.88	ไม่ต่ำกว่า 2.44	อยู่ที่ 2.51	อยู่ที่ 2.66
พบทางต่างระดับที่ด้านซ้าย	ไม่บังคับ	ไม่บังคับ	ไม่เกิน 2.51	ไม่เกิน 2.66
พบทางต่างระดับที่ด้านขวา	ไม่บังคับ	ไม่บังคับ	ไม่ต่ำกว่า2.51	ไม่ต่ำกว่า 2.66

4.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของระบบควบคุมที่ออกแบบ ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งประกอบไปด้วย การจัดวางเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคของรถเข็นจำลองและรถเข็นจริง วงจรควบคุมการทำงานต่างๆ การแก้ปัญหาการแทรกสอดระหว่างเซนเซอร์ด้วยแผ่นลดเสียงสะท้อน ขั้นตอนการทำงานของระบบ ลักษณะของสัญญาณจากจอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์และการดัดแปลงสัญญาณก่อนจะส่งสัญญาณต่อไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU)

บทที่ 5
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองต่างๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบที่ได้ออกแบบไว้ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น และเป็นแนวทางในการดำเนินงานต่อไป โดยมีจุดมุ่งหมายคือ ทดสอบความสามารถของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 ทดสอบการแทรกสอดระหว่างเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคและหาวิธีแก้ไข ทดสอบการทำงานของระบบด้วยรถเข็นจำลองแสดงผลด้วย LED และการทดสอบกับรถเข็นจำลอง ทดสอบระบบของรถเข็นจริงด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ และทดสอบการติดตั้งและทำงานในรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อจริง

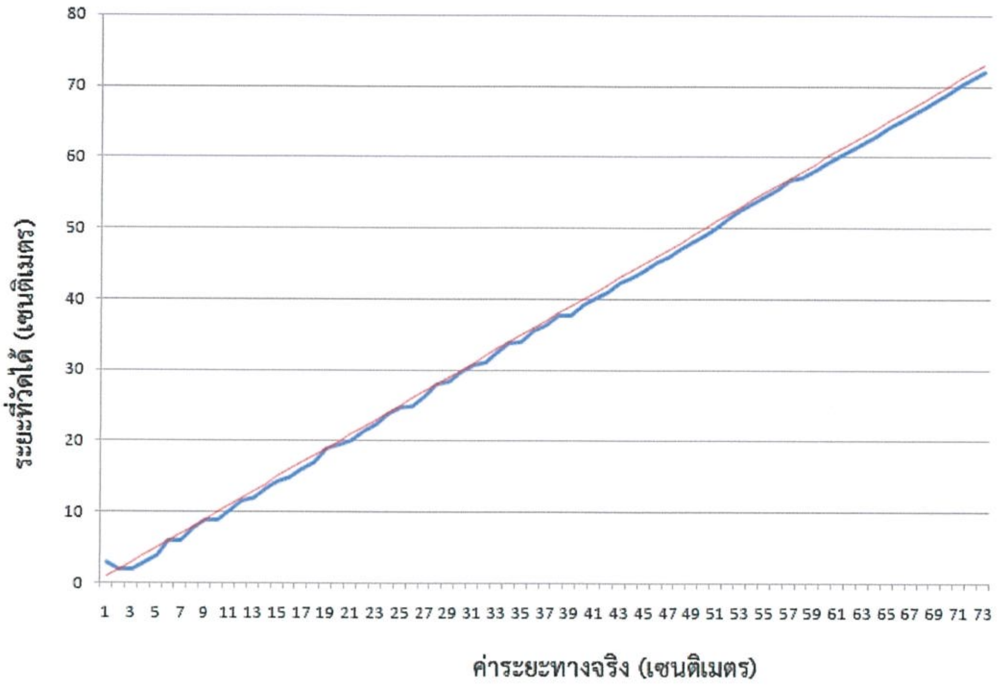
5.2 บันทึกผลวัดระยะหาความเที่ยงตรงแม่นยำ

ในการทดลองใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 ติดตั้งบนแผ่นอะคริลิกซึ่งทำให้ตั้งฉากกับพื้นและอยู่ตรงข้ามกับแผ่นอะคริลิกอีกแผ่นหนึ่ง ซึ่งทำให้ตั้งฉากกับพื้นเช่นกัน ทั้งสองแผ่นวางอยู่บนเสกลวัด โดยแผ่นอะคริลิกที่ไม่มีเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคสามารถเลื่อนไปมาได้เพื่อใช้เปลี่ยนระยะการวัด ตัวเซนเซอร์ HC-SR04 จะต่อเข้ากับบอร์ดควบคุม และบอร์ดควบคุมจะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัดทางจอมอนิเตอร์ ค่าที่เซนเซอร์ HC-SR04 วัดได้จะถูนำมาเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการเลื่อนแผ่นอะคริลิก เพื่อคำนวณหาความผิดพลาด, ความแม่นยำ, และความเที่ยงตรงของตัวเซนเซอร์ HC-SR04 ภาพการทดลองถูกแสดงในรูปที่ 5.1

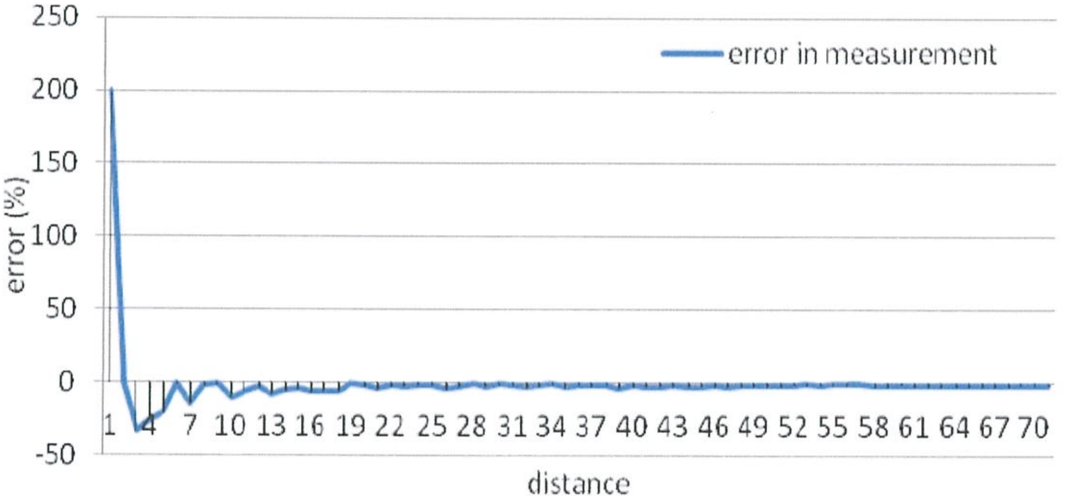
รูปที่ 5.1 การทดสอบเพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04

5.2.1 ผลการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค

ผลการทดลองการวัดของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคเพื่อวิเคราะห์ว่าเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับการวัดระยะทางได้ดีเพียงใด การทดลองได้ทำการวัดทุกๆ 1 เซนติเมตร แต่ละระยะทำการวัดจำนวน 30 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าความผิดพลาด ได้กราฟดังรูปที่ 5.2 และ รูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ (น้ำเงิน) กับค่าจริง (แดง)

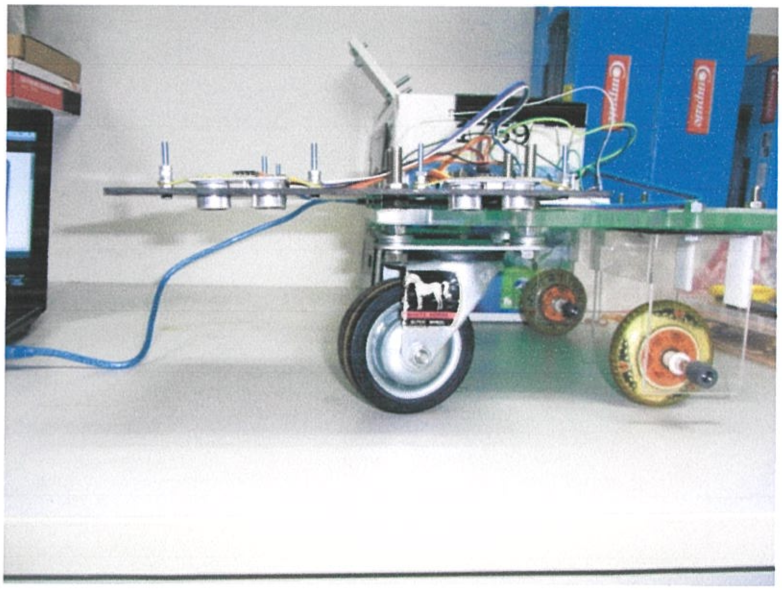


รูปที่ 5.3 กราฟผลการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ในแต่ละระยะ

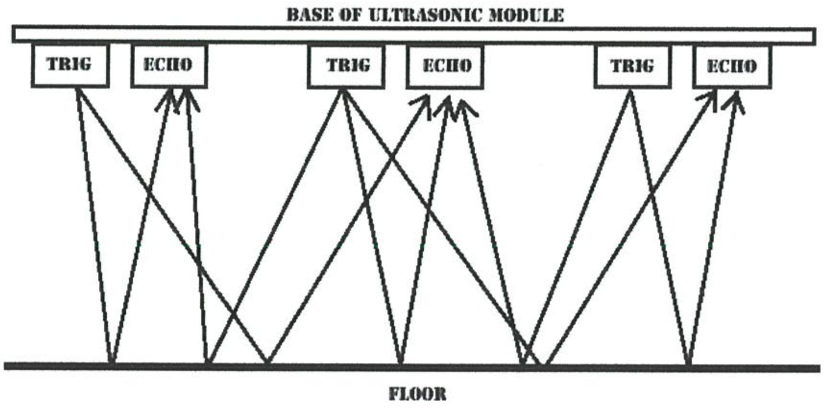
ผลการทดลองพบว่าเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 ไม่สามารถวัดระยะได้แม่นยำที่ระยะใกล้เซนเซอร์แต่มีความเที่ยงตรงสูง โดยระยะที่วัดมีความแปรปรวนหรือการแกว่งของค่าต่ำ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าระยะทางในหน่วยเซนติเมตร จะมีการเปลี่ยนค่าตามของเซนเซอร์ไปด้วย

5.3 เปรียบเทียบมีกับไม่มีแผ่นลดเสียงกันเสียงสะท้อน

เมื่อประกอบรถทดลองเสร็จแล้วทดสอบการทำงานของระบบพบว่าการวัดค้าของอัลตร้าโซนิคมีความผิดเพี้ยนสูง อันเนื่องมาจากเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทั้งหมดวางในตำแหน่งที่ใกล้กันเกินไปดังแสดงในรูปที่ 5.4 อีกทั้งลักษณะการวางของเซนเซอร์ตั้งฉากกับพื้น และฐานของเซนเซอร์เป็นแผ่นอะคริลิกเรียบซึ่งสามารถทำให้เกิดการสะท้อนได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 รถจำลองเมื่อไม่ติดแผ่นลดเสียงสะท้อน



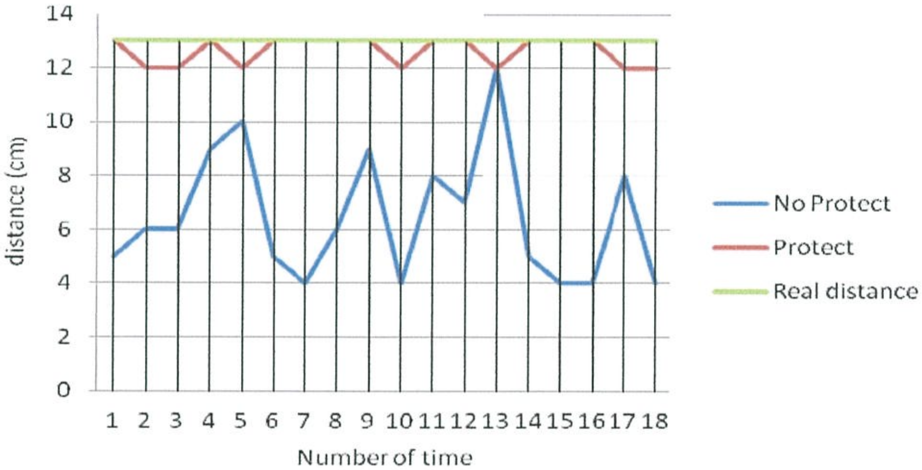
รูปที่ 5.5 ภาพจำลองการแทรกสอดของคลื่นอัลตร้าโซนิคใต้รถ

เมื่อติดตั้งแผ่นลดเสียงสะท้อนรอบปากของเซนเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 5.6 (ข) แล้วทำการเปรียบเทียบการอ่านค่าของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคพบว่าแบบใช้แผ่นลดเสียงสะท้อนสามารถลดและป้องกันการแทรกสอดกันและกันของคลื่นได้ ในรูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแผ่นลดเสียงสะท้อนและแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อน และแสดงค่าที่อ่านได้จากโปรแกรม Arduino 1.0.5-r2 จะเห็นว่าแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อนสามารถส่งและรับคลื่นอัลตร้าโซนิคได้ตามปกติ

(ก) ไม่มีแผ่นลดเสียงสะท้อน

(ข) มีแผ่นลดเสียงสะท้อน

รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างแบบไม่มีแผ่นลดเสียงและแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อน



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ระหว่างแบบไม่มีแผ่นลดเสียงและแบบมีแผ่นลดเสียงสะท้อน

จากกราฟในรูปที่ 5.7 พบว่าการอ่านค่าระยะทางของเซนเซอร์เมื่อไม่มีแผ่นดูดซับเสียงนั้นไม่คงที่และไม่สามารถวัดค่าระยะที่แน่นอนได้เนื่องจากคลื่นรบกวนจากเซนเซอร์ตัวอื่นซึ่งใช้ความถี่เดียวกันในการตรวจหาระยะเกิดการรบกวนการรับคลื่นของเซนเซอร์ข้างเคียง ส่วนการอ่านค่าระยะของเซนเซอร์แบบมีแผ่นดูดซับเสียงสามารถอ่านค่าระยะได้เป็นปกติ

5.4 การทดสอบการทำงานประสานงานกันทั้งระบบ

รถเข็นจำลองนั้นถูกออกแบบมาเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคถึงความสามารถในการตรวจจับพื้นต่างระดับได้มากน้อยเพียงใด ในการทดลองจะใช้รีโมทเป็นตัวควบคุมค่าต่างๆ ของการทำงานของระบบ และใช้จอยสติ๊กชนิดกดติดปล่อยดับ นั่นคือการเคลื่อนที่ของรถจะมีเพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้น สิ่งที่จะเป็นผลลัพธ์ในการทดสอบนี้คือการเคลื่อนที่ของรถและการส่องสว่างของแอลดีดีทั้ง 4 ดวง ซึ่งผลการทดสอบได้ออกมาเป็นตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 การเคลื่อนไหวของรถจำลองและการสว่างของแอลอีดี 4 ดวง

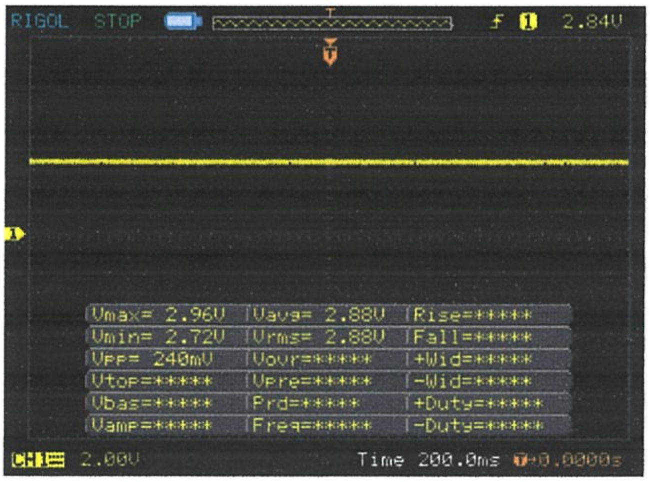
ค่าระยะปลอดภัย	ความลึกของทางต่างระดับ	การเคลื่อนไหวของรถเข็น
3 เซนติเมตร	ด้านหน้าลึก 2 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านหลังลึก 2 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านซ้ายลึก 2 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านขวาลึก 2 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านหน้าลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านหน้าดับ
	ด้านหลังลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านหลังดับ
	ด้านซ้ายลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านซ้ายดับ
	ด้านขวาลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านขวาดับ
5 เซนติเมตร	ด้านหน้าลึก 4 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านหลังลึก 4 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านซ้ายลึก 4 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านขวาลึก 4 เซนติเมตร	แอลอีดีส่องสว่าง รถยังคงสามารถวิ่งได้ต่อไปและตกทางต่างระดับ
	ด้านหน้าลึก 6 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านหน้าดับ
	ด้านหลังลึก 6 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านหลังดับ
	ด้านซ้ายลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านซ้ายดับ
	ด้านขวาลึก 5 เซนติเมตร	รถไม่สามารถวิ่งต่อไปข้างหน้าได้ แอลอีดีด้านขวาดับ

5.5 การตรวจสอบการส่งสัญญาณของจอยสติ๊กของรถเข็นไฟฟ้า

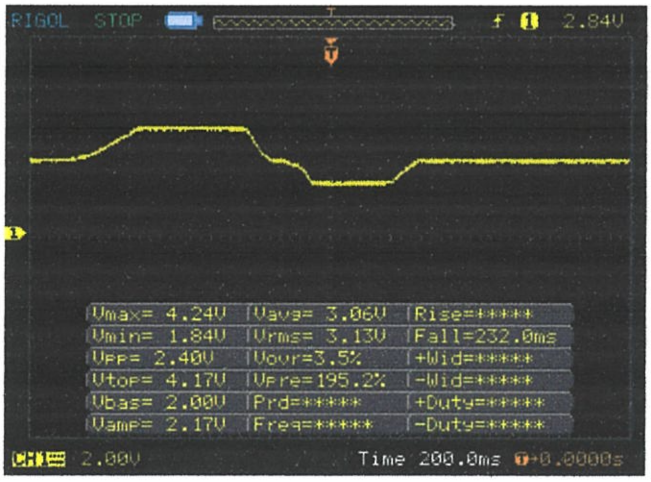
ก่อนที่จะทำการแทรกแซงระบบการบังคับทิศทางของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อนั้น จำเป็นต้องรู้รูปแบบของสัญญาณสื่อสารที่จอยสติ๊กใช้เสียก่อน ในรูปที่ 5.8 ถึงรูปที่ 5.15 แสดงการวัดสัญญาณจากขาของจอยสติ๊กโดยใช้ออสซิลโลสโคปขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กในทิศทางต่างๆ โดยเริ่มจากขา A, C, B, D ตามลำดับ เพื่อสามารถบอกขอบเขตของสัญญาณที่จอยสติ๊กสามารถให้ได้ เป็นต้น

ตารางที่ 5.2 ค่าสัญญาณจากขาของจอยสติ๊กเมื่ออยู่ในสถานะต่างๆ

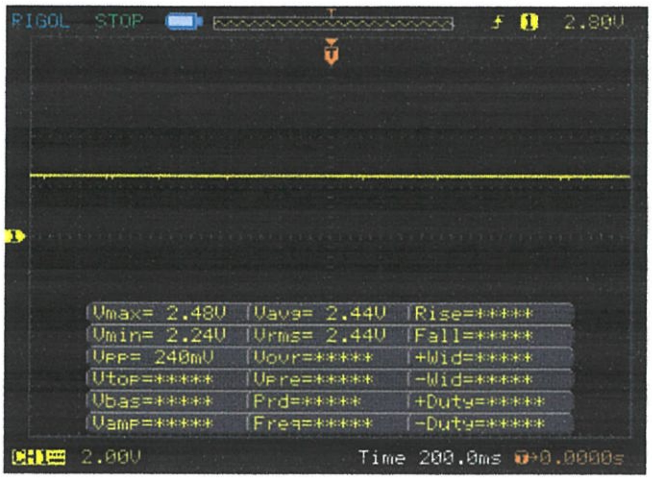
ทิศ	ค่าสัญญาณขณะไม่บังคับ	ค่าสัญญาณเมื่อโยกคันบังคับในทิศทางต่างๆ จนสุด			
		หน้า	หลัง	ซ้าย	ขวา
A	2.88	4.24	1.84	2.88	2.88
C	2.44	3.60	1.28	2.44	2.5
B	2.51	2.51	2.51	3.76	0.88
D	2.66	2.66	2.66	3.92	1.04



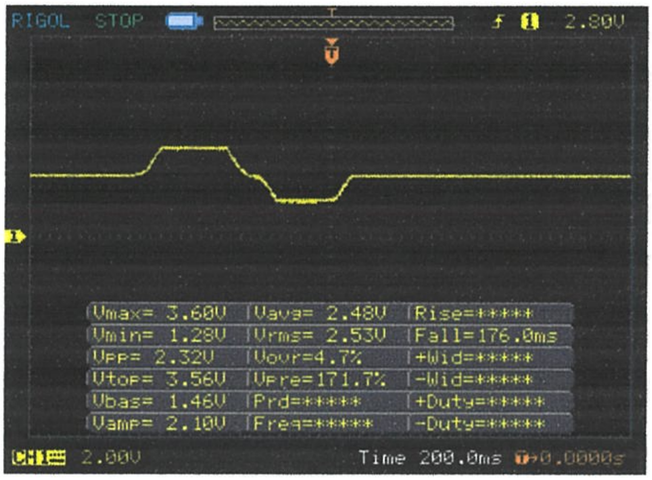
รูปที่ 5.8 สัญญาณจากขา A ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก



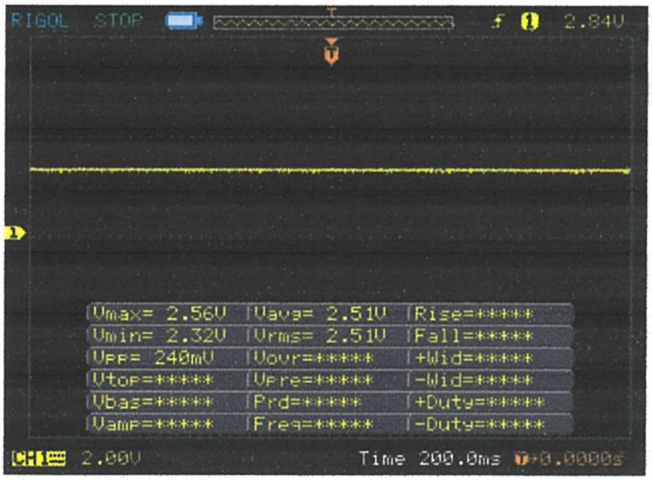
รูปที่ 5.9 สัญญาณจากขา A ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง



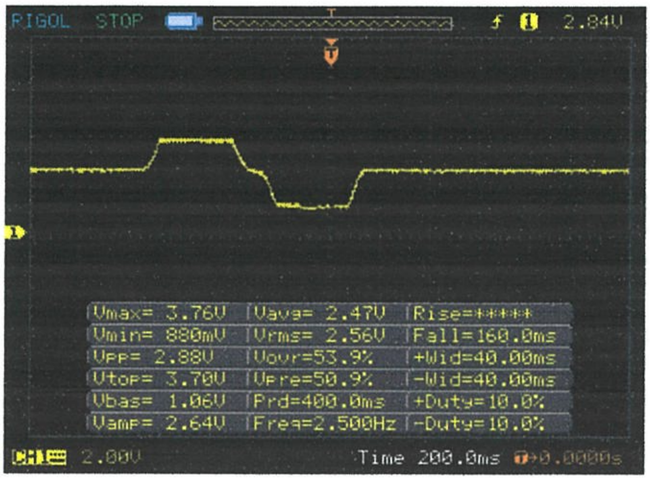
รูปที่ 5.10 สัญญาณจากขา C ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก



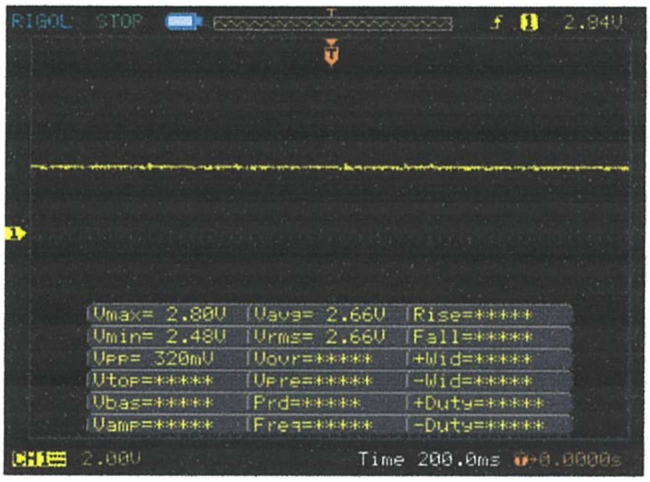
รูปที่ 5.11 สัญญาณจากขา C ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง



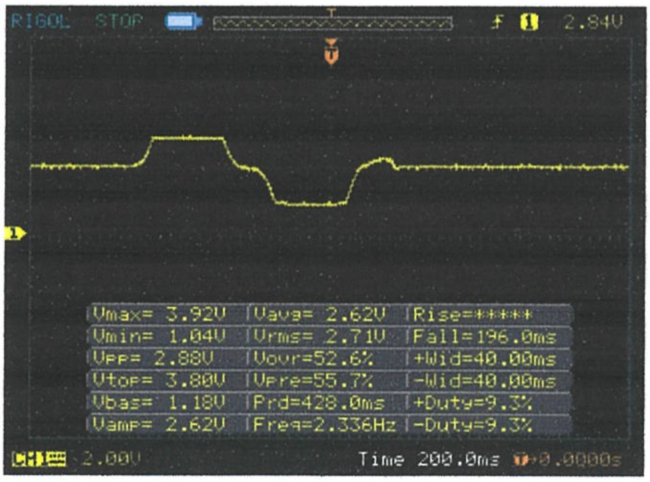
รูปที่ 5.12 สัญญาณจากขา B ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก



รูปที่ 5.13 สัญญาณจากขา B ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง



รูปที่ 5.14 สัญญาณจากขา D ขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก



รูปที่ 5.15 สัญญาณจากขา B ขณะที่มีการโยกจอยสติ๊กไปข้างหน้าและถอยหลัง

5.6 การทดสอบทำการแทรกแซงสัญญาณระหว่างจอยสติ๊กกับตัวควบคุมมอเตอร์

ระบบควบคุมทิศทางของรถเข็นไฟฟ้าห้าล้อแบบปรับยืนได้ "STANDY" ใช้จอยสติ๊กแบบฮอลล์เอฟเฟคจอยสติ๊ก ซึ่งจะให้สัญญาณเป็นค่าของความต่างศักย์ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก หลักการแทรกแซงนั้น ระบบที่แทรกแซงจะต้องอยู่ระหว่างจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ จากนั้นจะรับสัญญาณอนาล็อกจากจอยสติ๊กเข้ามา และจะเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปประมวลผล จากนั้นจึงนะส่งสัญญาณ PWM ให้กับตัวควบคุมมอเตอร์ด้วยความต่างศักย์ที่เท่ากับสัญญาณอนาล็อกที่รับเข้ามาในสถานการณ์ที่ปกติ แต่เมื่อมีการตรวจพบอุปสรรค ระบบจะทำการปรับเปลี่ยนค่าสัญญาณเพื่อให้รถเปลี่ยนลักษณะการวิ่งหรือความเร็ว

การทดลองนี้จะทดลองนี้จะใช้จอยสติ๊กส่งสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 จากนั้นจะให้บอร์ดควบคุมเลียนหรือปรับเปลี่ยนสัญญาณตามสถานการณ์ต่างๆ ตามที่เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคได้ถูกตั้งค่าไว้

บอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 มีขาอินพุตอนาล็อกอยู่ ซึ่งผู้ใช้สามารถเขียนโค้ด เพื่ออ่านค่าแรงดันจากขาอินพุตเหล่านั้นโดยแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิตอลที่มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มอยู่ในช่วง 0 ถึง 1023 หรือ 10 บิต ตามความละเอียดในการแปลงค่าของวงจร ADC (Analog to Digital Converter) ที่อยู่ภายใน และใช้คำสั่ง analogRead(); ในการเขียนโค้ด และในการทดลองนี้จะใช้ขาดิจิตอลซึ่งมีความละเอียดของสัญญาณอยู่ที่ 0 ถึง 255 หรือ 8 บิต จะเป็นขาที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงแรงดันแล้วไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ของรถเข็น ซึ่งจะใช้คำสั่ง analogWrite(); ในการเขียนโค้ด

ในระบบที่ทดลองอยู่นั้นจะใช้แรงดันอยู่ที่ 0–5 โวลต์ หากต้องการให้แรงดันที่ออกขาดิจิตอลมีค่าเท่ากับแรงดันที่เข้าขาอนาล็อก จะต้องรู้อัตราส่วนระหว่างบิตที่เข้าและบิตที่ออก หรือสามารถหาค่าได้โดยคำสั่ง val = map (val, 0, 1023, 0, 255); จากโปรแกรม Arduino Sketch ซึ่งค่าที่หาได้จากการใช้คำสั่งของโปรแกรมได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณอนาล็อกและค่าสัญญาณดิจิตอล ซึ่งแปรผันตรงกับแรงดันที่ส่งมาจากจอยสติ๊กในขณะที่ไม่มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ

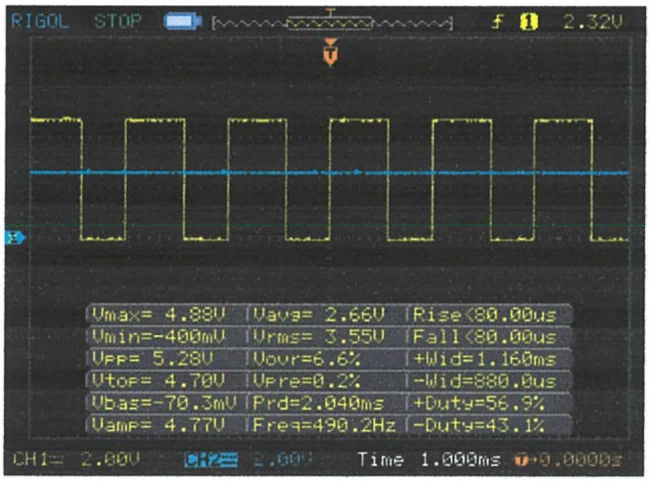
สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
ไม่มีอุปสรรค	ปล่อย	580	144	494	122	501	124	535	133
	หน้า	840	209	712	177	500	124	535	133
	หลัง	402	100	291	72	520	129	552	137
	ซ้าย	573	142	484	120	746	185	761	189
	ขวา	578	144	495	123	212	52	244	60

จากตารางที่ 5.3 เป็นค่าที่อ่านได้จากมอนิเตอร์ซึ่งเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม ซึ่งยากแก่การทำความเข้าใจและบันทึกผลการทดลอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการบันทึกผลเป็นหน่วยของแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะบันทึกจากมอนิเตอร์ของเครื่องออสซิลโลสโคป ซึ่งจากตารางที่ 5.3 สามารถวัดจากออสซิลโลสโคปได้ค่าตามตารางที่ 5.4 ดังนี้

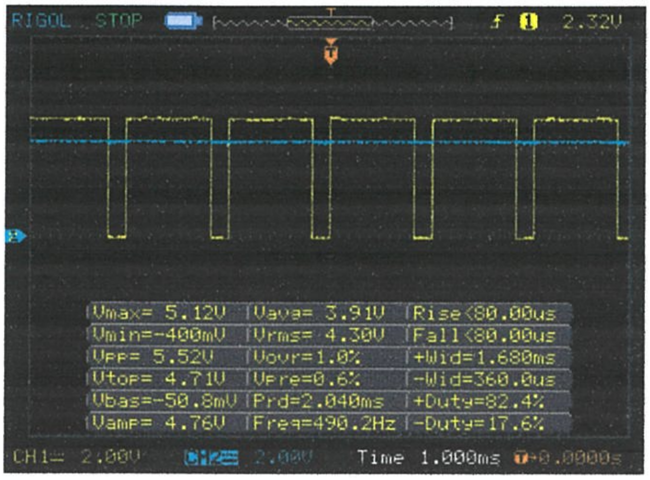
ตารางที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของแรงดันขาเข้าจากจอยสติ๊กและแรงดันขาออกของบอร์ดควบคุม ในขณะที่ไม่มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ

สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่า Vavgที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
ไม่มีอุปสรรค	ปล่อย	2.62	2.65	2.20	2.19	2.24	2.26	2.41	2.42
	หน้า	3.88	3.90	3.26	3.33	2.21	2.19	2.42	2.45
	หลัง	1.76	1.72	1.23	1.22	2.33	2.37	2.44	2.46
	ซ้าย	2.56	2.56	2.12	2.17	3.41	3.46	3.48	3.51
	ขวา	2.63	2.65	2.20	2.18	0.918	0.842	1.03	1.03

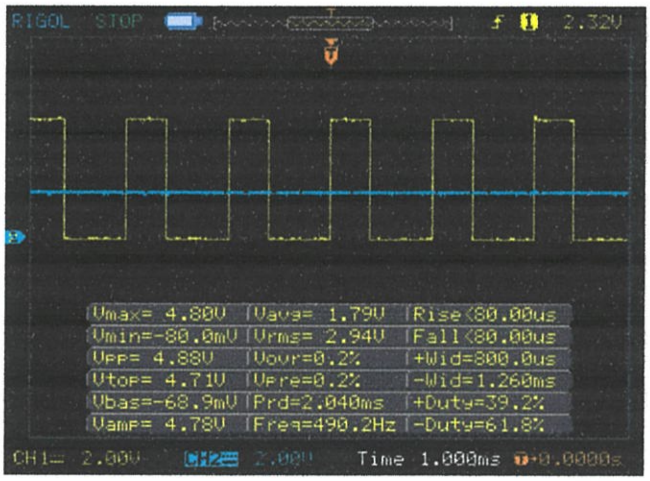
ในการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างกราฟของสัญญาณจากจอยสติ๊ก (สีฟ้า) และกราฟของสัญญาณขาออกจากบอร์ดควบคุม ซึ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชัน (สีเหลือง) โดยในรูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณขาเข้า (ขา A ของจอยสติ๊ก) และขาออก (ขา 10 PWM1) ในขณะที่ไม่มีการโยกจอยสติ๊ก รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณเมื่อมีการโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้า จะสังเกตได้ว่า เมื่อสัญญาณขาเข้าเพิ่มระดับสูงขึ้น ความกว้างของคลื่นสัญญาณส่วนที่มีค่าเป็น High จะเพิ่มมากขึ้นและแปรผันตรงกับแอมพลิจูดของสัญญาณขาเข้าจากจอยสติ๊ก และรูปที่ 5.18 แสดงสัญญาณเมื่อมีการโยกจอยสติ๊กไปด้านหลัง สังเกตได้ว่า เมื่อสัญญาณขาเข้าลดระดับสูงลง ความกว้างของคลื่นสัญญาณส่วนที่มีค่าเป็น High จะลดลงและแปรผันตรงกับแอมพลิจูดของสัญญาณขาเข้าจากจอยสติ๊ก โดยทั้งหมดทำในขณะที่ไม่มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางใดๆ



รูปที่ 5.16 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะไม่มีการควบคุมและไม่มีอุปสรรคใดๆ



รูปที่ 5.17 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าและไม่มีอุปสรรคใดๆ



รูปที่ 5.18 สัญญาณจากขา A (ฟ้า) และสัญญาณจากขา PWM1 (เหลือง) ของบอร์ดควบคุม ในสภาวะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังและไม่มีอุปสรรคใดๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กและขาออกของบอร์ดควบคุมโดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปวัดที่ละค่า เพื่อเป็นการตรวจสอบการทำงานของระบบ ในการทดลองนั้น ระบบจะยังไม่ติดบนรถเข็นไฟฟ้า แต่จะตั้งอยู่กับที่โดยระดับที่เซนเซอร์ตรวจจับทางต่างระดับรอบตัวรถนั้นจะมีการกำหนดค่าระยะปลอดภัยเอาไว้ เมื่อถึงเวลาทดสอบ ระยะที่แต่ละเซนเซอร์สามารถจับได้นั้นจะถูกยืดออกเพื่อสร้างสถานการณ์การเจอหลุมเป็นต้น ส่วนการทดลองกับเซนเซอร์ตรวจหาสิ่งกีดขวางนั้น ทางผู้วิจัยได้ลดระยะทางที่ปลอดภัยลงมา จากเดิมกำหนดให้รถจะวิ่งช้าลงที่ระยะ 3 เมตร และจะหยุดที่ระยะ 0.5 เมตร ลดลงเป็น รถจะวิ่งช้าลงเมื่อรถจะวิ่งช้าลงที่ระยะ 30 เซนติเมตร และหยุดที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร เพื่อความสะดวกในการทดลอง โดยตารางจะแบ่งเป็นสองตารางคือ ผลของเซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางทั้งหมด 4 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 แสดงผลของเซนเซอร์ตรวจจับหลุมรอบตัวรถทั้งหมด 9 ตัว

ตารางที่ 5.5 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ระยะต่างๆ

สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่า Vavgที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
ไม่มี อุปสรรค	ปล่อย	2.62	2.65	2.20	2.19	2.24	2.26	2.41	2.42
	หน้า	3.88	3.90	3.26	3.33	2.21	2.19	2.42	2.45
	หลัง	1.76	1.72	1.23	1.22	2.33	2.37	2.44	2.46
	ซ้าย	2.56	2.56	2.12	2.17	3.41	3.46	3.48	3.51
	ขวา	2.63	2.65	2.20	2.18	0.918	0.842	1.03	1.03
วัตถุห่างเซนเซอร์หมายเลข 3 30>X>15	ปล่อย	2.61	2.65	2.20	2.18	2.24	2.27	2.42	2.42
	หน้า	3.85	3.23	3.24	2.75	2.27	2.18	2.39	2.42
	หลัง	1.72	1.72	1.24	1.22	2.28	2.30	2.43	2.49
	ซ้าย	2.53	2.56	2.13	2.08	3.40	3.42	3.48	3.50
	ขวา	2.60	2.65	2.20	2.20	0.918	0.838	1.08	1.03
วัตถุห่างเซนเซอร์หมายเลข 3 X < 15	ปล่อย	2.60	2.66	2.20	2.18	2.24	2.26	2.40	2.42
	หน้า	3.82	2.65	3.24	2.18	2.21	2.18	2.37	2.42
	หลัง	1.73	1.72	1.24	1.22	2.28	2.27	2.43	2.38
	ซ้าย	2.48	2.56	2.12	2.08	3.39	3.32	3.38	3.49
	ขวา	2.59	2.56	2.20	2.18	0.916	0.836	1.02	1.01
วัตถุห่างเซนเซอร์หมายเลข 4 30>X>15	ปล่อย	2.60	2.65	2.20	2.18	2.22	2.26	2.40	2.42
	หน้า	3.83	3.23	3.24	2.75	2.22	2.27	2.35	2.39
	หลัง	1.73	1.79	1.24	1.22	2.21	2.29	2.46	2.52
	ซ้าย	2.51	2.57	2.12	2.17	3.31	3.41	3.45	3.50
	ขวา	2.55	2.57	2.17	2.18	0.905	0.834	1.06	1.03
วัตถุห่างเซนเซอร์หมายเลข 4 X < 15	ปล่อย	2.60	2.64	2.20	2.17	2.22	2.26	2.40	2.41
	หน้า	3.82	2.64	3.24	2.17	2.28	2.27	2.39	2.45
	หลัง	1.74	1.78	1.24	1.22	2.25	2.27	2.36	2.42
	ซ้าย	2.55	2.49	2.13	2.08	3.32	3.41	3.44	3.47
	ขวา	2.54	2.55	2.23	2.18	0.906	0.835	1.03	1.01

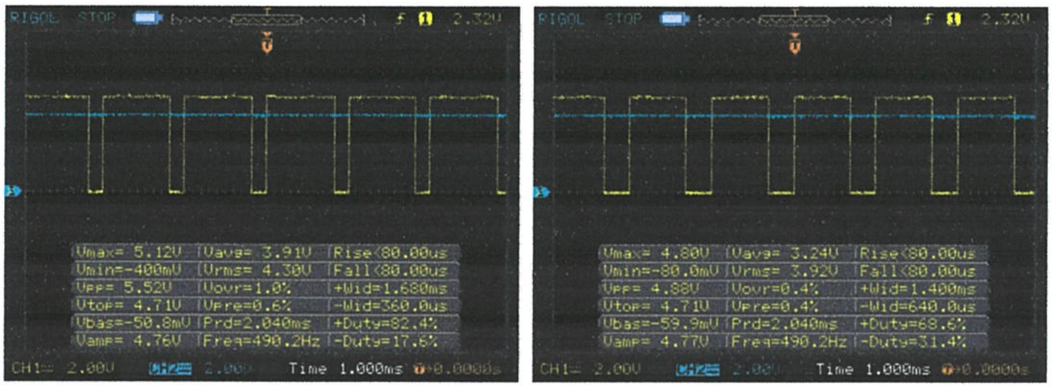
ตารางที่ 5.5 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ระยะต่างๆ (ต่อ)

สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
วัตถุห่าง	ปล่อย	2.60	2.64	2.20	2.17	2.22	2.25	2.39	2.42
เซนเซอร์	หน้า	3.81	3.89	3.24	3.32	2.20	2.19	2.38	2.43
หมายเลข	หลัง	1.72	2.17	1.24	1.70	2.20	2.25	2.36	2.42
12	ซ้าย	2.48	2.55	2.04	2.17	3.38	3.40	3.40	3.47
30>X>15	ขวา	2.60	2.59	2.19	2.17	0.954	0.834	1.04	1.03
วัตถุห่าง	ปล่อย	2.60	2.64	2.20	2.17	2.22	2.26	2.39	2.42
เซนเซอร์	หน้า	3.81	3.88	3.22	3.25	2.20	2.27	2.39	2.45
หมายเลข	หลัง	1.77	2.64	1.24	2.17	2.22	2.26	2.36	2.42
12	ซ้าย	2.54	2.64	2.12	2.17	3.35	3.41	3.38	3.42
X < 15	ขวา	2.65	2.64	2.20	2.27	0.906	0.834	1.03	1.03
วัตถุห่าง	ปล่อย	2.60	2.64	2.20	2.17	2.23	2.26	2.39	2.42
เซนเซอร์	หน้า	3.80	3.88	3.23	3.22	2.20	2.17	2.37	2.47
หมายเลข	หลัง	1.74	2.17	1.24	1.69	2.28	2.27	2.40	2.50
13	ซ้าย	2.51	2.55	2.12	2.16	3.32	3.31	3.34	3.47
30>X>15	ขวา	2.63	2.64	2.19	2.17	0.903	0.835	1.05	1.06
วัตถุห่าง	ปล่อย	2.60	2.65	2.20	2.17	2.23	2.26	2.40	2.43
เซนเซอร์	หน้า	3.81	3.89	3.22	3.22	2.20	2.17	2.36	2.39
หมายเลข	หลัง	1.76	2.65	1.25	2.17	2.29	2.27	2.41	2.46
13	ซ้าย	2.60	2.66	2.20	2.17	3.36	3.41	3.43	3.50
X < 15	ขวา	2.65	2.65	2.20	2.19	0.907	0.836	1.02	1.05

ในรูปที่ 5.19 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา A ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้า ในสถานการณ์ปกติ หรือรูปที่ 5.19 (ก)เทียบกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ในระยะ 30 > X > 15 หรือรูปที่ 5.19 (ข)จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะแคบกว่าเมื่อไม่พบสิ่งกีดขวาง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่าน้อยลง เป็นเหตุให้รถวิ่งได้ช้าลง

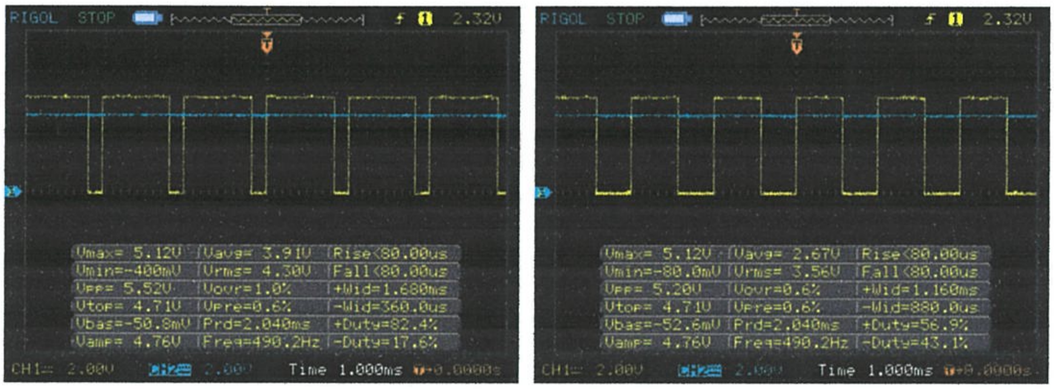
ในรูปที่ 5.20 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา A ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้า ในสถานการณ์ปกติหรือรูปที่ 5.20 (ก) เทียบกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ใน

ระยะ X < 15 หรือรูปที่ 5.20 (ข) จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่าเท่าเดิม เป็นเหตุให้รถหยุด



(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.19 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าในสถานการณ์ปกติกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ในระยะ 30 > X > 15



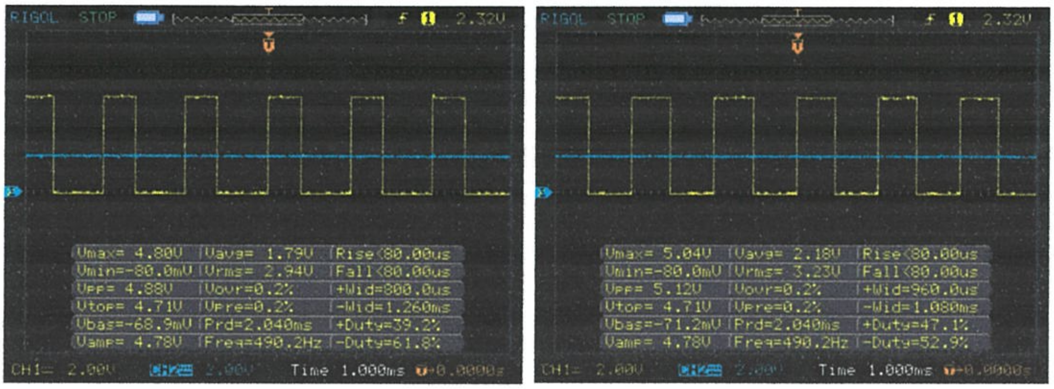
(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.20 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้าในสถานการณ์ปกติกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 3 ในระยะ X < 15

ในรูปที่ 5.21 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา A ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสฺวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหน้า ในสถานการณ์ปกติหรือรูปที่ 5.21 (ก) เทียบกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 12 ในระยะ 30 > X > 15หรือรูปที่ 5.21 (ข) จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะกว้างกว่าเมื่อไม่พบสิ่งกีดขวาง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น เป็นเหตุให้รถวิ่งถอยหลังได้ได้ช้าลง

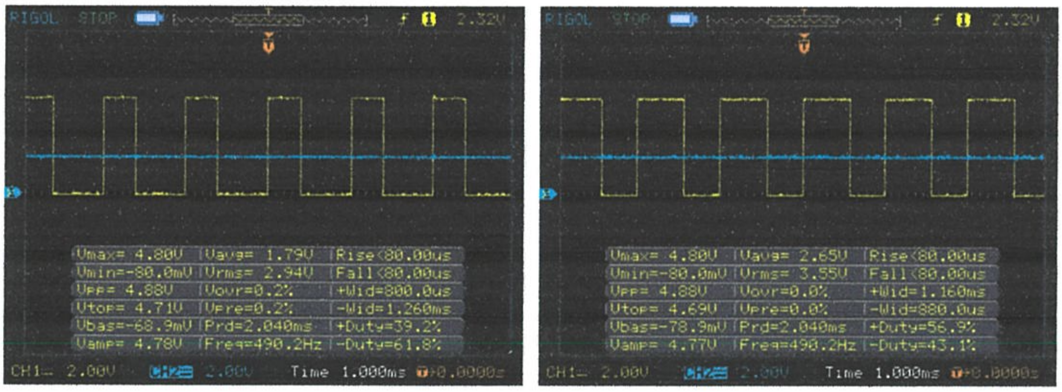
ในรูปที่ 5.22 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา A ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสฺวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไป

ด้านหน้า ในสถานการณ์ปกติหรือรูปที่ 5.22 (ก) เทียบกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าเซนเซอร์ 12 ในระยะ X < 15 หรือรูปที่ 5.22 (ข) จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่าเท่าเดิม เป็นเหตุให้รถหยุด



(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังในสถานการณ์ปกติกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหลังห่างเซนเซอร์ 12 ในระยะ 30 > X > 15



(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านหลังในสถานการณ์ปกติกับเมื่อมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหลังห่างเซนเซอร์ 12 ในระยะ X < 15

ตารางที่ 5.6 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบทางต่างระดับที่ตำแหน่งต่างๆ

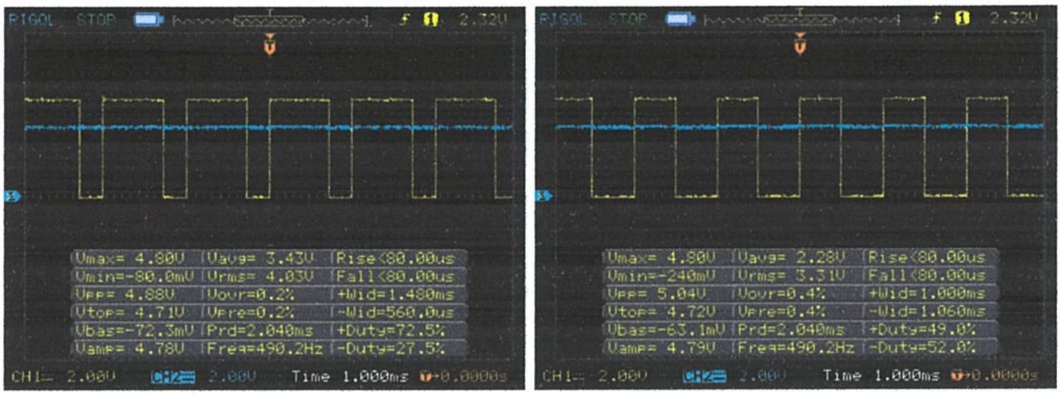
สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
เซนเซอร์ 1 พบทางต่างระดับลึกกว่า 3 ซม.	ปล่อย	2.61	2.67	2.20	2.20	2.25	2.28	2.40	2.42
	หน้า	3.82	2.67	3.24	2.19	2.27	2.21	2.36	2.40
	หลัง	1.78	1.74	1.26	1.23	2.24	2.28	2.43	2.50
	ซ้าย	2.55	2.57	2.17	2.19	3.15	3.14	3.32	3.40
	ขวา	2.59	2.67	2.18	2.19	1.24	1.16	1.16	1.16
เซนเซอร์ 2 พบทางต่างระดับลึกกว่า 3 ซม.	ปล่อย	2.60	2.59	2.21	2.18	2.23	2.27	2.39	2.43
	หน้า	3.77	2.66	2.94	2.18	2.19	2.21	2.42	2.47
	หลัง	1.73	1.73	1.51	1.51	2.28	2.28	2.42	2.45
	ซ้าย	2.47	2.59	2.18	2.11	3.13	3.14	3.32	3.39
	ขวา	2.61	2.60	2.28	2.18	1.23	1.22	1.17	1.18
เซนเซอร์ 5 พบทางต่างระดับลึกกว่า 3 ซม.	ปล่อย	2.60	2.60	2.21	2.20	2.23	2.26	2.38	2.41
	หน้า	1.73	3.81	2.94	3.04	2.22	2.26	2.40	2.45
	หลัง	1.73	1.74	1.51	1.51	2.22	2.18	2.36	2.46
	ซ้าย	2.53	2.47	2.13	2.10	3.10	2.26	3.32	2.43
	ขวา	2.55	2.66	2.18	2.18	1.24	1.21	1.17	1.16
เซนเซอร์ 6 พบทางต่างระดับลึกกว่า 3 ซม.	ปล่อย	2.60	2.59	2.20	2.20	2.24	2.26	2.39	2.44
	หน้า	3.74	3.79	2.94	3.03	2.20	2.26	2.41	2.44
	หลัง	1.73	1.72	1.51	1.51	2.26	2.26	2.43	2.44
	ซ้าย	2.54	2.49	2.14	2.10	3.13	3.13	3.32	3.42
	ขวา	2.57	2.69	2.23	2.27	1.23	2.26	1.16	2.43

ตารางที่ 5.6 ค่าจากออสซิลโลสโคปทั้งขาเข้าและขาออกของบอร์ดควบคุมเมื่อพบทางต่างระดับที่ตำแหน่งต่างๆ (ต่อ)

สถานการณ์	การควบคุมจอยสติ๊ก	ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากจอยสติ๊กและสัญญาณ PWM จากบอร์ดควบคุม							
		A		C		B		D	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
เซนเซอร์	ปล่อย	2.60	2.65	2.21	2.22	2.23	2.27	2.38	2.40
7	หน้า	3.79	3.79	2.96	3.05	2.24	2.28	2.37	2.36
พบทางต่าง	หลัง	1.73	2.65	1.50	2.19	2.21	2.27	2.45	2.38
ระดับลึก	ซ้าย	2.52	2.65	2.13	2.19	3.13	2.26	3.27	2.42
กว่า 3 ซม.	ขวา	2.64	2.65	2.26	2.22	1.16	1.13	1.21	1.20
เซนเซอร์	ปล่อย	2.60	2.65	2.20	2.20	2.24	2.27	2.39	2.40
8	หน้า	3.82	3.89	3.24	3.32	2.20	2.18	2.36	2.42
พบทางต่าง	หลัง	1.77	2.65	1.28	2.17	2.20	2.18	2.36	2.38
ระดับลึก	ซ้าย	2.54	2.65	2.11	2.17	3.39	3.42	3.39	3.35
กว่า 3 ซม.	ขวา	2.64	2.66	2.28	2.27	0.919	2.26	1.08	2.42
เซนเซอร์	ปล่อย	2.60	2.66	2.20	2.20	2.25	2.27	2.42	2.43
9	หน้า	3.80	3.90	3.22	3.23	2.21	2.27	2.44	2.43
พบทางต่าง	หลัง	1.77	2.66	1.28	2.18	2.26	2.20	2.37	2.41
ระดับลึก	ซ้าย	2.57	2.67	2.17	2.17	3.33	2.27	3.39	2.43
กว่า 3 ซม.	ขวา	2.68	2.76	2.28	2.27	0.921	2.26	1.08	2.43
เซนเซอร์	ปล่อย	2.60	2.65	2.20	2.20	2.26	2.26	2.41	2.42
10	หน้า	3.81	3.89	3.24	3.26	2.28	2.20	2.40	2.42
พบทางต่าง	หลัง	1.79	2.65	1.28	2.18	2.22	2.20	2.39	2.38
ระดับลึก	ซ้าย	2.54	2.65	2.11	2.17	3.35	2.27	3.42	2.43
กว่า 3 ซม.	ขวา	2.67	2.65	2.27	2.27	0.922	2.26	1.10	2.42
เซนเซอร์	ปล่อย	2.60	2.65	2.20	2.20	2.26	2.27	2.42	2.43
11	หน้า	3.80	3.89	3.22	3.23	2.20	2.28	2.37	2.43
พบทางต่าง	หลัง	1.80	2.65	1.28	2.18	2.28	2.18	2.38	2.40
ระดับลึก	ซ้าย	2.56	2.65	2.11	2.18	3.36	3.35	3.40	3.50
กว่า 3 ซม.	ขวา	2.68	2.69	2.28	2.27	0.922	0.868	1.07	1.05

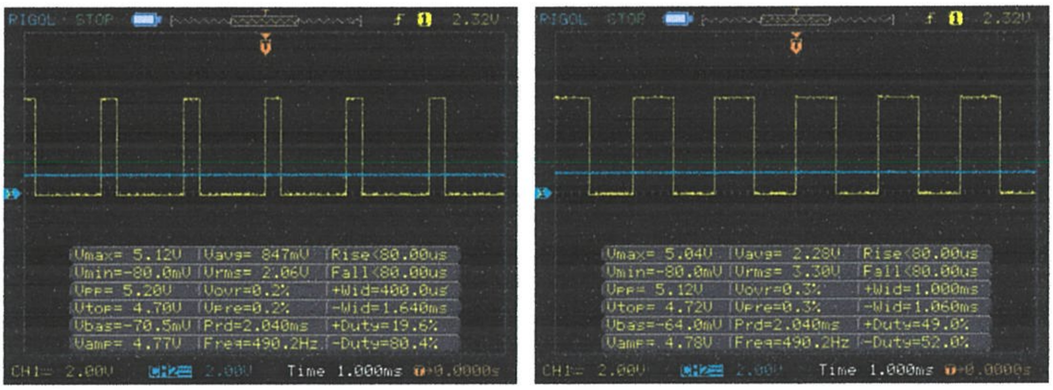
ในรูปที่ 5.23 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา B ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสุวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านซ้าย ในสถานการณ์ปกติหรือรูปที่ 5.23 (ก) เทียบกับเมื่อมีหลุมลึกเกินสามเซนติเมตรอยู่ด้านซ้ายหรือรูปที่ 5.23 (ก) จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะแคบกว่าเมื่อไม่พบสิ่งกีดขวาง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น เป็นเหตุให้รถหยุด

ในรูปที่ 5.24 เป็นกราฟเปรียบเทียบสัญญาณจากขา B ของจอยสติ๊ก (เส้นสีฟ้า) และสัญญาณพัลสุวิดธ์มอดูเลชันจากบอร์ดควบคุมไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ (เส้นสีเหลือง) ขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านขวา ในสถานการณ์ปกติหรือรูปที่ 5.24 (ก) เทียบกับเมื่อมีหลุมลึกเกินสามเซนติเมตรอยู่ด้านซ้ายหรือเซนเซอร์ 5 หรือรูปที่ 5.24 (ข) จะเห็นว่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วง “High” จะแคบกว่าเมื่อไม่พบสิ่งกีดขวาง ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ออกจากบอร์ดควบคุมมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น เป็นเหตุให้รถหยุด



(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

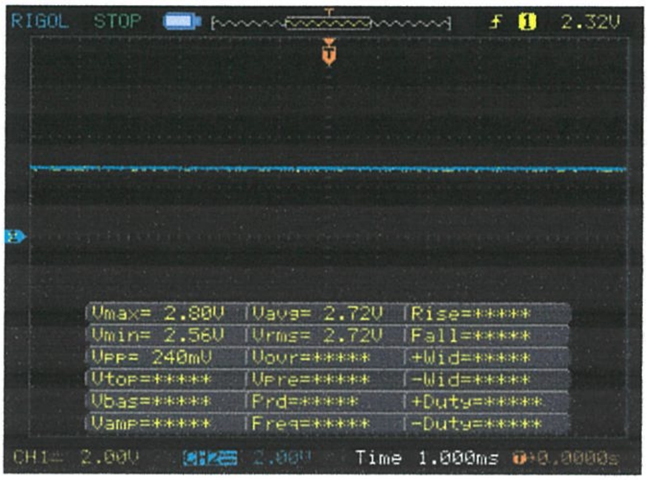
รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านซ้ายในสถานการณ์ปกติกับเมื่อพบทางต่างระดับเกิน 3 เซนติเมตรที่เซนเซอร์ 5



(ก) สถานการณ์ปกติ (ข) พบสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขณะโยกจอยสติ๊กไปด้านขวาในสถานการณ์ปกติกับเมื่อพบทางต่างระดับเกิน 3 เซนติเมตรที่เซนเซอร์ 6 (ด้านขวา)

เมื่อระบบสามารถจ่ายสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชันได้ตามที่ต้องการแล้ว จึงนำสัญญาณที่ได้ในแต่ละขาผ่านวงจรกรองสัญญาณ (RC Filter) โดยใช้ค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม และตัวเก็บประจุขนาด 47 ไมโครฟารัด เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับตัวควบคุมมอเตอร์ (MCU) ของรถเข็นได้ เมื่อทำการกรองแล้วทำให้สัญญาณที่ออกมีความเรียบใกล้เคียงกับสัญญาณขาเข้าจากจอยสติ๊กดังแสดงในรูปที่ 5.26 โดยในรูปเป็นการวัดค่าสัญญาณที่มาจากขา A ของจอยสติ๊กเทียบกับค่าสัญญาณที่ออกจากบอร์ดควบคุมและกรองด้วยวงจรกรองสัญญาณแล้ว



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบค่าสัญญาณจากจอยสติ๊กและสัญญาณหลังผ่านวงจรกรองสัญญาณ

5.7 สรุป

ผลการทดลองจากการทดลองกับเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-HR04 และบอร์ดควบคุมพบว่าเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคมีความคล่องตัวสูงและราคาถูก มีความแม่นยำและความเที่ยงตรงพอใช้และราคาถูก เมื่อนำเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคทั้งหมดมาทดลองในรถจำลองพบว่าเมื่อทดลองโดยไม่มีแผ่นโฟมซับเสียง คลื่นอัลตร้าโซนิคที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัวจะรบกวนการตรวจจับของเซนเซอร์ใกล้เคียง ทำให้ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้ เมื่อทำการติดตั้งแผ่นโฟมซับเสียงจึงสามารถลดปัญหาที่เกิดจากการแทรกสอดระหว่างเซนเซอร์ลงได้อย่างมาก ในการทดลองกับรถจำลองโดยใช้หลอดแอลอีดีในการแสดงผลพบว่าโปรแกรมสามารถควบคุมการทำงานของจอยสติ๊กได้ดีและรถเข็นจำลองทำงานสามารถทำงานได้ดีเช่นกัน

ในการทดลองเซนเซอร์สำหรับติดกับรถเข็นจริงนั้น ได้มีการปรับเปลี่ยนการวางเซนเซอร์ให้มีจำนวนเซนเซอร์ในการตรวจจับทางต่างระดับน้อยลง แต่ยังคงประสิทธิภาพในการตรวจจับทางต่างระดับได้ดี และเพิ่มเซนเซอร์ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังรถ โปรแกรมที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการและสามารถจ่ายสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชันได้ตามที่ต้องการ จากนั้นจึงนำสัญญาณดังกล่าวผ่านวงจรกรองสัญญาณ RC Filter ทำให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณเดิมกับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากจอยสติ๊ก สามารถนำไปใช้กับตัวควบคุมมอเตอร์ของรถเข็นจริงได้

บทที่ 6
สรุปและงานในอนาคต

6.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยของรถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าด้วยอัลตร้าโซนิคโดยในงานได้ทำร่วมกับรถเข็นไฟฟ้าปรับยืนได้ "STANDY"ทางผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนการทำงานรวมถึงการศึกษาการติดต่อระหว่างจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์ โดยทำการเข้าแทรกแซงระบบในขณะที่มีการตรวจจับอันตรายที่อยู่รอบตัวรถในเรื่องทางตางระดับและสิ่งกีดขวาง เป็นต้น

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองนำเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคมาทดสอบพบว่ามีความแม่นยำที่ไม่สูงมากแต่มีความเที่ยงตรงสูงเนื่องจากในการวัดมีการซ้ำค่าเดิมสูง ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงแต่สามารถนำไปคำนวณเพื่อใช้กับระบบต่างๆ ได้เป็นต้น การทดสอบการแทรกสอดของคลื่นที่ทำให้ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้จึงจำเป็นต้องใช้โฟมป้องกันเสียงสะท้อนซึ่งใช้ได้ผลดีมาก การทดสอบการเข้าแทรกแซงระหว่างตัวควบคุมมอเตอร์กับจอยสติ๊กนั้นสามารถทำได้เป็นบางกรณี เนื่องจากระบบของจอยสติ๊กนั้นใหญ่มาก การโยกย้ายเพื่อติดตั้งและถอดประกอบยังไม่สามารถทำได้สะดวกนัก การวัดเพื่อทำการทดลองจึงยังไม่สามารถทำกับรถจริงได้สะดวกในขณะนี้

6.3 สรุปผล

ผู้ดำเนินการทดลองพบว่าเซนเซอร์อัลตร้าโซนิคที่ใช้มีความสะดวกและราคาถูก เหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับการทดลอง การวัดในระดับมิลลิเมตรหรือเซนติเมตรมีความคลาดเคลื่อนมาก แต่มีความเที่ยงตรงสูง ในส่วนของการแทรกสอดของสัญญาณสามารถทำได้โดยการเชื่อมต่อระหว่างจอยสติ๊กและตัวควบคุมมอเตอร์โดยรับสัญญาณอนาล็อกของจอยสติ๊กเข้าไปและเปลี่ยนแปลงเพื่อส่งต่อให้ตัวควบคุมมอเตอร์แบบตามเวลาจริง

6.4 ข้อเสนอแนะ

1. การค้นคว้าทดลองมีขั้นตอนในการดำเนินการมากเกินไป การทดลองครั้งต่อๆ ไปควรเน้นไปที่การออกแบบและสร้างตัวทดลองสำหรับการใช้จริง

2.การทดลองในครั้งต่อๆ ไปควรเน้นการทดลองกับรถเข็นคันจริงโดยการวิ่งไปในที่ๆ มีอุปสรรคอยู่โดยมีผู้ดูแลเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด

3. ควรทำการทดลองความสามารถของเซนเซอร์ขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่ด้วย เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองในสภาพรถหยุดนิ่ง แต่ในการนำไปใช้งานจริง ระบบจำเป็นจะต้องทำงานในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการวัดขึ้นได้ จึงควรออกแบบการทดลองให้มีการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ในขณะที่เซนเซอร์เคลื่อนที่ด้วยเช่นกัน

4. เซนเซอร์อัลตร้าโซนิค HC-SR04 ที่ใช้นั้น สั่งการจากบอร์ดควบคุมด้วยการส่งสัญญาณ Trig ไปให้โมดูลของเซนเซอร์ จากนั้นตัวเซนเซอร์จึงสร้างคลื่นเสียงความถี่ 40 kHz ขึ้นมา และตัวรับจะมี

การตอบสนองกับคลื่นความถี่ 40 KHz นั้น ผู้วิจัยไม่สามารถสร้างคลื่นเสียงความถี่อื่นๆ ได้จากโมดูล HC-SR04 การใช้แผ่นดูดซับเสียงในการลดการรบกวนจึงเป็นสิ่งจำเป็น แต่นอกจากวิธีนี้แล้วยังมีวิธีอื่นๆ ด้วยเช่น การใช้คลื่นอัลตร้าโซนิคชนิดอื่นซึ่งใช้คลื่นความถี่นอกเหนือจาก 40 KHz เช่น โมดูล MB 1040 ของบริษัท MaxBotix [19] ซึ่งใช้ความถี่ 42 KHz เป็นต้น เนื่องจากตัวรับของโมดูลอัลตร้าโซนิคแต่ละตัวจะมีความสามารถรับคลื่นอัลตร้าโซนิคความถี่เดียวกับตัวตัวส่งของโมดูล ในการทดลองครั้งต่อไป ควรศึกษาการทำงานและผลกระทบของการใช้เซนเซอร์อัลตร้าโซนิคที่ใช้คลื่นความถี่ต่างกันในสถานการณ์ที่อยู่ใกล้กันเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดกับการวัดด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, นพดล มณีรัตน์, เกษมสุข เสพศิริสุข "การออกแบบและพัฒนารถเข็นผู้ป่วยไฟฟ้าแบบปรับยืนได้"โครงการงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 ภาควิชาระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พศ. 2556.

[2] DA Sanders, U Stott, MJ Goodwin, IGE Tewkesbury, H Cawte, GA Poland. "COMPUTER SYSTEMS AND !STRATEGIES TO ASSIST A DISABLED PERSON INNAVIGATING A POWERED WHEELCHAIR THROUGH A DOORWAY" The Institution of Electrical Engineers. Savoy Place, London WCPR OBL, UK. 1997.

[3] Amal Elawad, Braa Hagadam, Rabah Hamed, Eltahir Hussein. "Design and Implementation of Robotic System to Transport Disabled People" INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING, ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (ICCEEE) 2013. pp. 530-534.

[4] Hiroki Murakami and Hirokazu Seki. "Fuzzy Algorithm Based Obstacle Avoidance Controlof Electric Powered Wheelchair using Ultrasonic Sensor" Department of Electrical, Electronics and Computer Engineering,Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology2-17-1 Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan 2009. pp. 4251-4256.

[5] Gang Liu, Lei Zhang, Meng Yao, Chao Zhang. "Fuzzy Controller for Obstacle Avoidance In Electric Wheelchair With Ultrasonic Sensors"International Symposium on Computer Science and Society. 2011. Pp. 71-74.

[6] Mohamed Fezari, Abd-Erahman Khati. "New speech processor and Ultrasonic Sensors Based Embedded system to Improve the Control of a Motorised Wheelchair" University of Annaba, Faculty of Engineering, Algeria. Pp. 345-349.

[7] Tilak Dutta, Geoff R. Fernie. "Utilization of Ultrasound Sensors for Anti-CollisionSystems of Powered Wheelchairs" IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING, VOL. 13, NO. 1, MARCH 2005. Pp. 24-32.

[8] Malek NJAH and Mohamed JALLOULI. "WHEELCHAIR OBSTACLE AVOIDANCE BASED ON FUZZY CONTROLLER AND ULTRASONIC SENSORS" University of Sfax, Sfax Engineering School, BP W,1173-3038 Sfax, Tunisia. 2013.

[9] H. Seki, S. Kobayashi, Y. Kamiya, M. Hikizu, H. Nomura. "Autonomous / Semi-autonomous Navigation System of a Wheelchair by Active Ultrasonic Beacons" International Conference on Robotics *8* Automation San Francisco, CA April 2000. Pp. 1366-1371.

[10] HC-SR04 User Manual

[11] Arduino Mega 2556 datasheet

[12] ATmega2556 datasheet

[13] ผศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, “สัญญาณและระบบกับการเขียนโปรแกรม SCILAB”, 1st, โปรแกรมวิศวกรรม โทรคมนาคม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ-นครปฐม, 2552.

[14] ถวิล กิ่งทอง, “เทคโนโลยีการส่งสัญญาณดิจิตอล Digital Transmission Technology”, 1st, Japan International Cooperation Agency (JICA), 2534.

[15] วิศรุต ศรีรัตนะ, “เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม”, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550.

[16] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, “หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม”, 4th, กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

[17] GP2D150A–Datasheet

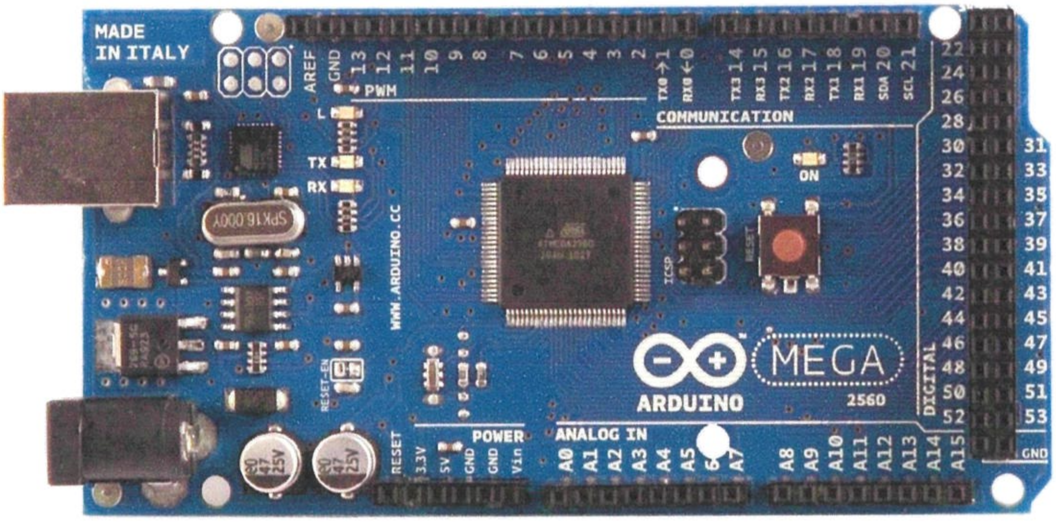
[18] Ren C. Lou and Yen-Chang Wu. “Human-Robot Interaction with Multi-Sensor Fusion Based Hand Sign Recognition for Service Robot” Electrical Engineering Department, National Taiwan University. Pp. 2725-2730. 2012.

[19] LV-MaxSonar-EZ Datasheet.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

Technical Specifications — Page 2

How to use Arduino
Programming Enviroment, Basic Tutorials — Page 6

Terms & Conditions — Page 7

Enviromental Policies
half sqm of green via Impatto Zero® — Page 7

RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

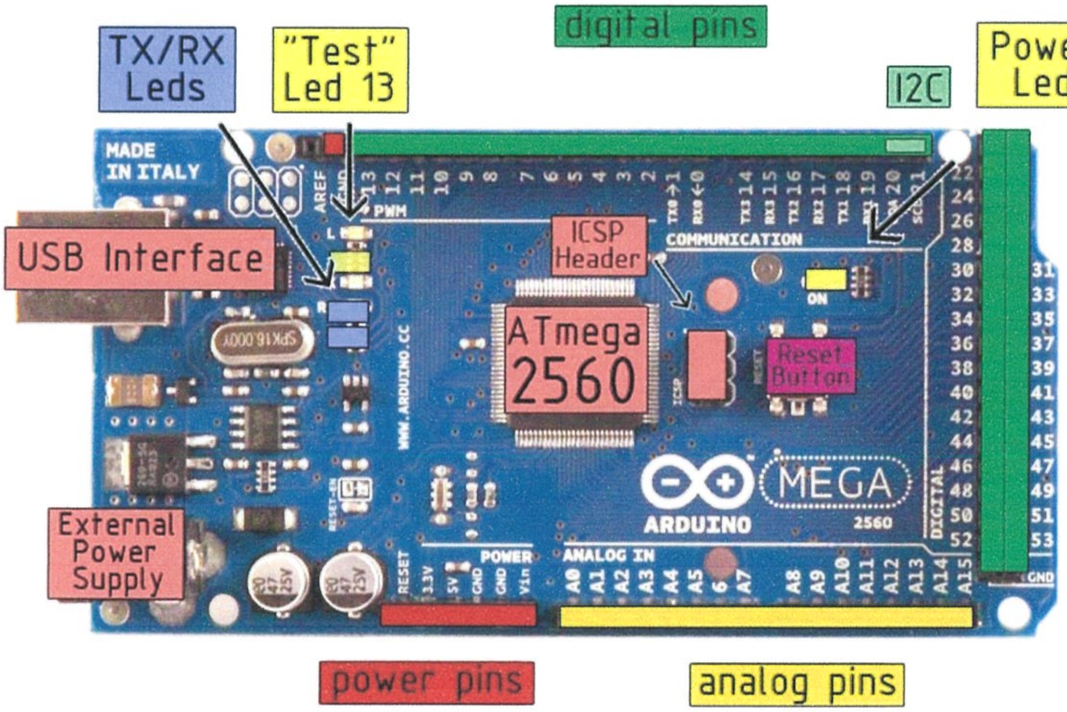
Technical Specification

EAGLE files: arduino-mega2560-reference-design.zip Schematic: arduino-mega2560-schematic.pdf

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the EEPROM library).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead() functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the attachInterrupt() function for details.
- **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the analogWrite() function.
- **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- **I^2C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I^2C (TWI) communication using the Wire library (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I^2C pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and analogReference() function.

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with analogReference().
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A SoftwareSerial library allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

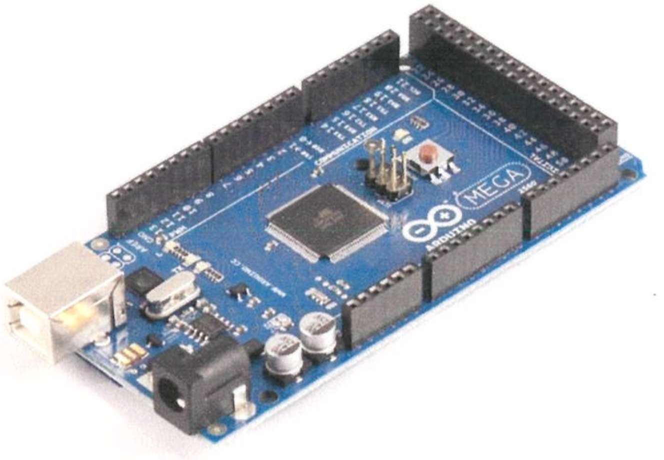
The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the documentation on the Wiring website for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software (download). For details, see the reference and tutorials.

The Atmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol (reference, C header files).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see these instructions for details.



RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

Automatic (Software) Reset

Rather then requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see this forum thread for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega is designed to be compatible with most shields designed for the Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega and Duemilanove / Diecimila. **Please note that I^2C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).**

How to use Arduino

Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the Arduino programming language (based on Wiring) and the Arduino development environment (based on Processing). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platoform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the Arduino site for the latest instructions. *http://arduino.cc/en/Guide/HomePage*

Linux Install **Windows Install** **Mac Install**

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

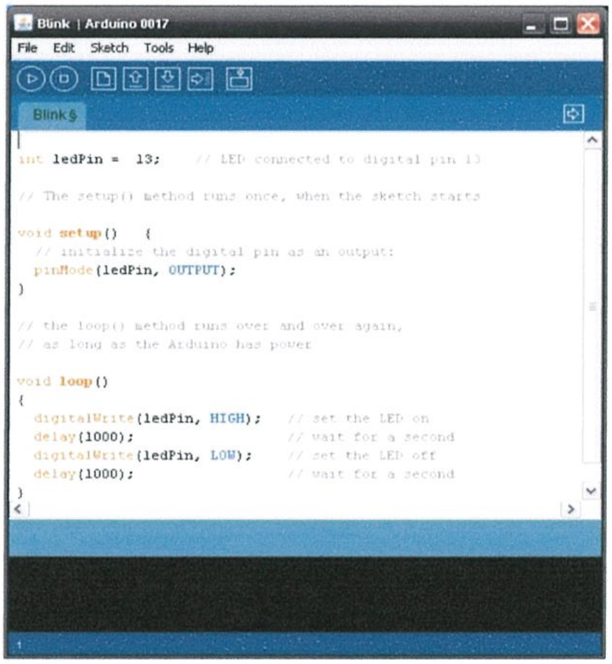
Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

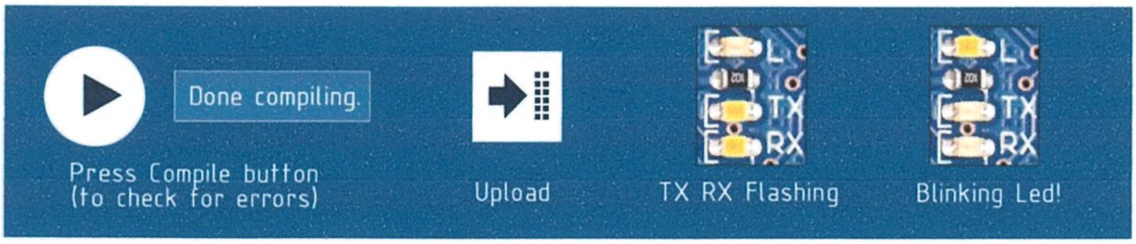
File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink

Once you have your skecth you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select MEGA

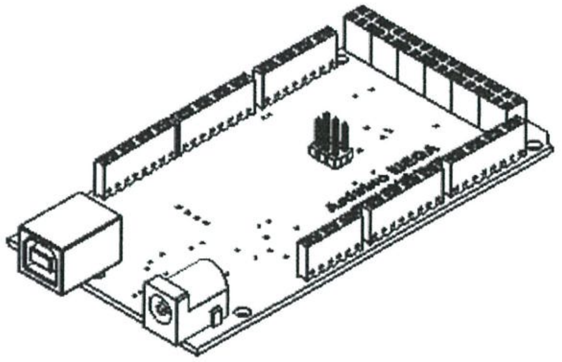
Now you have to go to
Tools>SerialPort
and select the right serial port, the one arduino is attached to.

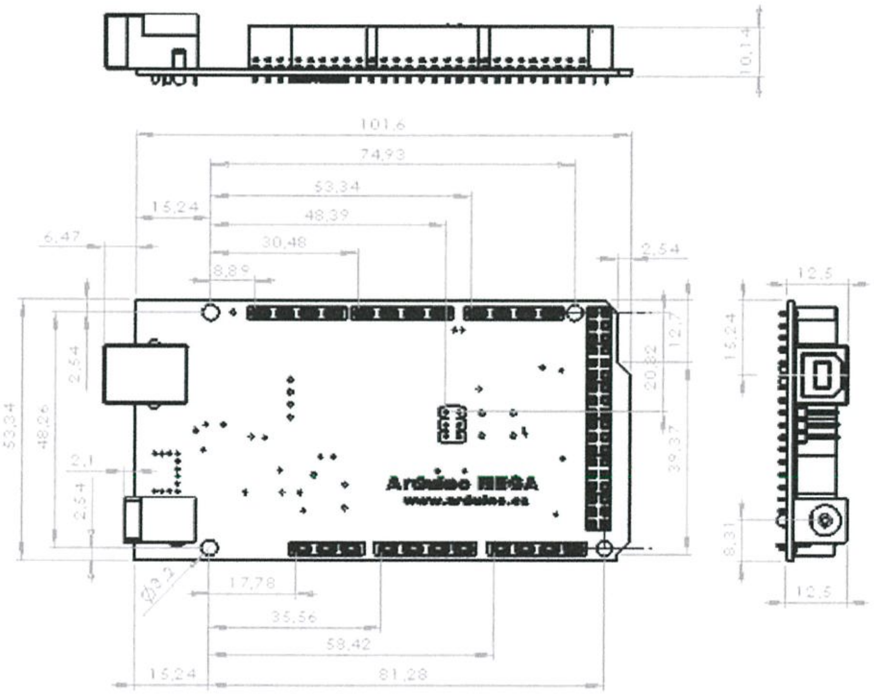




RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

Dimensioned Drawing





RS radiospares RADIONICS ALLIED ELECTRONICS

Terms & Conditions

1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER 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

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer 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." The producer 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.

Enviromental Policies

The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.

Tech Support: services@elecfreaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:
(1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
(2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
(3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.
Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

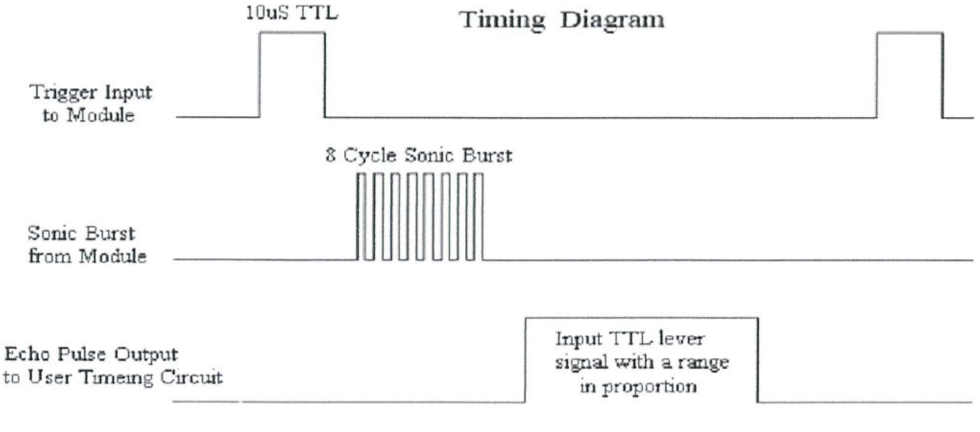
- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

Electric Parameter

Working Voltage	**DC 5 V**
Working Current	**15mA**
Working Frequency	**40Hz**
Max Range	**4m**
Min Range	**2cm**
MeasuringAngle	**15 degree**
Trigger Input Signal	**10uS TTL pulse**
Echo Output Signal	**Input TTL lever signal and the range in proportion**
Dimension	**45*20*15mm**

Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion .You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: uS / 58 = centimeters or uS / 148 =inch; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Attention:

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

www.Elecfreaks.com

ภาคผนวก ข
โปรแกรมการทำงาน

1 รายละเอียดของระบบที่ใช้ทดสอบ

ในการทดสอบได้แบ่งรายละเอียดของการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ รายละเอียดทางฮาร์ดแวร์และ รายละเอียดทางซอฟต์แวร์ แสดงดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 รายละเอียดของระบบที่ใช้ในการทดสอบ

Hardware	computer	Processor	Intel Core i5	
		Memory	4 GB of RAM	
software	Operating system	Windows 7		
	Program Simulation	Arduino	Version 1.0.5-r2	

2 โปรแกรมการทำงานของ Arduino

```
#define TRIGPIN1 22                    // Pin to send trigger pulse
#define ECHOPIN1 23                     // Pin to receive echo pulse
#define TRIGPIN2 24
#define ECHOPIN2 25
#define TRIGPIN3 26
#define ECHOPIN3 27
#define TRIGPIN4 28
#define ECHOPIN4 29
#define TRIGPIN5 30
#define ECHOPIN5 31
#define TRIGPIN6 32
#define ECHOPIN6 33
#define TRIGPIN7 34
#define ECHOPIN7 35
#define TRIGPIN8 36
#define ECHOPIN8 37
#define TRIGPIN9 38
#define ECHOPIN9 39
#define TRIGPIN10 40
#define ECHOPIN10 41
#define TRIGPIN11 42
#define ECHOPIN11 43
#define TRIGPIN12 46              // for Ultra 12
```

```
#define ECHOPIN12 48            // for Ultra 12
#define TRIGPIN13 50            // for Ultra 13
#define ECHOPIN13 52            // for Ultra 13
const int buttonPinRE = 4;
const int buttonPin3 = 2;
const int buttonPin5 = 3;
int ledpin3 = 8;
int ledpin5 = 9;
int buttonState ;
int buttonState3 ;
int buttonState5 ;
int safedistance;
int limitsave1;
int limitsave2;
int limitsave5;
int limitsave6;
int limitsave7;
int limitsave8;
int limitsave9;
int limitsave10;
int limitsave11;
int limitfront3;     //สำหรับ ULTRASONIC หน้า 3
int limitfront4;     //สำหรับ ULTRASONIC หน้า 4
int limitback12;     //สำหรับ ULTRASONIC หลัง 12
int limitback13;     //สำหรับ ULTRASONIC หลัง 13
```

```
int valA = A1;
int valC = A2;
int valB = A3;
int valD = A4;
int PWM1= 10;
int PWM2= 11;
int PWM3= 12;
int PWM4= 13;
int PWMmonitor1;            // สำหรับแสดงผลค่า PWM1 หลังจาก map กับค่า valA แล้ว
int PWMmonitor2;            // สำหรับแสดงผลค่า PWM2 หลังจาก map กับค่า valC แล้ว
int PWMmonitor3;            // สำหรับแสดงผลค่า PWM3 หลังจาก map กับค่า valB แล้ว
int PWMmonitor4;            // สำหรับแสดงผลค่า PWM4 หลังจาก map กับค่า valD แล้ว
void setup(){
  pinMode(buttonPinRE, INPUT);
  pinMode(buttonPin3,INPUT);
  pinMode(buttonPin5,INPUT);
  pinMode(ledpin3,OUTPUT);
  pinMode(ledpin5,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(TRIGPIN1, OUTPUT);
  pinMode(ECHOPIN1, INPUT);
  pinMode(TRIGPIN2, OUTPUT);
  pinMode(ECHOPIN2, INPUT);
```

```
pinMode(TRIGPIN3, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN3, INPUT);
pinMode(TRIGPIN4, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN4, INPUT);
pinMode(TRIGPIN5, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN5, INPUT);
pinMode(TRIGPIN6, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN6, INPUT);
pinMode(TRIGPIN7, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN7, INPUT);
pinMode(TRIGPIN8, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN8, INPUT);
pinMode(TRIGPIN9, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN9, INPUT);
pinMode(TRIGPIN10, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN10, INPUT);
pinMode(TRIGPIN11, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN11, INPUT);
pinMode(TRIGPIN12, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN12, INPUT);
pinMode(TRIGPIN13, OUTPUT);
pinMode(ECHOPIN13, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);          //ANALOG
pinMode(A2, INPUT);          //ANALOG
pinMode(A3, INPUT);          //ANALOG
```

```
 pinMode(A4, INPUT);            //ANALOG
 pinMode(10, OUTPUT);            //PWM
 pinMode(11, OUTPUT);            //PWM
 pinMode(12, OUTPUT);            //PWM
 pinMode(13, OUTPUT);            //PWM
}
void loop(){
 //*******************ส่วนของปุ่มที่รีโมท************************
 int buttonState3 = digitalRead(buttonPin3);    // PRESS buttonPin3
   if (buttonState3 == LOW)
   { digitalWrite(ledpin3,HIGH);
     digitalWrite(ledpin5,LOW);
     safedistance = 3; }
   int buttonState5 = digitalRead(buttonPin5);    //PRESS buttonPin5
   if (buttonState5 == LOW)
   {digitalWrite(ledpin5,HIGH);
    digitalWrite(ledpin3,LOW);
    safedistance = 5; }
   Serial.print("SAFE DISTANCE IS  ");
   Serial.println(safedistance);          // Show safedistance value
 int buttonState = digitalRead(buttonPinRE);      //WHEN PRESS buttonPinRE
// *************************** ส่วนของอัลตร้าโซนิค ทั้ง 13 ตัว **************************
 digitalWrite(TRIGPIN1, LOW);              //  ULS1  Set the trigger pin to low for 2uS
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN1, HIGH);             // Send a 10uS high to trigger ranging
```

```
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIGPIN1, LOW);                    // Send pin low again
int distance1 = pulseIn(ECHOPIN1, HIGH);        // Read in times pulse
distance1= distance1/58;                        // Calculate distance from time of pulse
Serial.print(distance1);
Serial.print("   ");
if (buttonState == LOW)
limitsave1 = distance1;
 Serial.print("Limitsave1 is");
 Serial.println(limitsave1);
digitalWrite(TRIGPIN2, LOW);              // ULS 2
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIGPIN2,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIGPIN2, LOW);
int distance2 =pulseIn(ECHOPIN2, HIGH);
distance2 = distance2/58;
   Serial.print(distance2);
   Serial.print("   ");
if (buttonState == LOW)
limitsave2 = distance2;
 Serial.print("Limitsave2 is");
 Serial.println(limitsave2);
digitalWrite(TRIGPIN3,LOW);              // ULS 3 (สำหรับค้นหาสิ่งกีดขวาง)
delayMicroseconds(2);
```

```
digitalWrite(TRIGPIN3,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIGPIN3,LOW);
int distance3 = pulseIn(ECHOPIN3,HIGH);
distance3 = distance3/58;
 Serial.print(distance3);
 Serial.print(" >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ");
 if(distance3<=30 & distance3>=15)
  { Serial.println("Slow"); }
  if(distance3<15)
  {  Serial.println("STOP"); }
   if (distance3>30)
  { Serial.println("OK"); }
digitalWrite(TRIGPIN4, LOW);            // ULS 4
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN4,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN4, LOW);
 int distance4 =pulseIn(ECHOPIN4, HIGH);
distance4 = distance4/58;
   Serial.print(distance4);
 Serial.print(" >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ");
 if(distance4<=30 & distance4>=15)
  {  Serial.println("Slow"); }
  if(distance4<15)
```

```
  {Serial.println("STOP"); }
   if (distance4>30)
  {  Serial.println("OK");   }
 digitalWrite(TRIGPIN5, LOW);              // ULS 5
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN5,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN5, LOW);
 int distance5 =pulseIn(ECHOPIN5, HIGH);
distance5 = distance5/58;
   Serial.print(distance5);
   Serial.print("   ");
 if (buttonState == LOW)
 limitsave5 = distance5;
  Serial.print("Limitsave5 is");
  Serial.println(limitsave5);
 digitalWrite(TRIGPIN6, LOW);              // ULS 6
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN6,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN2, LOW);
 int distance6 =pulseIn(ECHOPIN6, HIGH);
distance6 = distance6/58;
   Serial.print(distance6);
   Serial.print("   ");
```

```
 if (buttonState == LOW)
 limitsave6 = distance6;
  Serial.print("Limitsave6 is");
  Serial.println(limitsave6);
 digitalWrite(TRIGPIN7, LOW);           // ULS 7
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN7,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN7, LOW);
 int distance7 =pulseIn(ECHOPIN7, HIGH);
distance7 = distance7/58;
   Serial.print(distance7);
   Serial.print("   ");
 if (buttonState == LOW)
 limitsave7 = distance7;
  Serial.print("Limitsave7 is");
  Serial.println(limitsave7);
 digitalWrite(TRIGPIN8, LOW);           // ULS 8
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN8,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN8, LOW);
 int distance8 =pulseIn(ECHOPIN8, HIGH);
distance8 = distance8/58;
   Serial.print(distance8);
```

```
    Serial.print("    ");
  if (buttonState == LOW)
  limitsave8 = distance8;
   Serial.print("Limitsave8 is");
   Serial.println(limitsave8);
  digitalWrite(TRIGPIN9, LOW);              // ULS 9
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIGPIN9,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIGPIN9, LOW);
  int distance9 =pulseIn(ECHOPIN9, HIGH);
 distance9 = distance9/58;
    Serial.print(distance9);
    Serial.print("    ");
  if (buttonState == LOW)
  limitsave9 = distance9;
   Serial.print("Limitsave9 is");
   Serial.println(limitsave9);
  digitalWrite(TRIGPIN10, LOW);              // ULS 10
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(TRIGPIN10,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIGPIN10, LOW);
  int distance10 =pulseIn(ECHOPIN10, HIGH);
 distance10 = distance10/58;
```

```
   Serial.print(distance10);
   Serial.print("   ");
 if (buttonState == LOW)
 limitsave10 = distance10;
  Serial.print("Limitsave10 is");
  Serial.println(limitsave10);
 digitalWrite(TRIGPIN11, LOW);            // ULS 11
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN11,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN11, LOW);
 int distance11 =pulseIn(ECHOPIN11, HIGH);
distance11 = distance11/58;
   Serial.print(distance11);
   Serial.print("   ");
 if (buttonState == LOW)
 limitsave11 = distance11;
  Serial.print("Limitsave11 is");
  Serial.println(limitsave11);
 digitalWrite(TRIGPIN12, LOW);            // ULS 12
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN12,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN12, LOW);
 int distance12 =pulseIn(ECHOPIN12, HIGH);
```

```
distance12 = distance12/58;
   Serial.print(distance12);
  Serial.print(" >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ");
  if(distance12<=30 & distance12>=15)
  {     Serial.println("Slow");     }
  if(distance12<15)
  {     Serial.println("STOP");     }
   if (distance12>30)
  {     Serial.println("OK");     }
 digitalWrite(TRIGPIN13, LOW);              // ULS 13
 delayMicroseconds(2);
 digitalWrite(TRIGPIN13,HIGH);
 delayMicroseconds(10);
 digitalWrite(TRIGPIN13, LOW);
 int distance13 =pulseIn(ECHOPIN13, HIGH);
distance13 = distance13/58;
   Serial.print(distance13);
  Serial.print(" >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> ");
  if(distance13<=30 & distance13>=15)
  {     Serial.println("Slow");     }
  if(distance13<15)
  {    Serial.println("STOP");     }
   if (distance13>30)
  {  Serial.println("OK");     }
```

```
  //Hall Joystick past****************************************************
 valA = analogRead(A1);                                         // A
 Serial.print(valA);                  //print ค่า valA ก่อน
 valA = map(valA, 0, 1023, 0, 255);  // แล้วค่อย map
 if(distance3<=30 & distance3>=15 & valA > 144 || distance4<=30 & distance4>=15 &
valA > 144 ||
    distance12<=30 & distance12>=15 & valA < 144 || distance13<=30 &
distance13>=15 & valA < 144  )
   { valA = (valA + 144)/2; }
 if(distance3 < 15 & valA > 144 || distance4 < 15 & valA > 144 ||
    distance12 < 15 & valA < 144 || distance13 < 15 & valA < 144 ||
    distance1 > limitsave1 + safedistance & valA > 144  ||
    distance2 > limitsave2 + safedistance & valA > 144  ||
    distance7 > limitsave7 + safedistance & valA < 144  ||
    distance8 > limitsave8 + safedistance & valA < 144  ||
    distance11 > limitsave11 + safedistance & valA < 144 ||
    distance9 > limitsave9 + safedistance & valA < 144 ||
    distance10 > limitsave10 + safedistance & valA < 144   )
  { valA = 144;}
 analogWrite(PWM1, valA);    // ต่อจาก map แปลว่าแสดงค่า PWM1 หลังจาก map กับvalA
 PWMmonitor1 = valA;              // กำหนดให้ค่า PWMmonotor1 = valA (เอาไว้แสดงผล...
                         ที่จริง เวลาแสดงผล จะบอก println(valA); อีกครั้งหลังmap ก็ได้
                              โดยไม่ใช้ตัวแปล PWMmonitor แล้วเอาบรรทัดนี้ออก)
 Serial.print(" : ");
       Serial.println(PWMmonitor1);       // แสดงค่า PWMmonitor1 ทางหน้าจอ .... println
                                                   แปลว่าแสดงแล้วขึ้นบรรทัดใหม่
```

```
valC = analogRead(A2);                                  // C
  Serial.print(valC);
valC = map(valC, 0, 1023, 0, 255);
  if(distance3<=30 & distance3>=15 & valC > 122 || distance4<=30 & distance4>=15
& valC > 122 ||
   distance12<=30 & distance12>=15 & valC < 122 || distance13<=30 &
distance13>=15 & valC < 122  )
  { valC = (valC + 122)/2; }
if(distance3 < 15 & valC > 122 || distance4 < 15 & valC > 122 ||
   distance12 < 15 & valC < 122 || distance13 < 15 & valC < 122 ||
   distance1 > limitsave1 + safedistance & valC > 122  ||
   distance2 > limitsave2 + safedistance & valC > 122  ||
   distance7 > limitsave7 + safedistance & valC < 122  ||
   distance8 > limitsave8 + safedistance & valC < 122  ||
   distance11 > limitsave11 + safedistance & valC < 122 ||
   distance9 > limitsave9 + safedistance & valC < 122 ||
   distance10 > limitsave10 + safedistance & valC < 122   )
{ valC = 122;}
analogWrite(PWM2,valC);
PWMmonitor2 = valC;
Serial.print(" : ");
Serial.println(PWMmonitor2);
```

```
valB = analogRead(A3);                                    // B
Serial.print(valB);
valB = map(valB, 0, 1023, 0, 255);
  if(distance5 > limitsave5 + safedistance & valB > 124 ||
     distance7 > limitsave7 + safedistance & valB > 124 ||  // ห้ามเลี้ยวซ้าย
     distance8 > limitsave8 + safedistance & valB < 124 ||  // ห้ามเลี้ยวขวา
     distance9 > limitsave9 + safedistance & valB > 124 ||
     distance9 > limitsave9 + safedistance & valB < 124 ||
     distance6 > limitsave6 + safedistance & valB < 124 ||
     distance10 > limitsave10 + safedistance & valB < 124 ||
     distance10 > limitsave10 + safedistance & valB > 124 )
{ valB = 124;}
analogWrite(PWM3,valB);
PWMmonitor3 = valB;
Serial.print(" : ");
Serial.println(PWMmonitor3);
valD = analogRead(A4);                                    // D
Serial.print(valD);
valD = map(valD, 0, 1023, 0, 255);
   if(distance5 > limitsave5 + safedistance & valD > 133  ||
      distance7 > limitsave7 + safedistance & valD > 133 ||  // ห้ามเลี้ยวซ้าย
      distance8 > limitsave8 + safedistance & valD < 133 ||  // ห้ามเลี้ยวขวา
      distance9 > limitsave9 + safedistance & valD > 133  ||
      distance9 > limitsave9 + safedistance & valD < 133  ||
```

```
      distance6 > limitsave6 + safedistance & valD < 133 ||
      distance10 > limitsave10 + safedistance & valD < 133 ||
      distance10 > limitsave10 + safedistance & valD > 133  )
  { valD = 133;}
  analogWrite(PWM4,valD);
  PWMmonitor4 = valD;
  Serial.print(" : ");
  Serial.println(PWMmonitor4);
Serial.println("**************************END*****************************");
delay(400);
}
```

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

ค-1 บทความทาวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] Theerawat Chongcharoen, Noppadol Maneerat, Don Isarakorn, Songmoung Nundrakwang, and Kasamsuk Sepsirisuk "Safety system in Five Wheels Electric Wheelchair with Ultrasonic"The 2nd International Conference on Green and Human Information Technology - ICGHIT2014, 12-14 February 2014, Mövenpick Hotel Saigon & PTIT, Ho Chi Minh City, Vietnam.

IEEE

IEEE Vietnam Section

Program Guide

2014 International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT 2014)

Ho Chi Minh City, Vietnam
February 12th- 14th, 2014

International Conference on Green and Human Information Technology (ICGHIT) 2014

Safety system in Five Wheels Electric Wheelchair with Ultrasonic

Theerawat Chongcharoen[1], Noppadol Maneerat[2], Don Isarakorn[3], Songmoung Nundrakwang[4] and Kasamsuk Sepsirisuk[5]
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand 10520
tri_ferng1@hotmail.com
kmnoppad@kmitl.ac.th
kidon@kmitl.ac.th
s_nundrakwang@yahoo.com
kskasems@kmitl.ac.th

***Abstract*— This paper presents the ultrasonic system in five wheels Electric stand-up Wheelchair with ultrasonic sensor. Electric wheel chair with electric motors is expected for elderly people, patients and disable, general, most of Electric wheelchair often determines obstruction or human to avoid the accident from crashing. The safety system avoids accident from falling was scarcely to founded, However, the safety performance must be further improved because accident from falling is often severe and dangerous for user that have narrow sight. This paper proposes a new safety system in five wheel electric wheelchair that controls the operation of joystick to avoid the severe accident from falling. The proposed safety system detects the risk from hole or stair by Arduino microcontroller based on the information of distance from eleven ultrasonic sensors around electric wheelchair. Programs to determine the distance and control the operation of joystick are designed surely to operation. Some experiments show the effectiveness of the proposed safety system.**

Keywords-component; ***ultrasonic sensor, electric stand-up wheelchair, safety system in five wheels stand-up electric wheel chair***

I. INTRODUCTION

Because the disabled or patients cannot walk or help themselves. They must rely on wheelchair such as simple wheelchair or electric wheelchair for ease of living. Today, the technology for electric wheelchair is growing and developing quickly[1]. But sometimes, patients have to live alone without curator. Accidents may be occur. Therefore, the security system is used to protect patients from dangerous events such as, fall from staircase, down from difference level floor. So the security system in the wheelchair is necessary. The security system in electric wheelchair has been existed many systems. Navigation system and security system from ultrasonic sensor are the most popular because the ultrasonic system is cheap and high efficacies in measurement and popular in other systems[2]-[5] such as navigation systems were giving correct directions in the hospital that was operated by ultrasonic on the ceiling [14]. There were many systems to stop or slowdown speed of electric wheelchair when system was detecting objects or people [6]-[12]. Many systems, ultrasonic sensors were often mounted on the front of electric wheelchair and using fuzzy algorithm to slow or stop electric wheelchair [8]-[9]. The ultrasonic system that was used to detect hole or stair was rare system and the detection of those systems was quite loose especially, in the electric stand-up wheelchair.

II. PLACEMENT CONCEPT AND DESIGN

The placement of ultrasonic sensor in this work is illustrated in Fig. 1. Security system consists of four major parts: the first is Arduino controller. Second is eleven of ultrasonic sensors. Third, four relays limit the functionality of joystick. Fourth is remote controller. Concept of the placement in this work is illustrated in Fig. 1. The eleven of ultrasonic were mounted around electric wheelchair. When one or more sensor can measure distances greater than the value that ware specified. Arduino microcontroller will semaphore to relay module to limit the function of joystick such as if ultrasonic sensor 1, 2, 4, 5 measure distances farther than reference value 5 centimeters.

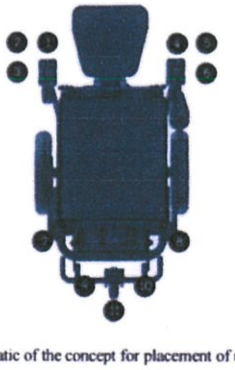


Figure 1. Schematic of the concept for placement of ultrasonic sensor.

Microcontroller will semaphore to relay module to limit the functionality of joystick. So joystick could not control electric wheelchair to move to dangerous ways. The schedule in this work is illustrated in Table 1.

Table I. the schedule present position of the eleven ultrasonic sensors relative to the direction of joystick that was limit.

Number of Ultrasonic											Direction that was limit			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	F	B	L	R

III. Ultrasonic Sensor Circuit

Arduino is the Microcontroller that used to control the safety system. It can control the ultrasonic sensor SRF04 when connect with the sensor to work. Fig. 3 illustrates picture of connecting between Arduino and a SRF04 module

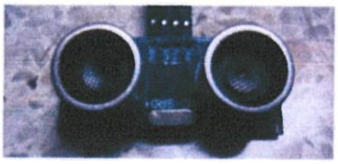


Figure 2. Ultrasonic sensor SRF04 module.

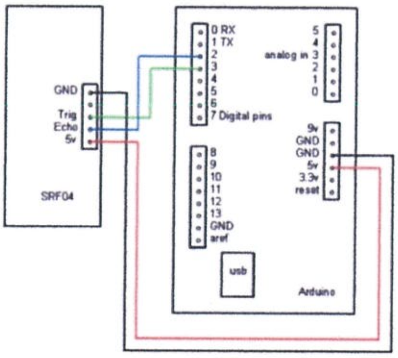


Figure 3. Microcontroller Arduino was connecting with SRF04 ultrasonic sensor module.

In actual use, Arduino will be connected to eleven Modules of SRF04 ultrasonic sensors, a reset button, two security level buttons and four Relay modules to limit function of joystick etc. Fig. 4 illustrates an integrated circuit of the system.

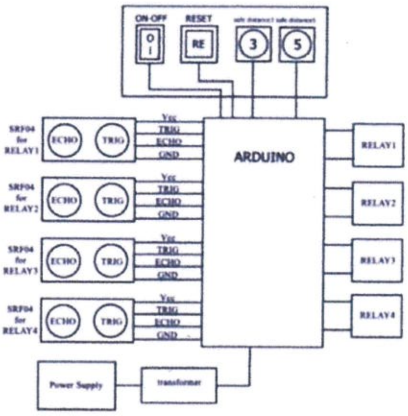


Figure 4. illustrates the Integrated circuit and connection of Arduino to other part in the system.

When the system is started operating, all of ultrasonics in system will measure distances immediately. But the first reference distance value of each sensor are zero. So all of relay modules will be turn on and joystick is limited all of functionality. The user has to press the reset button first. When user presses the reset button, Microcontroller will be record distance volume from each sensor all of eleven positions. So, new eleven distance values are recorded. These distance values will be the reference value for eleven ultrasonic sensors. Now, all of relay modules will be turn off. When a sensor detects the level that exceeds higher than reference value about 5 cm. Microcontroller will semaphore to relay module to limit the function of joystick in direction that sensor is installed.

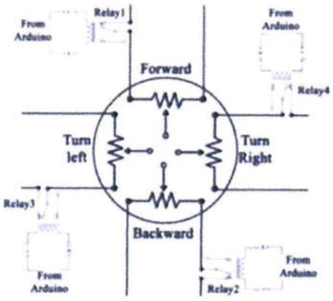


Figure 5. The circuit of joystick and position of relay module to limit the functionality in each direction.

IV. Experimental Details

The research is divided to three parts. First is the testing of the measuring distance to calculate the error in measurement of ultrasonic sensor SRF04. Second, is the experiment interference of ultrasonic wave from three ultrasonic sensors that are adjacent and finding method to solve problem. Third, is the experiment of all system in simulated car to test the operation of relay modules and coordination of all modules before installing the system in the real electric wheelchair.

In this research we use the ultrasonic sensor SRF04 module to test. The ultrasonic sensor SRF04 is mounted on an acrylic sheet that opposites with another acrylic sheet and both of acrylic sheets are beside the scale. Then SRF04 module that was connected with controller is measured distance and show value of distance on the monitor. These values will be compared with real distance to find the errors. The objective of this experiment is checking the accuracy and precision of SRF04 module. The experiment photo is illustrated in Fig. 6

Figure 6. The testing to check stability of SRF04 module.

When experiment stability of SRF04 module was finished. Next experiment is checking the distance value from three SRF04 modules that close together. It will make errors such as the measurement of each SRF04 module were error and unstable. Because SRF04 modules are too close. So, when the system starts operating, the ultrasonic wave from a SRF04 module will be interference to other module. That is the main cause to make errors in the measurement. The acoustic sponge foam is the choice to solve this problem. The interference from three ultrasonic sensors will be absorbed by it. It was mounted on the base of three SRF04 modules that close together. Position of mounting acoustic sponge foam is illustrated in Fig. 7

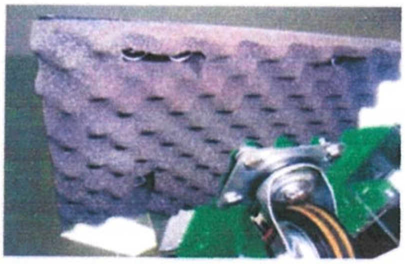


Figure 7. The acoustic sponge foam is mounted at the base of three ultrasonic sensors.

The proposed system is included eleven of SRF04 modules around electric wheelchair. They are connected with Arduino microcontroller. It is connected with four relay modules. In actual operation, all of four relay modules are connected with joystick circuit to limit the function of joystick. But in experiment, all of system installed to simulate car that was simulated position of SRF04 module alike in electric wheelchair and each relay module was connected with LED to show the operation of each relay. After safety system starts operating and press the reset button, the simulate car was ready for testing. Each SRF04 module was tested with various distance. When one of sensor detects the distance value that exceeds higher than reference value about 5 centimaters. Microcontroller will semaphore to relay module. It will make relay in direction of sensor operated and LED of that relay will be lighted. Simulation car with safety system in this work is illustrated in Fig. 8.

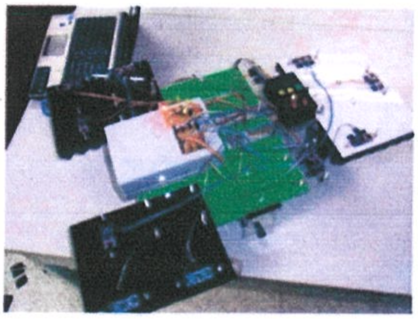


Figure 8 the simulation car with safety system was testing.

V. Results and Discussion

The error value of measurement from the experiment an ultrasonic sensor SRF04 is illustrated in Fig. 9. The diagram presents the error from measurement of SRF04 module increased in higher distance. It can be seen that the accuracy of SRF04 module are not high in short distance but higher in longer distance. The precision of ultrasonic sensor SRF04 is high. This is very necessary for this safety system.

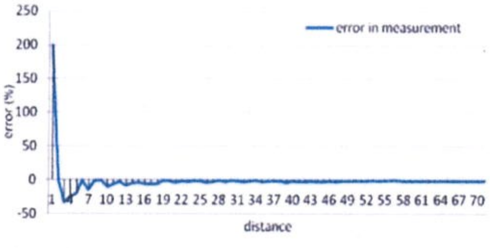


Figure 9 diagram testing to find error in measurement of SRF04 module

When microcontroller was connected with three SRF04 modules that close together and was operating with no acoustic sponge foam to protect. The measurement of each

SRF04 module would be error and unstable because of interference of each ultrasonic wave. Fig. 10 shows graph of between with nothing to protected interference method and protected with acoustic sponge foam method.

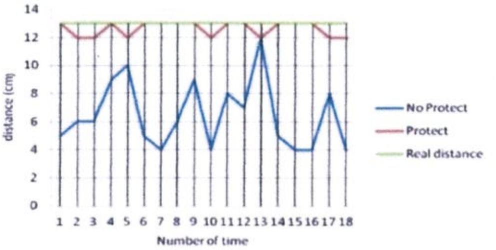


Figure 10. Graph of measurement from ultrasonic number 2 between nothing to protect method and protected with acoustic sponge foam method.

When all of ultrasonic system were installed in simulation car. It can be seen that when one or more SRF04 module above hole or various deeper from reference level, relay module and LED which in direction of SRF04 module position will be operate. Operating diagram illustrated in Table. 2

Table II. the schedule present relativity of position of each eleven SRF04 modules with operating of each Relay modules.

Number of Ultrasonic	**Number of LED**			
	LED1 (Relay1)	***LED2 (Relay2)***	***LED3 (Relay3)***	***LED4 (Relay4)***
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	OFF	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	ON	OFF	OFF	OFF
5	ON	OFF	OFF	OFF
6	OFF	OFF	OFF	ON
7	OFF	ON	OFF	OFF
8	OFF	ON	OFF	OFF
9	OFF	OFF	OFF	ON
10	OFF	OFF	ON	OFF
11	OFF	ON	OFF	OFF

VI. CONCLUSIONS

The concept of safety system using SRF04 ultrasonic system was presented in this paper. The prototype of safety ultrasonic system in five wheel electric wheelchair was realized using the SRF04 ultrasonic modules with new concept for placement of ultrasonic sensor as a sensor detect difference level around the electric wheelchair. The proposed system was evaluated by testing with simulation car in various situations. The results reveal the potential of the presented detect concept for safety system in five electric wheelchair with cheap ultrasonic sensor modules.

REFERENCES

[1] E.D.Coyle, "Electronic wheelchair controller designed for operation by hand operated joystick,ultrasonic non-contact head control and utterance from a small word-command vocabulary," IEE,Savoy Place,London WC2R OBL.UK, pp. 3/1-3/4, 1995.

[2] K. Ohtani , M. Baba, A Simple Identification Method for Object Shapes and Materials Using an Ultrasonic Sensor Array, Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp.2138–2143,Sorrento, Italy 24-27 April 2006.

[3] Mychajlo Lobur,Yuriy Darnobyt, "Car speed measurement based on ultrasonic droppler,s ground speed sensors," CADSM' 2011, , Polyana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE pp.392-393, 23-25 February, 2011

[4] Yoshiki Yamakoshi, Nuyaki Masuda, Nader Chelly, "Micro bubble aggregation by interference of incident and the secondary ultrasonic waves and its application to bubble characterization," IEEE Ultrasonics symposium, pp. 1511-1514, 2003.

[5] Hongwei Shan, "Study of Micro Power Ultrasonic Wave Flow Meter," Fourth International Conference on Digital Manufaceturing & Automation, pp. 1245-1248, 2013.

[6] LIU Tian, LI Yuanqing, WANG Hongtao, "An Assitive System Based on Ultrasonic Sensors for Brain-controlled Wheelchair to Avoid Obstacles," 31 st Chinese Control Conference, pp. 3741-3744, Hefei, China, July 25-27,2012

[7] DA Sanders, IJ Stott, MJ Goodwin, GE Tewkesbury, H Cawte, Ga Poland, "Computer systems and strategies to assist a disabled person in navigating a powered wheelchair through a doorway," IEE, Savoy Place, London WC2R OBL, UK, 1997.

[8] Hiroki Murakami and Hirokazu Seki, "Fuzzy Algolithm Based Obstacle Avoidance Control of Electric Powered Wheelchair using ultrasonic Sensor," IEEE, pp. 4251-4256, 2009.

[9] Gang Liu, Meng Yao, Lei Zhang, Chao Zhang, " Fuzzy Controller for Obstacle Avoidance In Electric Wheelchair With Ultrasonic Sensors, IEEE, International Symposium on Computer Science and Society, pp. 71-74, 2011.

[10] Mohamed Fezari, Abd-Erahman Khati, "New speech processor and Ultrasonic Sensors Based Embedded system to Improve the Control of a Motorised Wheelchair," Desigh and Test Workshop, 3rd International, pp. 345-349, 2008.

[11] Tilak Dutta, Member, Geoff R. Fernie, "Utilization of Ultrasound Sensors for Anti-Collision Systems of Powered Wheelchairs," IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, pp. 24-32, March, 2005.

[12] Malek NJAH, Mohamed JALLOULI, "Wheelchair obstacle avoidance based on fuzzy controller and ultrasonic sensors," IEEE,Computer Applications Technology(ICCAT), pp. 1-5, 2013.

[13] H. Seki, S. Kobayashi, Y. Kamiya, M. Hikizu, H. Nomura, "Autonomous / Semi-autonomous Navigation System of a Wheelchair by Active Ultrasonic Becons," IEEE, International Conference on Robotics & Automation San Francisco, CA, pp. 1366-1371, April 2000.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธีรวัต จงเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	11 สิงหาคม 2530 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม
ที่อยู่	30/9 หมู่ 6 ตำบลท้ายหาด อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม 75000 โทร.0805539172
ประวัติการศึกษา	2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง