

การศึกษาการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สำหรับลดการรบกวนสัญญาณข้ามกันของข้อมูลระยะจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ใช้ในระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์อัตโนมัติภาคพื้นดิน

A study of using a moving average filter for reducing cross-talk in ranging data from ultrasonic sensors used in obstacle avoidance of autonomous ground vehicles

คุณากร อนุวัตพานิช¹, มนุศักดิ์ จานทอง², และ สุรศักดิ์ ทิมพิทักษ์^{3*}
Khunakon Anuwatpanich¹, Manusak Janthong², and Surasak Timpitak^{3*}

¹ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

^{2,3*} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹ Department of Technical Education, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

^{2,3} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

*Corresponding Author : Tel. 02 549 3430, E-mail: surasak.t@en.rmutt.ac.th

Received: 11-06-2024 Revised: 24-07-2025 Accepted: 30-07-2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการลดปัญหาการรบกวนสัญญาณข้ามกัน (Cross-Talk) จากการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกชนิดเดียวกัน จำนวน 2 ตัว ด้วยการออกแบบโปรแกรมควบคุมสลับการทำงานด้านละ 50 ms ร่วมกับการใช้กระบวนการกรองสัญญาณแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ใช้สมาชิกตัวกรอง 5 และ 10 ค่า ที่ใช้สำหรับตรวจวัดวัตถุกีดขวางด้านหน้าของหุ่นยนต์ AGV ลำดับการขึ้นวิจัยแบ่งออกเป็น 1) การทดลองเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสองอยู่กันที่ทำงานวัดระยะไปยังผนังพร้อมกันโดยไม่ใช้โปรแกรมสลับการทำงาน พบว่าข้อมูลระยะการตรวจวัดมีความผิดพลาดจากปัญหาการรบกวนสัญญาณข้ามกัน ทุกๆ 18-19 วินาที การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะสามารถช่วยลดความผันผวนของข้อมูลระยะลงได้แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำข้อมูลระยะไปใช้งาน 2) การทดลองกรณีที่เซนเซอร์อัลตราโซนิกตรวจพบวัตถุทันทีที่หันใดโดยเซนเซอร์จะเคลื่อนไปพร้อมกับชุดรางเลื่อนเคลื่อนที่ตัดผ่านวัตถุภายใต้ระยะ 40, 70 และ 100 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าข้อมูลระยะจริงจะมีความผันผวนเฉลี่ยสูงสุดที่ระยะวัตถุ 100 เซนติเมตร ที่ 48.06 เซนติเมตร การกำหนดสมาชิกตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ 5 และ 10 ค่า จะสามารถช่วยลดความผันผวนลงได้ 80.25% และ 88.24% ตามลำดับ และ 3) การทดลองหุ่นยนต์ AGV เคลื่อนที่และหยุดแบบอัตโนมัติเมื่อเซนเซอร์อัลตราโซนิกพบสิ่งกีดขวางที่กำหนดระยะ 40, 70 และ 100 เซนติเมตร พบว่าการกำหนดสมาชิกตัวกรอง 5 และ 10 ค่า จะใช้ระยะหยุดเฉลี่ย 22.7 และ 37.1 เซนติเมตร ตามลำดับ และในกรณีที่หยุดระยะ 40 เซนติเมตร ที่ใช้สมาชิกตัวกรอง 10 ค่า หุ่นยนต์จะประมวลผลหยุดไม่ทันและชนเข้ากับวัตถุ

คำสำคัญ : หุ่นยนต์อัตโนมัติภาคพื้นดิน, เซนเซอร์อัลตราโซนิก, ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ABSTRACT

This research article investigates a method to mitigate cross-talk interference between two identical ultrasonic sensors used for obstacle detection in front of an Automated Guided Vehicle (AGV). The proposed approach involves alternating the operation of each sensor at 50 ms intervals, combined with the application of a moving average filter using 5 and 10 data points. The study is divided into 1) The experiment with both ultrasonic sensors simultaneously measuring distance to a wall without using the alternating control program showed that the sensors exhibited measurement errors due to interference occurring every 18–19 seconds. The moving average filter helped smoothly the distance data in the time domain but was not sufficiently effective. 2) Both ultrasonic sensors are set to detect objects immediately. The sensors are mounted on a cart and move along a rail that moves across the front of a target object located at distances ranging from 40, 70 and 100 centimeters. The result that shown in raw data of distance measurements occurred greatest mean deviation of 100 centimeters at 48.06 centimeters. Applying a moving average filter with 5 and 10 can reduced fluctuations by 80.25% and 88.24%, respectively. 3) The AGV robot automatically stops when the ultrasonic sensors detect object at distances of 40, 70, and 100 centimeters. The resulting is shown moving average filter coefficients of 5 and 10 are stop away from 22.7 and 37.1 centimeters, respectively. In case of 40 centimeters and defined filter coefficients 10, the robot cannot process the stop command and collides with an object.

Keyword: Autonomous Ground Vehicle (AGVs) , Ultrasonics sensor , Moving average filtering.

1. บทนำ

ยานพาหนะนำทางอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles , AGVs) เป็นยานพาหนะที่ถูกออกแบบมาเพื่อเคลื่อนที่และขนส่งสิ่งของอัตโนมัติภายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุม เช่น คลังสินค้า สายการผลิตในโรงงาน หรือศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งในปัจจุบันนี้ AGV นั้นได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานขนย้ายวัตถุที่ซับซ้อนและใช้แรงงานมาก [1],[2],[3] ในการปฏิบัติการกิจของยานพาหนะเคลื่อนที่อัตโนมัติจะสำเร็จลุล่วงจนกระทั่งเข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้จะต้องทำการวางแผนเส้นทางให้ AGVs ประมวลผลด้วยอัลกอริธึมนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ณ ขณะเวลาจริง [4] โดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ที่มีความสามารถตรวจหาวัตถุกีดขวางแบบไม่สัมผัสที่ถูกติดตั้งไว้บน AGVs ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เซนเซอร์แสง LiDAR หรือเซนเซอร์คลื่นเสียงอัลตราโซนิก (Ultrasonic) [5] เป็นต้น โดยจากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองพบว่าเซนเซอร์อัลตราโซนิกมีความแม่นยำที่ดียิ่งกว่า LiDAR อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนและความชื้นสัมพัทธ์รวมทั้งปัจจัยอื่นๆจากสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่ก็มีข้อดีในแง่ของขนาดที่เล็กกระทัดรัดและมีราคาที่ถูกกว่า LiDAR นอกจากนี้สามารถตรวจวัดวัตถุโปร่งแสงได้ [6] จึงสามารถติดตั้งเข้ากับ AGV ได้หลากหลายวิธีและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ใน AGVs ในรูปแบบต่างๆ เช่น รถโฟล์คลิฟต์หรือหุ่นยนต์ลำเลียงได้ [7] , [8] เป็นต้น

การตรวจวัดระยะด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกชนิดเดียวกันที่ทำงานพร้อมกันหลายตัวในพื้นที่เดียวกันอาจก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนสัญญาณข้ามกัน (Cross-Talk) ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลการวัดระยะผิดพลาด [9] เป็นผลให้ AGVs ตัดสินใจหยุดหรือออกนอกเส้นทางที่วางแผนไว้ รวมถึงสัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น [10] , [11] ได้นำเสนอแนวแก้ไขด้วยการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลของข้อมูลที่ได้รับก่อนนำไปใช้งานและ [12] ได้เสนอการศึกษาการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลระยะที่ตรวจวัดจากเซนเซอร์อัลตราโซนิก จากผลการศึกษาพบว่า ตัวกรองค่าเฉลี่ยจะสามารถช่วยให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องราบเรียบในโดเมนเวลามากยิ่งขึ้น สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงให้ลดได้

ดังนั้น ในบทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัญหาการทำงานทับซ้อนจากการตรวจวัดโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกสองตัวที่ทำงานพร้อมกันในทิศทางเดียวกันด้วยการออกแบบโปรแกรมจัดลำดับการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิกแต่ละตัวและร่วมกับตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ ศึกษาผลกระทบต่อข้อมูลการตรวจวัดความไวของข้อมูลระยะทาง ณ

เวลาจริงเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนสมาชิกตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์ต่อการออกแบบระบบตรวจวัด

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบเครื่องมือวิจัย

2.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1.1 เซนเซอร์อัลตราโซนิก เป็นเครื่องมือตรวจวัดระยะทางแบบไม่สัมผัสที่มีข้อดีกว่าเทคนิคการวัดระยะทางประเภทอื่น ๆ ที่สามารถตรวจวัดกายภาพวัตถุได้หลากหลายรวมถึงวัตถุโปร่งแสง รวมทั้งไม่ได้รับผลกระทบจากสี มีความความทนทานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ใช้พลังงานต่ำและราคาถูกกว่าเซนเซอร์วัดระยะทางแบบอื่นๆ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น การวัดระยะทาง [13] หรือการระบุตำแหน่ง [14] เป็นต้น ซึ่งมีหลักการทำงานจากทรานสดิวเซอร์ส่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ส่งออกไปกระทบยังวัตถุและสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์ จากนั้นประเมินเทียบระยะเวลาตั้งแต่เริ่มส่งจนกระทั่งสะท้อนกลับมาได้เปรียบเทียบกับความเร็วเสียงที่ผ่านตัวกลางนั้นๆ โดยมีหลักคำนวณจากสมการที่ 1 [15]

$$V = 331.4 + (0.606T) + (0.0124H) \quad (1)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านในอากาศ (m/s) , 331.4 คือ ค่าคงที่ความเร็วของคลื่นเสียงที่เคลื่อนผ่านอากาศในหน่วย (m/s) ที่ 0°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0% , T คือ อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส °C , H คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก LV-MaxSonar EZ3 รุ่น MB1030 จำนวน 2 ตัว โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

2.1.1.2 โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid-State Relay) รุ่น G3MB-202P แบบชนิด 2 ช่อง [17] ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่แทนหน้าสัมผัสในการตัดต่อวงจร เนื่องจากไม่มีส่วนทางกลเคลื่อนที่ ส่งผลให้ทำงานได้เร็ว สามารถตอบสนองความไวสูงภายใน 1 ms และไม่มีเสียงในขณะเวลาตัด-ต่อของหน้าสัมผัส

2.1.1.3 หน่วยประมวลผลและอ่านค่าในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ที่ความสามารถเขียนโปรแกรม ควบคุมจังหวะการทำงานของโซลิดสเตทรีเลย์ รวมทั้งอ่านค่าสัญญาณไฟฟ้าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับเซนเซอร์อัลตราโซนิกและแปลงเป็นค่าระยะทาง

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณสมบัติของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ LV-MaxSonar EZ3 รุ่น MB1030 [16]

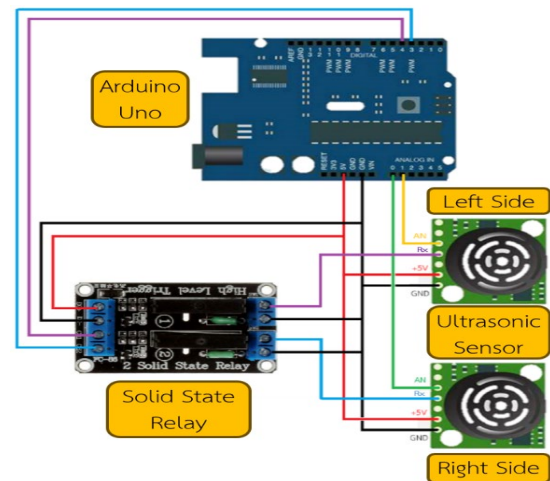
ลำดับ	รายการ	ค่า	หน่วย
1	ขอบเขตการวัด		
	- ด้านหน้า	0 - 6.45	m
	- ด้านข้าง	0.6	m
2	ระดับความละเอียด	0.025	m
3	ความถี่การทำงานต่อเนื่อง	20	Hz
4	ช่วงอุณหภูมิทำงาน	0 - 65	°C
5	การใช้พลังงาน		
	- Voltage	5	VDC
	- Current	20	mA
5	รูปแบบการสื่อสาร		
	- Analog	0 - 5	V
6	รูปแบบการควบคุม	Rx / Tx	

2.1.2 การต่อวงจรของแต่ละอุปกรณ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno เพื่อควบคุมการทำงานของโซลิตสเตทรีเลย์และอ่านค่าระยะทางจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองสามารถแสดงในภาพที่ 1

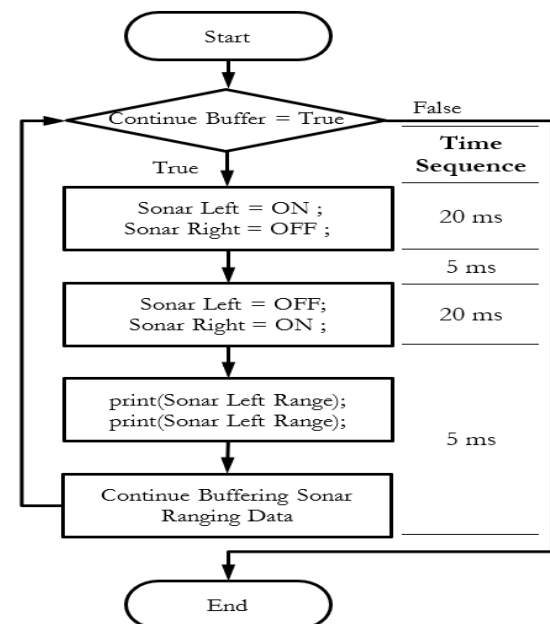
2.1.3 การออกแบบโปรแกรม

2.1.3.1 การออกแบบโปรแกรมอ่านค่าระยะทางจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno จะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ให้กับเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทำงานอ่านค่าระยะทางที่วัดไปยังวัตถุและแปลงข้อมูลระยะทางเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วง 0 – 5 โวลต์ ส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการอ่านค่าสัญญาณอนาล็อกที่เป็นระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete- time signal) ซึ่งสัญญาณที่อ่านได้นั้นจะเป็นระยะทางที่แท้จริงร่วมกับสัญญาณที่มีความผิดพลาดรวมถึงสัญญาณรบกวน (White Noise) จากสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.1.3.2 การออกแบบควบคุมสลับการทำงานสามารถแสดงในภาพที่ 2 เมื่อเริ่มทำงาน เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองจะต้องรอคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เปิดใช้โซลิตสเตทรีเลย์ช่อง 1 ทำงานเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ฝั่งซ้ายทำงานส่งคลื่นเสียงไปตรวจวัดระยะวัตถุและอ่านค่าภายในเวลาที่กำหนดไว้ภายใน 20 ms และหยุดทำงาน 5 ms จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์เปิดใช้โซลิตสเตทรีเลย์ช่องที่ 2 ทำงาน ทำให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ฝั่งขวาทำงานส่งคลื่นเสียงไปตรวจวัดระยะวัตถุและอ่านค่าภายในเวลาที่กำหนดไว้ 20 ms และหยุดทำงาน 5 ms เช่นเดียวกันพร้อมทั้งรายงานผลการตรวจวัดระยะทางจากเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองด้านรวมระยะเวลาในการตรวจวัดและรายงานผลทั้งสิ้น 50 ms ต่อรอบ



ภาพที่ 1 แผนผังการต่อวงจรควบคุมเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์สองตัวโดยใช้รีเลย์แบบโซลิตสเตท



ภาพที่ 2 ผังงานโปรแกรมจัดลำดับควบคุมการทำงานเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์สองตัวแบบสลับกัน

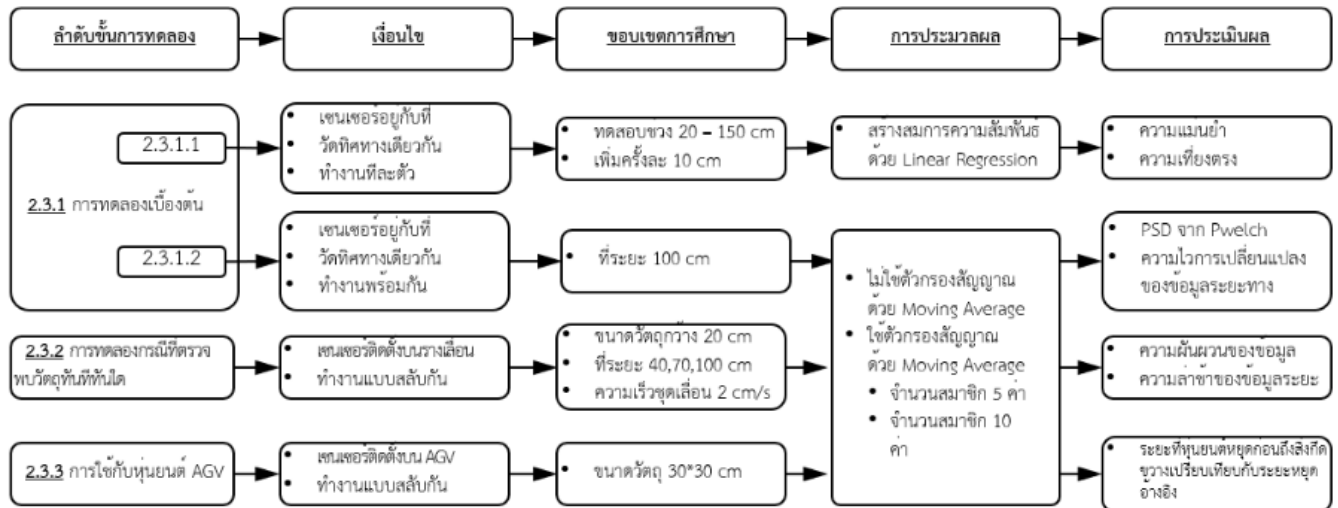
2.1.4 การออกแบบกระบวนการกรองสัญญาณรบกวนและสัญญาณผิดพลาดของข้อมูลระยะทางด้วยการใช้เทคนิคตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) [18] ซึ่งเป็นการเฉลี่ยจุดสมาชิกข้อมูลแต่ละชุดภายในกรอบเวลาแบบคงที่ที่กำหนดไว้ เมื่อได้รับข้อมูลตัวใหม่เข้ามาจะถูกนำเข้ามาแทนที่ข้อมูลเก่าสุดท้ายได้กรอบเวลาที่กำหนด ผลจากการกรองจะทำให้ได้รับเส้นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของแต่ละกรอบเวลาย่อยๆ ส่งผลให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องราบเรียบยิ่งขึ้น เทคนิคตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2

$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j] \quad (2)$$

เมื่อ $y[n]$ คือ ข้อมูลปัจจุบันหลังผ่านตัวกรอง , M คือ ค่าจำนวนสมาชิกตัวกรอง , $x[n]$ คือ ข้อมูลจริง ณ เวลาปัจจุบัน และ $x[j]$ คือ ข้อมูลตัวก่อนหน้าซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนสมาชิกข้อมูลคือ $j = M - 1$

2.1.5 การประเมินด้านสัญญาณรบกวนที่ปะปนในข้อมูลระยะทางด้วยการประมาณค่ากำลังสเปกตรัมวิธี Welch

[19] ซึ่งเป็นวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลสัญญาณที่อยู่ในอนุกรมเวลาแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความถี่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปกำลังสเปกตรัมของความถี่แต่ละค่า การประมาณค่ากำลังสเปกตรัมจะใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปของโปรแกรม MATLAB [20] ที่ตั้งค่าส่วนทับซ้อนเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวชุดข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์และรายงานผลออกมาเป็นกำลังสเปกตรัมแต่ละช่วงค่าความถี่ที่ตรวจพบ



ภาพที่ 3 แผนลำดับขั้นการศึกษาวิจัย

2.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษ

2.2.1 ข้อมูลระยะทาง ณ ขณะเวลาจริงที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ทั้งสองตัว

2.2.2 ข้อมูลระยะทางที่ผ่านกระบวนการกรองสัญญาณรบกวนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

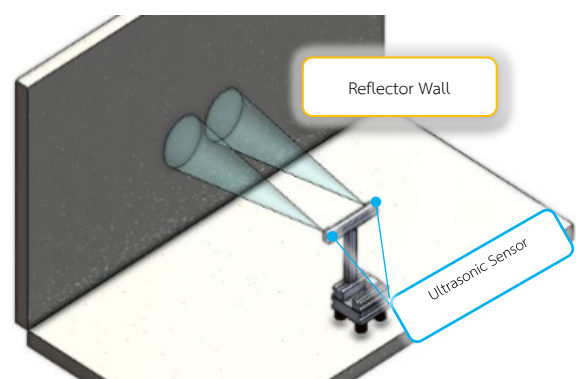
2.2.3 จำนวนสมาชิกที่ใช้ในกระบวนการกรองสัญญาณรบกวนค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

2.3 ขั้นตอนการทดลองและประเมินผล

2.3.1 ในการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยกำหนดให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสองตัววัดระยะในทิศทางเดียวกันไปยังผนังเรียบและเก็บข้อมูลในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้ารูปแบบอนาล็อกโดยติดตั้งเซนเซอร์ทั้งสองตัวสูงจากพื้น 30 cm และ ห่างกัน 30 cm ทำการตรวจวัดระยะในทิศทางเดียวกันไปยังผนังคอนกรีตเรียบขนาด 5*5 เมตร ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น ส่วนๆ ได้ดังนี้

2.3.1.1 การทดลองใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์อ่านค่าระยะแบบทีละตัว ทำการเก็บผลข้อมูลที่ทำกรวัดระยะผนังช่วงใกล้แบบละเอียดตั้งแต่ 20 - 150 cm ที่เพิ่มขึ้นทีละ 10 cm ขึ้นละ 60 วินาที จากนั้นทำการหาสมการเชิงเส้นของความสัมพันธ์ค่าสัญญาณอนาล็อกที่แปรผันกับระยะทางที่วัดได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) และประเมินผลความแม่นยำและเที่ยงตรงของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์แต่ละตัวด้วยวิธีทางสถิติ

2.3.1.2 การทดลองใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์อ่านค่าระยะวัดคู่พร้อมกันตรวจวัดไปยังผนังที่ระยะ 100 cm ดังภาพที่ 4 และใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กับชุดข้อมูลระยะทาง จากนั้นประเมินผลสเปกตรัมกำลังของชุดข้อมูลระยะทางด้วยวิธี Welch โดยประเมินความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงเปรียบเทียบกับชุดข้อมูล ณ ขณะเวลาจริงก่อนผ่านกระบวนการกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่



ภาพที่ 4 การทดลองใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทำงานพร้อมกัน

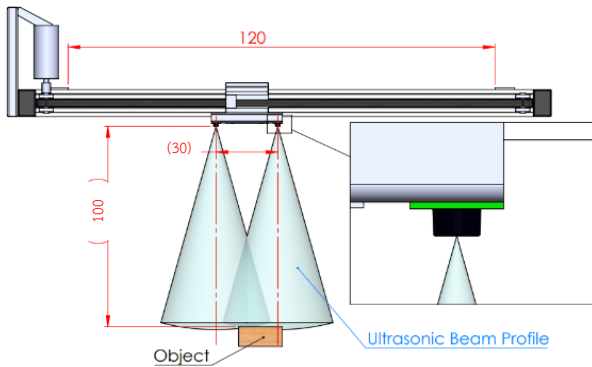
สองตัวขณะตรวจวัดระยะทางไปยังผนังคอนกรีตเรียบ

2.3.2 การทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ตรวจพบวัตถุทันทีทันใด ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองเข้ากับรางเลื่อนในแนวภาคตัดขวางและตั้งวัตถุฉากรับขนาดกว้าง 20 cm สูง 100 cm ห่างจากเซนเซอร์ที่ระยะ 40, 70 และ 100 cm และด้านหลังเป็นผนังคอนกรีตห่างจาก

เซนเซอร์ที่ 350 cm โดยที่ชุดรางเลื่อนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 cm/s จากนั้นนำชุดข้อมูลระยะทางที่ตรวจวัดได้เข้าสู่กระบวนการกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 และ 10 ค่า ประเมินผลในด้านค่าเฉลี่ยความล่าช้าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลระยะ (T_{lag}) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความต่อเนื่องของข้อมูลระยะตรวจวัด ($\bar{C}$) จากสมการที่ (3)

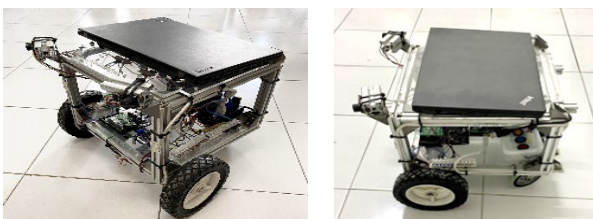
$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - x_{n-1}) \quad (3)$$

เมื่อ $\bar{C}$ คือ ค่าเฉลี่ยความต่อเนื่องของข้อมูลระยะจากการตรวจวัด, $x_{n+1} - x_n$ คือ ผลต่างของข้อมูลระยะที่ตรวจวัดได้ ณ ปัจจุบันเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้า และ N คือ จำนวนสมาชิกชุดข้อมูลระยะการตรวจวัดที่นำมาใช้วิเคราะห์ระยะทาง ณ ขณะเวลาจริง

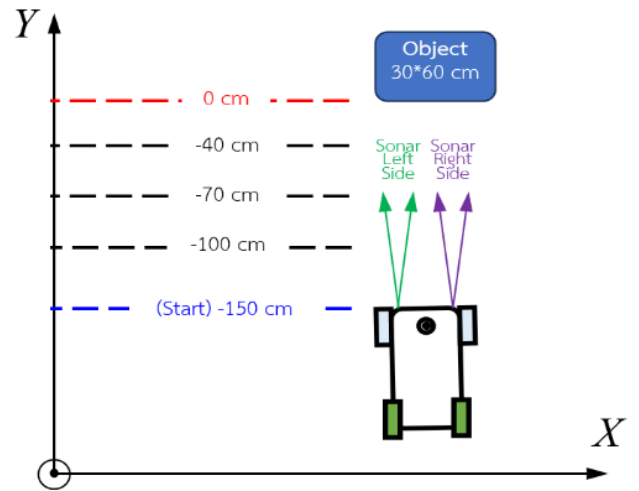


ภาพที่ 5 การทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ตรวจพบวัตถุทันทีทันใด

2.3.3 การทดลองออกแบบตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กับหุ่นยนต์อัตโนมัติภาคพื้นดินหรือ AGVs เคลื่อนที่อัตโนมัติตามจุดกำหนดที่มีรูปแบบขับเคลื่อนสองล้อแบบ Differential Drive ด้วยผลต่างความเร็วรอบล้อทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 6 โดยล้อหน้าทั้งสองด้านมีระยะห่าง 35.5 cm ขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm ใช้มอเตอร์กระแสตรงต่อชุดเกียร์ขับที่ล้อโดยตรงและติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ติดตั้งเข้ากับ AGVs ในตำแหน่งความสูง 30 cm ห่างกัน 30 cm เซนเซอร์ทั้งสองวางแนวตรวจวัดไปทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ และใช้โปรแกรมควบคุมให้เซนเซอร์ทั้งสองสลับกันทำงาน ระบบประมวลผลหลักของหุ่นยนต์มีรอบการประมวลผลเฉลี่ยที่ 5 Hz



ภาพที่ 6 การติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองตัวเข้ากับหุ่นยนต์ภาคพื้นดิน



ภาพที่ 7 แผนการทดลองกรองสัญญาณรบกวนขณะหุ่นยนต์ AGV เคลื่อนที่อัตโนมัติและหยุดขณะพบสิ่งกีดขวางภายในอาคาร

ในการทดลอง กำหนดพื้นที่ภายในอาคารที่มีขนาด 300*400 cm โดยกำหนดให้ AGVs มีตำแหน่งเริ่มต้นที่ $[X_0, Y_0] = [0, -150]$ cm ทิศทางเริ่มต้นมีทิศทางไปยังแกน +Y จากนั้นวางวัตถุขนาด 30 * 60 cm เพื่อเป็นตัวอย่างสิ่งกีดขวางการทดลองที่ตำแหน่ง $[X, Y] = [0, 0]$ cm เมื่อป้อนคำสั่งให้ AGVs เริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 1 cm/s เซนเซอร์ อัลตราโซนิกส์ก็จะตรวจวัดระยะสิ่งกีดขวางภายในขอบเขตและรายงานไปยังส่วนประมวลผลควบคุมการเคลื่อนที่ของ AGVs หากตรวจพบระยะวัตถุน้อยกว่าระยะที่กำหนด AGVs ก็จะหยุดเคลื่อนที่ตามระยะห่างจากวัตถุที่กำหนดไว้ที่ 40, 70, 100 cm ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยเปรียบเทียบผลระยะทางที่ AGVs หยุดเมื่อไม่ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ย และใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยกำหนดค่าสมาชิก 5 และ 10 ค่า

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การประเมินผลความแม่นยำและเที่ยงตรงของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์แต่ละตัว

จากการทดลองใน 2.3.1.1 ทำให้ได้รับข้อมูลสัญญาณอนาล็อกเปรียบเทียบกับระยะทางอ้างอิงที่ตรวจวัดระยะผนัง จากการวิเคราะห์การลดถอยเชิงเส้นอันดับ 1 เพื่อหาสมการเชิงเส้นสำหรับแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นระยะทางที่วัดได้จริง ดังนี้

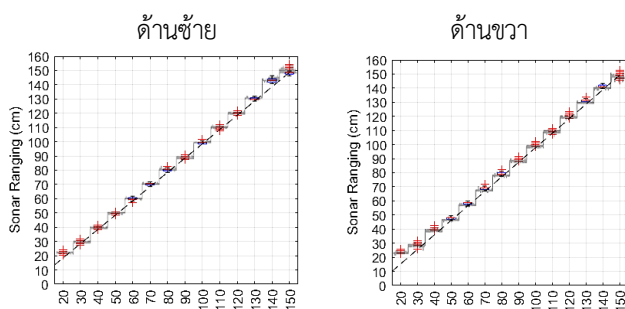
$$\text{ด้านซ้าย} : x_L = 11.129a_L + 83.503 \quad (4)$$

$$\text{ด้านขวา} : x_R = 11.734a_R + 47.997 \quad (5)$$

เมื่อ a_L, a_R คือ ค่าสัญญาณอนาล็อกในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงที่เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ด้านซ้ายและขวาตรวจวัดระยะวัตถุและรายงานผลที่ 11.8 Hz เป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง $(0 < x < 5)$ และ x_L, x_R คือ ระยะที่ตรวจวัดไปยังผนังจากเซนเซอร์ฝั่งซ้ายและขวาตามลำดับ โดยจากการวิเคราะห์เซนเซอร์

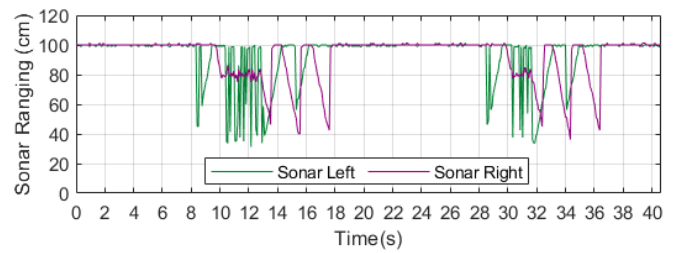
ด้านซ้ายมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของขอบเขตบนและล่างเมื่อเทียบกับระยะอ้างอิงเท่ากับ 2.48% และ 1.81% ตามลำดับ และเซนเซอร์ด้านขวามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของขอบเขตบนและล่างเทียบกับระยะอ้างอิงเท่ากับ 4.01 % และ 3.24% ตามลำดับ

และจากการทดลอง 2.3.1.2 ซึ่งแสดงด้วยชุดข้อมูลตัวอย่างจากตรวจวัดไปยังระยะ 100 cm (เส้นสีเทา) พบว่าเมื่อเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสองตัวขณะทำงานพร้อมกันจะมีบางช่วงเวลาที่สามารถวัดข้อมูลได้อย่างถูกต้องและบางช่วงจะได้รับข้อมูลระยะทางผิดพลาดในรูปแบบเดียวกัน โดยจะเกิดขึ้นเป็นบางช่วงเวลาทุกๆ 18-19 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 9 อันเนื่องมาจากปัญหาการรบกวนสัญญาณข้ามกันหรือ Cross Talk จึงส่งผลให้เซนเซอร์ทั้งสองตรวจวัดค่าได้ผิดพลาด เมื่อผู้วิจัยทดลองใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่จำนวนสมาชิก 5 และ 10 ค่า กับชุดข้อมูลดังกล่าว พบว่าสามารถช่วยลดผลกระทบจากปัญหาสัญญาณทับซ้อนลงได้แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำข้อมูลไปใช้งานได้ และในด้านการประเมินความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังพบว่า การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่สามารถลดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงกว่า 1 Hz ลงได้ อย่างไรก็ดี ในแง่การระบุความถี่จากปัญหาการทับซ้อนกันของสัญญาณนี้ยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ดังนั้น จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่นั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำข้อมูลจากการตรวจวัดระยะทางด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์แบบทำงานพร้อมกันสองตัวไปใช้ประมวลผลหลัก สิ่งกีดขวางให้กับหุ่นยนต์ AGV ได้ และในแง่การประเมินความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังของแต่ละช่วงความถี่นั้น

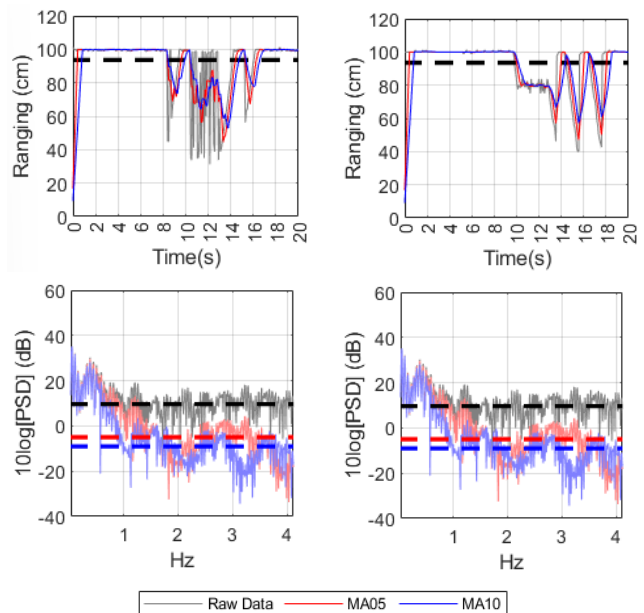


ภาพที่ 8 ผลการประเมินความแม่นยำและเที่ยงตรงของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองตัวแบบทำงานทีละตัว

ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความถี่ในช่วงที่เกิดสัญญาณผิดพลาดได้อย่างชัดเจนที่จะสามารถนำไปออกแบบตัวกรองเพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณผิดพลาดนั้นๆ ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบโปรแกรมควบคุมให้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ทั้งสองให้สลับกันทำงานตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้



ภาพที่ 9 ผลการทดลองการใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์แบบทำงานพร้อมกันทั้งสองตัวที่วัดไปยังผนังคอนกรีตที่ระยะ 100 cm



ภาพที่ 10 ผลการกรองสัญญาณและการประเมินความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของชุดข้อมูลระยะทางจริง (สีเทา) หลังผ่านตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ใช้สมาชิกจำนวน 5 ค่า (สีแดง) และ 10 ค่า (สีน้ำเงิน) และค่าเฉลี่ยแต่ละกรณี (เส้นประ)

3.2 การประเมินผลการทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ตรวจพบวัตถุทันทีทันใด

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Filter) ที่มีจำนวนสมาชิกต่างกันต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ในการตรวจจับวัตถุ โดยทำการประเมินที่ระยะ 40, 70 และ 100 cm และเปรียบเทียบข้อมูลระยะวัดจริง (Raw, สีเทา) กับข้อมูลที่ผ่านการกรองด้วยจำนวนสมาชิก 5 ค่า (MA05, สีแดง) และ 10 ค่า (MA10, สีน้ำเงิน) ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาพที่ 12 และสามารถสรุปผลข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาในด้านความต่อเนื่องของข้อมูล ($\bar{C}$) พบว่าในทุกการทดลองทุกๆกรณี พฤติกรรมของชุดข้อมูลระยะการตรวจวัดจริงจะมีความผันผวนในช่วงเริ่มจะพบวัตถุที่วินาทีที่ 0 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ระยะวัตถุ 100 cm ที่จะพบความผันผวนสูงสุดที่ $\bar{C}_{Raw@100\text{ cm}} = 48.06\text{ cm}$ และผลการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่จะช่วยลดความผันผวนเฉลี่ยของชุดข้อมูลระยะการตรวจวัดลงได้ โดยที่การกำหนดสมาชิก 5 ค่า (สีแดง) $\bar{C}_{MA05@100\text{ cm}} = 9.49\text{ cm}$ และที่ 10 ค่า (สีน้ำเงิน)

$\bar{C}_{MA10@100cm} = 5.65$ cm คิดเป็นสัดส่วนที่สามารถลดความผันผวนของสัญญาณลงได้ 80.25% และ 88.24% ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณาในด้านค่าความล่าช้าในการตอบสนองต่อการตรวจพบวัตถุ (T_{lag}) ที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนสมาชิกของตัวกรองที่ใช้พบว่า ข้อมูลระยะจริงจากการตรวจวัดจะให้ผลลัพธ์การตอบสนองเร็วที่สุดเฉลี่ยในช่วง 0.09–1.44 วินาที ในขณะที่การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 ค่า ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในช่วง (0.51–1.83 วินาที) และการกำหนดสมาชิก 10 ค่า ก่อให้เกิดความล่าช้าสูงสุด ที่ 0.94–2.26 วินาที

3.3 การทดลองออกแบบตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กับหุ่นยนต์อัตโนมัติภาคพื้นดิน

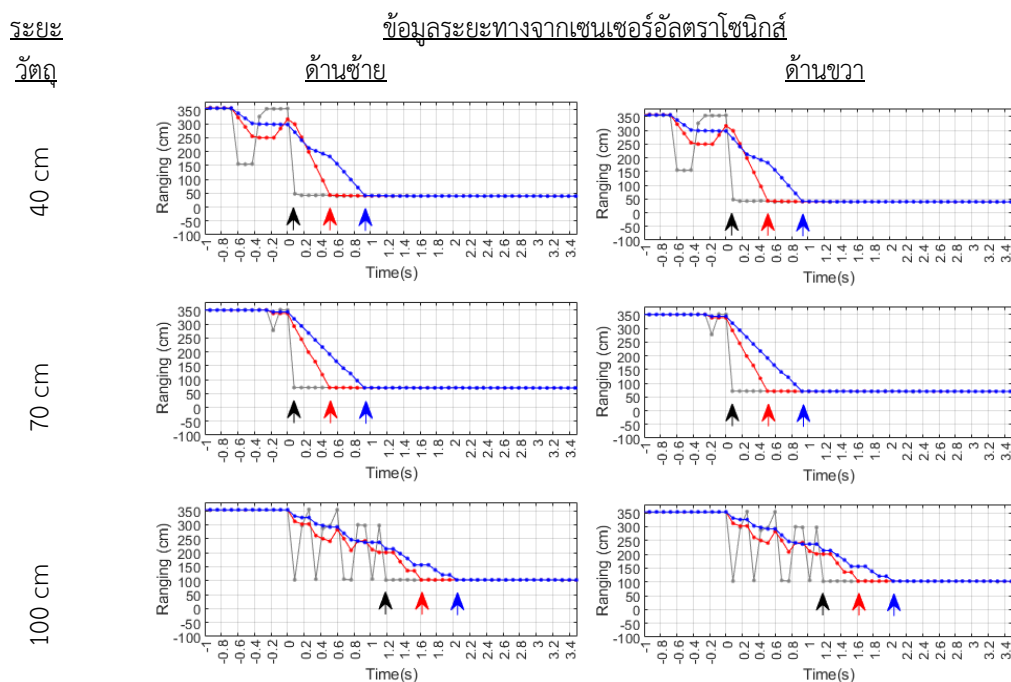
ผลการทดลองกับหุ่นยนต์ AGV ขณะปฏิบัติการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติที่ความเร็วไม่เกิน 100 cm/s และหยุดเคลื่อนที่เมื่อเซนเซอร์อัลตราโซนิกสพบสิ่งกีดขวางในระยะที่กำหนด 40 , 70 และ 100 cm ในกรณีที่ผู้ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับกรณีที่ผู้ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 และ 10 ค่าโดยทำการศึกษาแต่ละกรณีจากข้อมูลความคลาดเคลื่อนของระยะที่หุ่นยนต์ AGV หยุดเคลื่อนที่ไปยังสิ่งกีดขวางนั้นๆ จำนวน 5 ครั้งต่อกรณีดังแสดงในตารางที่ 3 และสรุปผลดังภาพที่ 14 โดยสามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ผู้ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กับข้อมูลระยะสิ่งกีดขวาง พบว่าหุ่นยนต์ AGV สามารถหยุดทำงานคลาดเคลื่อนไปจากระยะที่กำหนดเฉลี่ยทั้ง 3 ระยะเท่ากับ -5.4 cm นอกจากนี้ยังพบว่า เซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสองตรวจวัดระยะสิ่งกีดขวาง

ผิดพลาด ส่งผลให้หุ่นยนต์ AGV ขณะเคลื่อนที่ที่จะหยุดและเคลื่อนที่ต่อจนถึงระยะที่กำหนดไว้ จึงทำงานไม่ต่อเนื่อง

ในกรณีที่กำหนดค่าตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ใช้สมาชิก 5 ค่ากับข้อมูลระยะสิ่งกีดขวาง พบว่าหุ่นยนต์ AGV สามารถหยุดทำงานคลาดเคลื่อนไปจากระยะที่กำหนดเฉลี่ยทั้ง 3 ระยะเท่ากับ -26.3 cm นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระยะหยุด 40 cm หุ่นยนต์ AGV ประมวลผลให้หยุดห่างจากสิ่งกีดขวางเฉลี่ย 5.4 cm จากกรณีดังกล่าวมีสาเหตุมาจากกรณีที่วัตถุอยู่ใกล้กว่า 30 cm ซึ่งเป็นระยะต่ำสุดที่เซนเซอร์จะตรวจวัดได้ เซนเซอร์จะส่งค่าระยะที่ 30 cm ดังนั้น กระบวนการกรองจึงล่าช้ากว่าเนื่องจากค่าถ่วงน้ำหนักข้อมูลระยะทางน้อยกว่าวัตถุระยะจริง ในกรณีที่กำหนดค่าตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ใช้สมาชิก 10 ค่ากับข้อมูลระยะสิ่งกีดขวาง พบว่าหุ่นยนต์ AGV สามารถหยุดทำงานคลาดเคลื่อนไปจากระยะที่กำหนดเฉลี่ยทั้ง 3 ระยะเท่ากับ -35.4 cm นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระยะหยุด 40 cm หุ่นยนต์ AGV ขนเข้าใกล้สิ่งกีดขวางเป็นผลมาจาก AGVs เข้าใกล้วัตถุต่ำกว่า 30 cm เช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้านี้ และข้อมูลหลังผ่านกระบวนการกรองเฉลี่ยเข้าค่าจริงได้ล่าช้ากว่ากรณีอื่นๆจึงส่งผลให้หุ่นยนต์ AGV ไม่สามารถหยุดได้ทัน

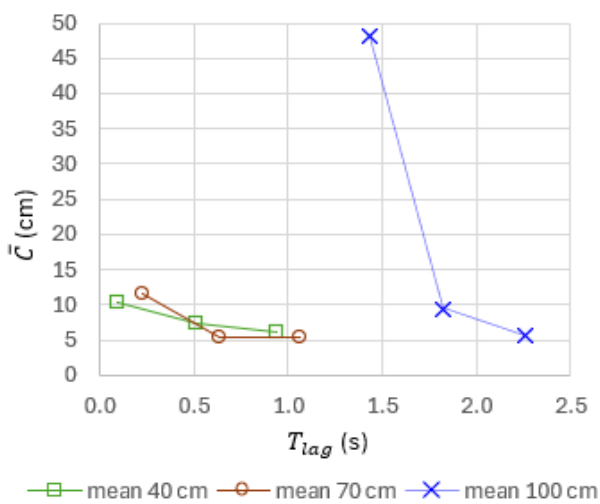
จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ไม่ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ หุ่นยนต์ AGV สามารถหยุดได้ใกล้เคียงกับระยะอ้างอิงได้ใกล้เคียงกว่ากรณีอื่นๆที่ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และในกรณีที่ผู้ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่มีสมาชิก 10 ค่า ผลการทดลองพบว่าจะต้องใช้ระยะหยุดที่ 34.6 - 37.1 cm ส่งผลให้กรณีที่ระยะหยุดก่อนถึงวัตถุ 40 cm หุ่นยนต์ AGV จะไม่สามารถหยุดได้ทันและอาจชนเข้ากับวัตถุ



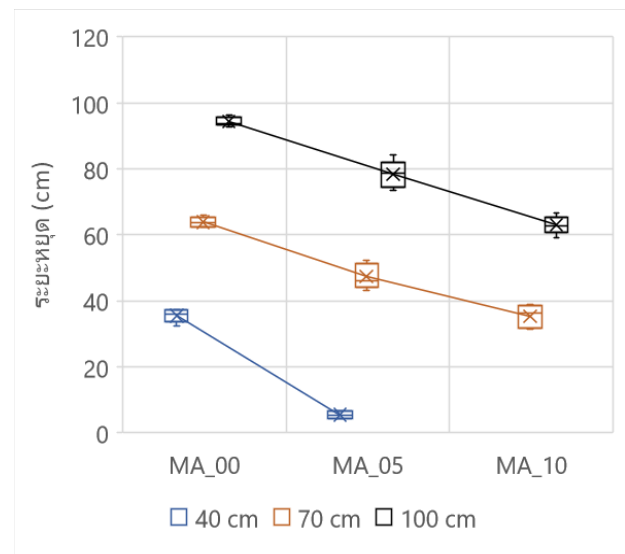
ภาพที่ 11 ผลการทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกตรวจพบวัตถุเมื่อตรวจพบวัตถุที่ระยะ 40,70 และ 100 cm โดยที่ชุดข้อมูลระยะจริง (สีเทา), การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 ค่า (สีแดง) และ 10 ค่า (สีน้ำเงิน)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ตรวจพบวัตถุเมื่อตรวจพบฉากรับที่ระยะ 40,70 และ 100 cm ในด้านค่าเฉลี่ยความล่าช้าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลระยะ (T_{lag}) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความต่อเนื่องของข้อมูลระยะตรวจวัด ($\bar{C}$) จากชุดข้อมูลระยะจริง, การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สมาชิก 5 ค่า และ 10 ค่า

ระยะวัตถุ	ตัวแปรศึกษา	ข้อมูลระยะจริง			การใช้สมาชิกตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สมาชิก 5 ค่า			การใช้สมาชิกตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สมาชิก 10 ค่า		
		ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย	ด้านซ้าย	ด้านขวา	เฉลี่ย
40	$\bar{C}$ (cm)	14.28	6.32	10.30	8.72	6.15	7.43	6.11	6.13	6.12
	T_{lag} (s)	0.09	0.09	0.09	0.51	0.51	0.51	0.93	0.94	0.94
70	$\bar{C}$ (cm)	8.61	14.46	11.53	5.47	5.45	5.46	5.43	5.41	5.42
	T_{lag} (s)	0.08	0.37	0.23	0.51	0.76	0.64	0.93	1.19	1.06
100	$\bar{C}$ (cm)	39.38	56.75	48.06	7.79	11.19	9.49	4.86	6.43	5.65
	T_{lag} (s)	1.19	1.68	1.44	1.61	2.04	1.83	2.04	2.47	2.26



ภาพที่ 12 การประเมินผลการทดลองกรณีเซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ตรวจพบวัตถุที่ระยะ 40,70 และ 100 cm ในด้านค่าเฉลี่ยความล่าช้าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลระยะ (T_{lag}) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความต่อเนื่องของข้อมูลระยะตรวจวัด ($\bar{C}$)



ภาพที่ 13 สรุปการประเมินผลการทดลองกับการไม่ใช้และใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สำหรับหุ่นยนต์ AGV ขณะเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติและระยะหยุดเคลื่อนที่เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะหยุดอ้างอิงที่กำหนด

ตารางที่ 3 การประเมินผลการทดลองกับหุ่นยนต์ AGV ขณะเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติและหยุดเคลื่อนที่เมื่อตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะหยุดอ้างอิงที่กำหนด

กรณีศึกษา	ครั้งที่	ระยะหยุดอ้างอิงที่ 40 cm		ระยะหยุดอ้างอิงที่ 70 cm		ระยะหยุดอ้างอิงที่ 100 cm	
		ระยะหยุดก่อนถึงวัตถุ	ผลต่างจากระยะหยุดอ้างอิง	ระยะหยุดก่อนถึงวัตถุ	ผลต่างจากระยะหยุดอ้างอิง	ระยะหยุดก่อนถึงวัตถุ	ผลต่างจากระยะหยุดอ้างอิง
ไม่ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA_00)	1	37.2	-2.8	62.5	-7.5	92.6	-7.4
	2	34.8	-5.2	63.7	-6.3	93.8	-6.2
	3	36	-4	64.5	-5.5	96.3	-3.7
	4	37.2	-2.8	66.1	-3.9	95.1	-4.9
	5	32.4	-7.6	62.5	-7.5	93.8	-6.2
	เฉลี่ย	35.5	-4.48	63.8	-6.14	94.3	-5.68
ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 5 ค่า (MA_05)	1	6.7	-33.3	44.7	-25.3	73.3	-26.7
	2	4.2	-35.8	43.2	-26.8	84.2	-15.8
	3	5.2	-34.8	50.2	-19.8	75.6	-24.4
	4	4.5	-35.5	46.1	-23.9	78.8	-21.2
	5	6.5	-33.5	52.3	-17.7	79.9	-20.1
	เฉลี่ย	5.4	-34.58	47.3	-22.7	78.4	-21.6
ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 10 ค่า (MA_10)	1	ชนวัตถุ	ชนวัตถุ	38.8	-31.2	62.6	-37.4
	2	ชนวัตถุ	ชนวัตถุ	31.3	-38.7	59.1	-40.9
	3	ชนวัตถุ	ชนวัตถุ	38.4	-31.6	63.7	-36.3
	4	ชนวัตถุ	ชนวัตถุ	36.2	-33.8	62.7	-37.3
	5	ชนวัตถุ	ชนวัตถุ	32.2	-37.8	66.6	-33.4
	เฉลี่ย	-	=	35.4	-34.6	62.9	-37.1

4. สรุปผล

ในการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติภาคพื้นดิน หุ่นยนต์จะต้องมีความสามารถเดินทางเข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดได้พร้อม ๆ กับหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้เองแบบอัตโนมัติด้วยข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดระยะแบบไม่สัมผัส สำหรับการตรวจวัดระยะด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่มีชนิดเดียวกันทำงานในทิศทางเดียวกันพร้อม ๆ กันนั้นมักจะพบชุดข้อมูลที่ผิดพลาดจากการรบกวนสัญญาณข้ามกัน (Cross-Talk) ระหว่างเซนเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสองและยังรวมถึงสัญญาณรบกวน (Noise) จากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบโปรแกรมสลับการทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาการทำงานทับซ้อนด้วยการออกแบบโปรแกรมกำหนดให้สลับทำงานด้านละ 50 ms ร่วมกับการใช้กระบวนการกรองสัญญาณรบกวนแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ โดยศึกษาในกรณีที่ใช้สมาชิกตัวกรอง 5 และ 10 ค่า

ลำดับการศึกษาวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 1) การทดลองเบื้องต้นที่เซนเซอร์ทั้งสองขณะอยู่กับที่ตรวจวัดระยะไปยังผนังแบบที่ละด้านพร้อมๆกัน ร่วมกับการใช้ตัวกรองเฉลี่ยเคลื่อนที่ ผลการศึกษาพบว่าตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่สามารถช่วยให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องราบเรียบมากยิ่งขึ้นแต่ไม่สามารถขจัดปัญหาการรบกวนสัญญาณข้ามกันระหว่างเซนเซอร์ได้ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโปรแกรมควบคุมสลับการทำงานของเซนเซอร์แต่ละตัว และ 2) การทดลองกรณีที่เซนเซอร์อัลตราโซนิกตรวจพบวัตถุทันทีที่ทันใดเมื่อระยะการตรวจวัดเคลื่อนที่ผ่านวัตถุฉากที่ที่กำหนดระยะห่าง 40, 70 และ 100 cm ผลการทดลองพบว่าชุดข้อมูลระยะการตรวจวัดจริงจะเกิดความผันผวนอย่างมากขณะวัตถุเข้ามาในระยะขอบเขตการตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยความผันผวนสูงสุดในกรณีที่ระยะวัตถุ 100

cm ที่ 48.06 cm การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 ค่า และที่ 10 ค่า จะสามารถช่วยลดค่าเฉลี่ยความผันผวนลงได้โดยคิดเป็นสัดส่วนที่ 80.25% และ 88.24% ตามลำดับ และ 3) การทดลองในหุ่นยนต์ AGV เคลื่อนที่และหยุดแบบอัตโนมัติเมื่อเซนเซอร์อัลตราโซนิกสับสิ่งกีดขวางในระยะที่กำหนด 40 , 70 และ 100 cm โดยกรณีที่ 1 ไม่ใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่พบว่าการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่พบว่า หุ่นยนต์ AGV จะหยุดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกับระยะหยุดที่กำหนดไว้มากกว่ากรณีอื่นๆแต่พบว่าหุ่นยนต์ AGV ทำงานแบบไม่ต่อเนื่องเพราะได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนอื่นๆปะปนเข้ามาในข้อมูลระยะ และในกรณีที่การใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 10 ค่า พบว่าข้อมูลระยะวัตถุมีความเปลี่ยนแปลงล่าช้ามากกว่ากรณีอื่นๆ ส่งผลให้หุ่นยนต์ AGV จะต้องใช้ระยะหยุดที่เพิ่มขึ้น การกำหนดระยะหยุดก่อนถึงวัตถุที่ 40 cm จึงไม่สามารถหยุดได้ทันและชนเข้ากับวัตถุ

ดังนั้น จากผลการศึกษาทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบโปรแกรมสลับการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ 50 ms ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่กำหนดสมาชิก 5 ค่า นั้นจะมีความเหมาะสมที่สุดที่สามารถช่วยให้หุ่นยนต์ AGV สามารถบรรลุเงื่อนไขการหยุดภายใต้เงื่อนไขที่ระยะก่อนถึงวัตถุกีดขวางน้อยสุดที่ 40 cm

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ชื่อทุน “ทุนนักวิจัยรุ่นใหม่” ประจำปีงบประมาณ 2564 สัญญาเลขที่ NRF64RMUTT

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Aizat M, Qistina N, Rahiman W. A comprehensive review of recent advances in automated guided vehicle technologies: Dynamic obstacle avoidance in complex environment toward autonomous capability. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2024;73:1-25.
- [2] Moshayedi AJ, Jinsong L, Liao L. AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance. *J Simul Anal Novel Technol Mech Eng*. 2019;12(4):5-18.
- [3] Zhou X, Chen T, Zhang Y. Research on intelligent AGV control system. In: 2018 Chinese Automation Congress (CAC); 2018 Nov 30-Dec 2; Xi'an, China. IEEE; 2018. p. 58-61.
- [4] Wang C, Mao J. Summary of AGV path planning. In: 2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE); 2019 Oct 18-20; Xiamen, China. IEEE; 2019. p. 332-335.
- [5] AGV Network. Mobile robot sensors - The eyes and ears of AGVs and AMRs. Available from: <https://www.agvnetwork.com/mobile-robot-sensors-agv-amr>. Accessed June 19, 2024.
- [6] A. B. R. Tonmoy, M. D. S. Zinan, S. Sultan and A. Sarker, "A comparative study on LIDAR and Ultrasonic Sensor for Obstacle Avoidance Robot Car," in *Proc. 2023 Int. Conf. Adv. Electron., Commun., Comput. Intell. Inf. Syst. (ICAECIS)*, Bangalore, India, 2023, pp. 582–587.
- [7] Li C, Guo S, Guo J. Study on obstacle avoidance strategy using multiple ultrasonic sensors for spherical underwater robots. *IEEE Sens J*. 2022;22(24):24458-24470.
- [8] Zhang Y, Hsiung-Cheng L, Zhao J, Zewen M, Ye Z, Sun H. A multi-DoF ultrasonic receiving device for indoor positioning of AGV system. In: 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C); 2018 Jun 6-8; Taichung, Taiwan. IEEE; 2018. p. 97-100.
- [9] Park G-R, Park S-H, Baek K-R. Improved frequency sweep keying CDMA using faster R-CNN for extended ultrasonic crosstalk reduction. *Sensors*. 2023;23: 9550.
- [10] M. Kubinyi and R. Smid, "Ultrasonic denoising with a modified wavelet filter," *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Prague, Czech Republic, 2011, pp. 479-482
- [11] Shankar P, Bencharit U, Bilgutay N, Saniie J. Grain noise suppression through bandpass filtering. *J Mater Eval*. 1988;46(8):1100-1104.
- [12] Prasetyono AP, Adiyasa IW, Yudianto A, Agit SNK. Multiple sensing method using moving average filter for automotive ultrasonic sensor. *J Phys Conf Ser*. 2020;1700(1):012075.
- [13] Kelemen M, Virgala I, Kelemenová T, Miková L', Frankovský P, Lipták T, Lörinc M. Distance measurement via using of ultrasonic sensor. *J Autom Control*. 2015;3(3):71-74.
- [14] Zhmud VA, Kondratiev NO, Kuznetsov KA, Trubin VG, Dimitrov LV. Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics. *J Phys Conf Ser*. 2018; 1015(3):032189
- [15] Narumol A. การวัดระยะทางของวัตถุด้วยการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic). Available from: <https://medium.com/@narumol.aomam/การวัดระยะทางของวัตถุด้วยการใช้คลื่นความถี่สูง-ultrasonic-db35883a17f>. Accessed June 28, 2024.
- [16] MaxBotix. LV-MaxSonar-EZ datasheet. Available from: <https://maxbotix.com/pages/lv-maxsonar-ez-datasheet>. Accessed June 28, 2024.
- [17] Micontech Lab. โซลิตสเตรเลอร์ 4 ช่อง G3MB-202P 240VAC 2A. Available from: <http://www.micontechlab.com/product/774/1x-โซลิตสเตรเลอร์-4-ช่อง-g3mb-202p-240vac-2a>. Accessed June 26, 2024.
- [18] Smith SW. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. 2nd ed. San Diego, CA: California Technical Publishing; 1999. Chapter 15, Moving Average Filters; p. 277-285.
- [19] Welch PD. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Trans Audio Electroacoust*. 1967;15(2):70-73.
- [20] MathWorks. pwelch. Available from: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/pwelch.html>. Accessed June 26, 2024