

การพัฒนาหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยใช้ Arduino และ PID Controller

Development of Obstacle Avoidance Robot Using Arduino and PID Controller

เลอชัย กิรสมุทธานนท์¹, กอสิทธิ์ ประยุทธ์เต¹, ศิริวัฒน์ สุรโชติเวศย์² และกฤษณ์นัท เจริญสุข^{*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

²สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

ติดต่อ: lerchai.k@pit.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (HC-SR04) ตรวจจับสิ่งกีดขวาง และ Arduino UNO R3 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ระบบควบคุมใช้ PID Controller เพื่อปรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ หุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยโครงสร้าง 4WD Smart Robot Car Chassis ควบคุมโดยโมดูล L298N และใช้เซอร์โวมอเตอร์สำหรับการปรับมุมตรวจจับ ผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่เปิด แต่ยังมีข้อจำกัด เช่น มุมการตรวจจับที่จำกัด และการตอบสนองที่ล่าช้าในบางสถานการณ์ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ในอนาคต อาจเพิ่มเซ็นเซอร์เสริม เช่น LIDAR หรืออินฟราเรด เพื่อขยายขอบเขตการมองเห็น ปรับปรุงอัลกอริทึมการประมวลผลให้ตอบสนองรวดเร็วยิ่งขึ้น รวมถึงพัฒนาแหล่งพลังงานให้รองรับการใช้งานได้นานขึ้น นอกจากนี้ ควรทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนมากขึ้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพในสถานการณ์จริง งานวิจัยนี้ช่วยเสริมสร้างความรู้ด้านการควบคุมระบบ การเขียนโปรแกรม Arduino และการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาหุ่นยนต์อัตโนมัติและระบบอัจฉริยะในอนาคต

คำสำคัญ: หุ่นยนต์, สิ่งกีดขวาง, ไมโครคอนโทรลเลอร์, การตรวจจับ

Abstract

This research presents the development of an obstacle-avoiding robot using an ultrasonic sensor (HC-SR04) for obstacle detection and an Arduino UNO R3 as the main processor. The control system employs a PID Controller to dynamically adjust the robot's movement. The robot is driven by a 4WD Smart Robot Car Chassis and controlled by an L298N module, with a servo motor used to adjust the detection angle. Experimental results indicate that the robot effectively detects and avoids obstacles in open environments. However, limitations remain, such as restricted detection angles and delayed responses in certain situations. Future improvements may include integrating additional sensors, such as LIDAR or infrared, to enhance perception, optimizing the processing algorithm for faster response times, and improving the power system for extended

operation. Further testing in more complex environments is also recommended to evaluate real-world performance. This research contributes to advancements in system control, Arduino programming, and robotic engineering, with potential applications in autonomous robotics and intelligent systems.
Keywords: robot, obstacle, microcontroller, detection

1. บทนำ

ในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาหัวข้อเกี่ยวกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้กลายเป็นหัวข้อวิจัยที่ถูกรวบรวมมากขึ้น ด้วยการเติบโตอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี งานวิจัยฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อการพัฒนาการทำงานของหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวาง เพราะในปัจจุบันความต้องการในการใช้งานซับซ้อนและหลากหลายขึ้น เช่น การเข้าถึงพื้นที่ยากในการใช้งานอุตสาหกรรม ใช้ในการดูแลผู้สูงอายุ หรือใช้ในการทำความสะอาด สะอาด ระบบควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ PID Controller ซึ่งเป็นเทคนิคควบคุมที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปปรับใช้ได้หลายสถานการณ์ ไม่ว่าจะเป็นการปรับความเร็ว ทิศทาง และระยะห่างจากสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ได้อย่างเหมาะสม โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจจับ RGB-D Camera, Ultrasonic Sensor และ LIDAR ทำหน้าที่ตรวจจับระยะและลักษณะของสิ่งกีดขวางในบริเวณรอบหุ่นยนต์ ก่อนส่งข้อมูลเข้าระบบเพื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม Arduino งานวิจัยนี้มีขอบเขตให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าได้ มีเซ็นเซอร์ของหุ่นยนต์สามารถตรวจพบสิ่งที่อยู่ข้างหน้าได้ต่ำกว่า 20 เซนติเมตร หุ่นยนต์จะหลบหลีกสิ่งกีดขวางและวิ่งต่อไป หุ่นสามารถตัดสินใจเลือกทางที่ไม่มีสิ่งกีดขวางได้ และเมื่อหุ่นไม่สามารถวิ่งทางออกได้เกิน 3 ครั้ง หุ่นจะหยุดทำงาน และงานวิจัยนี้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อความแม่นยำ ในงานวิจัย ของ Seyyed Mohammad ได้ทำ การศึกษาการเคลื่อนที่ของ Mobile robot และทำการปรับปรุงอัลกอริทึมให้คำนึงถึง Artificial Potential Field (APF) ของวัตถุ โดยไม่ติดอยู่ในตำแหน่งที่เรียกว่า Local Minimum ซึ่งเป็นข้อเสียหลักของ APF แบบเดิม ซึ่งใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการออกแบบอัลกอริทึม และคำนวณผลลัพธ์ความเป็นไปได้ และพบว่าอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ทำให้ประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของ Mobile robot ดีขึ้น [7] และงานวิจัย Magda S. ได้ศึกษาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางของกล้อง RGB-D ที่ติดตั้งในหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เป็นการศึกษามุ่งประเมินความแม่นยำของการทำแผนที่สิ่งกีดขวาง โดยพิจารณาทั้งความไม่แน่นอน

จากกล้อง RGB-D และกระบวนการประมวลผลข้อมูล การประเมินใช้ข้อมูลจากทั้งการจำลองและข้อมูลจริง เพื่อคำนวณตัวชี้วัดด้านความแม่นยำ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า กระบวนการประมวลผลข้อมูลจากภาพและข้อมูลความลึกที่นำเสนอมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 38 เซนติเมตร[5] รวมไปถึงงานวิจัย Kyriaki A. Tychola ได้ศึกษาวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการจำลองและการสร้างโมเดลสามมิติ โดยเน้นไปที่การใช้เทคนิคการถ่ายภาพทาง (Photogrammetry) และสเตอริโอสโคปี (Stereoscopy) ในการสร้างแบบ 3D ที่มีความแม่นยำสูงและข้อมูลทางเมตริกโดยไม่ต้องใช้เวลาและต้นทุนสูง โดยในงานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงเทคโนโลยีของ RGB-D Cameras ในขณะนั้น ที่เน้นการจับภาพและมีข้อมูลของความลึกของภาพที่จับ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมทั้งแบบคงที่ (Static) และแบบเคลื่อนไหว (Dynamic) รวมถึงเทคนิคการจับภาพแผนที่ความลึก (Depth map) และอธิบายข้อมูลเทียบกับข้อมูลเสียไว้[4] ในงานวิจัยนี้ ของ VanQuang N. ได้เสนอแนวทางการตรวจจับข้อมูลช่องทางเดินรถและยานพาหนะเพื่อใช้ในระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistant System: LCAS) โดยใช้กล้องจับระยะ สำหรับการตรวจจับเลนใช้วิธีการตรวจจับเส้น (Line Detection) ส่วนการตรวจจับยานพาหนะนั้นจะผสานการใช้ฟิลเตอร์ขอบแนวนอน (Horizontal Edge Filter), และขอบแนวตั้ง (Vertical Edge) อัลกอริธึมที่นำเสนอสามารถประมวลผลได้โดยเฉลี่ยที่ 43 มิลลิวินาทีต่อเฟรม ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ดีในการใช้กล้องตรวจจับวัตถุ[9] และในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัย Abdulkadir S. B. ได้ศึกษาและทำนियาม Obstacle Avoiding Robot ไว้ว่าเป็นเครื่องจักรอัจฉริยะที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวาง ได้โดยอัตโนมัติ และหลีกเลี่ยงโดยการเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งความสามารถในการหลีกเลี่ยงการชนถือเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับระบบนำทาง (Navigation System) ของหุ่นยนต์ [2] รวมไปถึง Abdu I. A 2023กล่าวถึงการนำทางของหุ่นยนต์ (Robotic Navigation) โดยในงานวิจัยนี้มีการพูดถึงอัลกอริธึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้แก่ Fuzzy Logic ที่ตอบสนองได้รวดเร็ว เหมาะกับสถานการณ์ซับซ้อน แต่เน้นเฉพาะสิ่งกีดขวางแบบอยู่กับที่ (Static), Model-Based Predictive Controller (MBPC) ใช้ Neural Networks และ Ultrasonic Sensors เพื่อนำทางผ่านสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดคิด, Dynamic Artificial Neural Network (DANN) ช่วยให้หุ่นยนต์หลีกเลี่ยงได้ทั้งสิ่งกีดขวางที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่, Generalized Dynamic Fuzzy Neural Networks (GDFNN) เป็นการผสมผสานระหว่าง Neural Network และ Fuzzy Logic เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์แบบ Real-Time และผลการทดลอง ชี้ให้เห็นว่า GDFNN สามารถช่วยให้หุ่นยนต์หลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น[1] ในขณะเดียวกัน Muhammad A. B ได้ศึกษาลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์หลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง พบว่าเมื่อเปิดระบบผ่านสวิตช์ ON/OFF ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino จะเริ่มอ่านข้อมูลจาก เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก เพื่อหาว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าหรือไม่ ถ้าตรวจพบสิ่งกีดขวาง หุ่นยนต์จะถอยหลัง ถ้าไม่พบสิ่งกีดขวาง (ระยะห่างยังมากพอ) หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า หุ่นยนต์จะทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบสิ่งกีด

ขวางและหยุด ซึ่งจากงานวิจัยอ้างพบว่าที่กล่าวมาข้างต้นเป็นพฤติกรรมโดยเฉลี่ยของหุ่นยนต์หลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง ระบบนี้ใช้ภาษา C ในการพัฒนาโปรแกรมบนบอร์ด Arduino และมีหน่วยจ่ายไฟของระบบเป็นแบตเตอรี่ที่มีระบบชาร์จ[6] ในส่วนของการวิเคราะห์ นักวิจัย XINYU G. AND ZHONGYI W. ได้คลาดการและวิเคราะห์ถึงปัญหาการนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบล้อ (Wheeled Mobile Robots - WMRs) รวมไปถึงถึงสรุปวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ เช่น การสร้างแผนที่ (Mapping), การระบุตำแหน่ง (Localization) และการวางแผนเส้นทาง (Path Planning) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการนำทางหุ่นยนต์ พร้อมทั้งอธิบายข้อดีและข้อจำกัดของวิธีที่มีอยู่ในตอนนั้น[10] และนักวิจัย Isa A. I. ได้เขียนงานวิจัยขึ้นเพื่อมีเป้าหมายคือการรีวิบทความที่เกี่ยวกับ เซอร์โวมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้ง เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างมอเตอร์ DC และ AC โดยมีการอภิปรายถึงข้อดีของมอเตอร์ DC ที่เหนือกว่ามอเตอร์ AC ในบางด้าน รวมถึงแสดงให้เห็นว่าตัว PID Controller มีบทบาทสำคัญในการควบคุมมอเตอร์ เนื่องจากสามารถจูนค่าพารามิเตอร์ได้อย่างแม่นยำ โครงสร้างไม่ซับซ้อน มีความเสถียร และเชื่อถือได้[3] คณะของ Yan P. and Jason G. ได้นำเสนออัลกอริธึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับและหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางโดยใช้ Lidar แบบ 2 มิติ วิธีการนี้จะดึงข้อมูลของสิ่งกีดขวางจากข้อมูลเลเซอร์พอยต์ คลาวด์ โดยใช้เทคนิคการกรองและการจัดกลุ่ม (Clustering) พร้อมทั้งคำนวณมุมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและความเร็วของหุ่นยนต์ โดยใช้ต้นทุนต่ำสุด (Minimum Cost Function) อัลกอริธึมที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีคือใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อน และสามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์[11] ในขณะเดียวกันนักวิจัย Rahmot U. ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ Line Maze Solving Robot ซึ่งเป็นหุ่นยนต์วิ่งตามเส้นทางที่ได้รับการปรับปรุงให้สามารถแก้ปัญหาเขาวงกตและค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้โดยอัตโนมัติ และใช้อัลกอริธึม Short Path Finder พร้อมทั้งเสริมประสิทธิภาพด้วย ระบบควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบ PID ที่ปรับปรุงใหม่ เพื่อให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางได้อย่างแม่นยำ ระบบประกอบด้วยเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) สำหรับตรวจจับเส้น, ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผลข้อมูล, มอเตอร์ไดรเวอร์ควบคุมมอเตอร์ DC และเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถนำทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ[8]

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้ด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ ระบบตรวจจับวัตถุ และการประมวลผลแบบเวลาจริง โดยทั่วไป หุ่นยนต์เคลื่อนที่ประเภทนี้จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทาง หน่วยประมวลผลกลาง เช่น Arduino UNO R3 และชุดขับเคลื่อนที่ควบคุมด้วยมอเตอร์แบบล้อขับเคลื่อน Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาระบบแบบ

เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้หลากหลาย มีไลบรารีสนับสนุนที่ครอบคลุม และใช้งานง่าย

ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 ซึ่งทำงานโดยการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงไปยังวัตถุและรับคลื่นสะท้อนกลับ เพื่อคำนวณระยะทางจากเวลาที่เสียงเดินทางไปกลับ โดยใช้สมการ

$$\text{Distance} = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของเสียงในอากาศ (ประมาณ 343 m/s ที่อุณหภูมิ 25°C) และ t คือระยะเวลาเดินทางของคลื่นเสียงแบบไปกลับ ในระบบ Arduino มักแปลงระยะเวลาดังกล่าวเป็นเซนติเมตรโดยใช้สูตร

$$\text{Distance(cm)} = \frac{\text{duration}(\mu\text{s})}{58} \quad (2)$$

ข้อมูลระยะทางที่ได้จากเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังระบบควบคุมเพื่อตัดสินใจปรับทิศทางของหุ่นยนต์ โดยใช้ในการควบคุม PID (Proportional-Integral-Derivative Controller) ซึ่งเป็นกลไกควบคุมแบบป้อนกลับที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากสามารถควบคุมการตอบสนองของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการแกว่ง (oscillation) และค่า steady-state error ได้ดี โดยมีสมการควบคุมพื้นฐานดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

โดยที่ $u(t)$ คือ สัญญาณควบคุม, $e(t) = r(t) - y(t)$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ต้องการกับค่าที่วัดได้, และ K_p คือ สัดส่วน (Proportional Gain), K_i คือ อินทิกรัล (Integral Gain), K_d คือ อนุพันธ์ (Derivative Gain)[12]

ในระบบหุ่นยนต์ล้อ 2 ข้าง ค่าสัญญาณควบคุม $u(t)$ จะนำไปใช้ในการปรับความเร็วของล้อซ้ายและขวาเพื่อให้หุ่นยนต์หันไปทางที่ปลอดภัยที่สุด โดยสมการควบคุมพื้นฐานสามารถเขียนได้ว่า

$$V_{\text{left}} = V_{\text{base}} - u(t) \quad (4)$$

$$\text{และ } V_{\text{right}} = V_{\text{base}} + u(t) \quad (5)$$

ซึ่ง V_{base} คือความเร็วพื้นฐานของหุ่นยนต์ และ $u(t)$ จะเพิ่มหรือลดความเร็วของแต่ละล้อตามทิศทางที่ควรหลบหลีก

นอกจากนี้ ในกรณีที่ต้องการประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในสภาพแวดล้อมซับซ้อน ยังสามารถผสมผสาน PID เข้ากับอัลกอริธึมหลบหลีกขั้นสูง เช่น Vector Field Histogram (VFH) ซึ่งทำหน้าที่สร้างแผนที่เวกเตอร์ของสิ่งกีดขวางรอบตัวหุ่นยนต์ และเลือกทิศทางที่มีโอกาสชนต่ำที่สุดเพื่อกำหนดมุมเลี้ยวที่เหมาะสม[14] หรืออาจใช้ร่วมกับเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เช่น การเรียนรู้เชิงลึกหรือฟัซซี่ลอจิก[13]

ในส่วนของโปรแกรม Arduino IDE นั้น แพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open-source) ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยให้เราสามารถสร้างโปรเจกต์อิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายขึ้น ถือเป็นอีกหนึ่ง

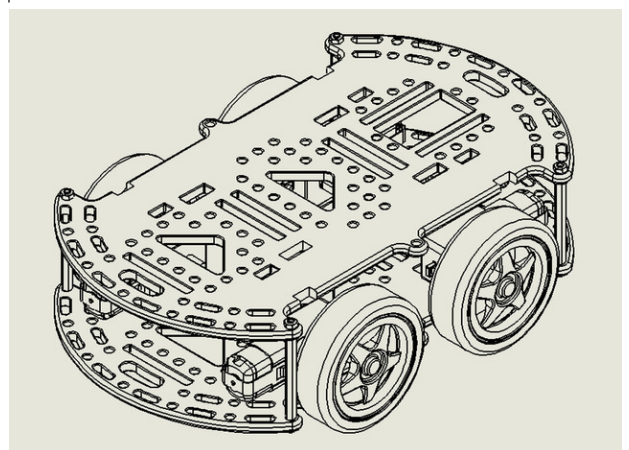
องค์ประกอบที่สะท้อนการนำแนวคิดด้านการควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในระบบฝังตัว (embedded control system) อย่างเป็นรูปธรรม Arduino IDE ทำหน้าที่เป็นแพลตฟอร์มสำหรับเขียนและอัปโหลดโปรแกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ซึ่งเป็นตัวกลางในการควบคุมเซนเซอร์รับข้อมูลและส่งสัญญาณควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ในเชิงทฤษฎี การนำสมการ PID มาใช้ในระบบควบคุมที่มีเวลาต่อเนื่อง (continuous-time) จะต้องมีการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับการทำงานแบบเวลาจริง (real-time) ของโปรแกรม Arduino ซึ่งจัดเป็นระบบเวลาคู่ (discrete-time system) โดยมีการแทนค่าการอินทิกรัลและอนุพันธ์ในรูปแบบอนุกรมเวลา เพื่อให้สามารถประมวลผลได้ในแต่ละรอบของฟังก์ชันควบคุม โดยเฉพาะในกระบวนการควบคุมมอเตอร์ผ่านสัญญาณ PWM ซึ่งใช้ค่าควบคุมที่ได้จาก PID เป็นฐานในการปรับความเร็วและทิศทางของล้อหุ่นยนต์อย่างแม่นยำ

3.วิธีดำเนินงาน

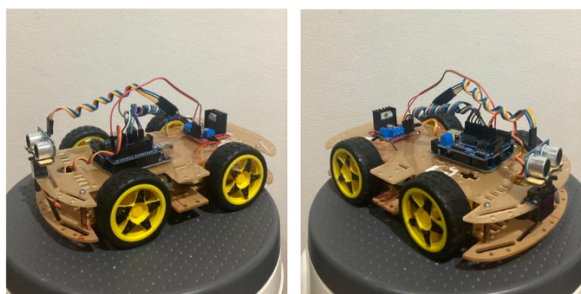
การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยการออกแบบเชิงระบบ การเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสม การเขียนโปรแกรมควบคุมแบบเวลาจริง และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้หลักการควบคุมอัตโนมัติแบบ PID (Proportional-Integral-Derivative Control) ซึ่งมีความสามารถในการปรับพฤติกรรมของหุ่นยนต์ตามสภาพแวดล้อมอย่างยืดหยุ่นและแม่นยำ

3.1การออกแบบและประกอบโครงสร้าง

ระบบหุ่นยนต์พื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชุดโครงรถ 4 ล้อ (4WD Smart Robot Car Chassis) ซึ่งมีความแข็งแรง น้ำหนักเบา และสามารถติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมได้สะดวก ตัวหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบ DC ขนาดเล็กจำนวน 4 ตัวที่ติดตั้งพร้อมชุดเฟืองลดรอบ เพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้แม่นยำขึ้น



รูปที่ 1 โมเดลสามมิติชุดโครงรถ 4 ล้อ



รูปที่ 2 ชุดโครงรถ 4 ล้อ (4WD Smart Robot Car Chassis) ที่ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์แล้ว

บนตัวโครงรถ มีการติดตั้งเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง โดยเซ็นเซอร์ดังกล่าวติดตั้งบนเซอร์โวมอเตอร์ SG90 เพื่อให้สามารถหมุนตรวจจับได้หลายทิศทาง เพิ่มขอบเขตการรับรู้ของหุ่นยนต์ การควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์และมอเตอร์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino UNO R3 ผ่าน Sensor Shield V5.0 ซึ่งช่วยให้การจัดการสายสัญญาณเป็นระเบียบ และง่ายต่อการบำรุงรักษา

3.2 ระบบควบคุมและการเขียนโปรแกรม

ระบบควบคุมของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้อาศัยการประมวลผลแบบฝังตัวผ่านบอร์ด Arduino UNO R3 ซึ่งเป็นแกนกลางในการควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ มอเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวหุ่นยนต์ โดยใช้ภาษา C++ ผ่านแพลตฟอร์ม Arduino IDE เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุมแบบวนซ้ำ (loop-based control) ที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมแบบเวลาจริง

โปรแกรมควบคุมที่พัฒนาขึ้นมีหน้าที่ตรวจจับระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางผ่านเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 ซึ่งติดตั้งบนเซอร์โวมอเตอร์ SG90 เพื่อให้สามารถหมุนสำรวจพื้นที่ด้านหน้าได้ครอบคลุมหลายทิศทาง ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับจะถูกประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าระยะปลอดภัยที่กำหนดไว้ เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งเป้าหมาย

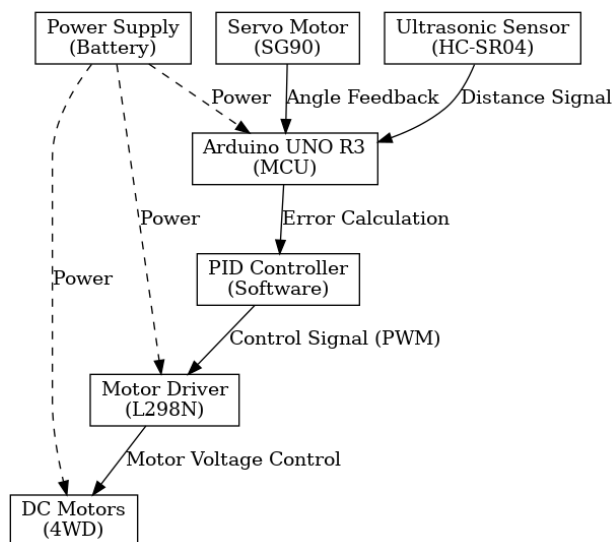
ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในสมการควบคุม PID เพื่อคำนวณสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม โดยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้แก่ ค่าสัดส่วน K_p , K_i และ K_d ได้รับการปรับจูนด้วยวิธีทดลองซ้ำหลายรอบ (trial-and-error) เพื่อให้ระบบตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

และลดพฤติกรรมที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การแกว่งของล้อ (oscillation) หรือการเคลื่อนที่ผิดทิศทาง

ค่าที่ได้จากสมการ PID ถูกนำไปควบคุมความเร็วของล้อซ้ายและขวา โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ L298N ซึ่งสามารถรับสัญญาณ PWM จาก Arduino เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์แต่ละตัวอย่างแม่นยำ หุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางโดยการเพิ่มหรือลดความเร็วสัมพัทธ์ของล้อทั้งสองด้าน ทำให้สามารถเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย

หลังจากการเขียนโปรแกรมและปรับจูนพารามิเตอร์แล้ว ได้มีการทดสอบระบบในสถานการณ์จริง โดยกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในพื้นที่ที่จัดวางสิ่งกีดขวางหลายลักษณะ เช่น กล่อง ท่อ และวัสดุผิวมัน เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจจับและหลบหลีกในแต่ละกรณี ทดสอบในสภาพแสงปกติและพื้นที่เรียบ เพื่อควบคุมตัวแปรภายนอกให้ได้ผลการทดสอบที่ชัดเจน ผลการทดสอบถูกบันทึกทั้งในรูปแบบการสังเกต (observation) และการจับเวลาการตอบสนอง รวมถึงวัดความแม่นยำในการหลบหลีก

เมื่อนำทุกอย่างทั้งโครงสร้างและระบบควบคุม มาเขียนแผนภาพบล็อก (Block Diagrams) ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นโครงสร้างและลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบหลักถึงสิ่งกีดขวางอัตโนมัติ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้บอร์ดควบคุม Arduino UNO R3 และเขียนโปรแกรมด้วย Arduino Software (IDE) โดยระบบนี้อาศัยกลไกการควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID Controller) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมทิศทางของการเคลื่อนที่



รูปที่ 3 แผนภาพบล็อกชุดโครงรถ 4 ล้อ

4. ผลการทดลอง

การทดสอบระบบหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของหุ่นยนต์ในด้านการตรวจจับสิ่งกีดขวาง การตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง และเสถียรภาพของระบบควบคุมแบบ PID ที่ฝังอยู่ในหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์

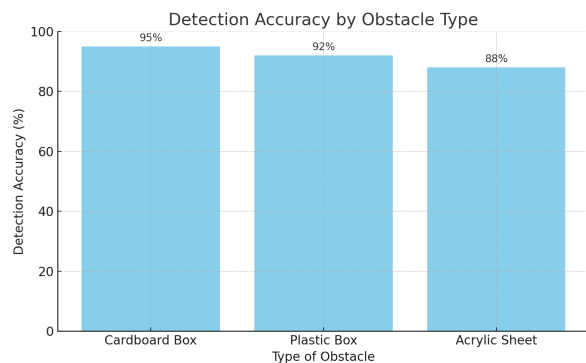
พื้นที่ทดสอบถูกกำหนดขนาดไว้ที่ 2×3 เมตร ภายในห้องปฏิบัติการซึ่งมีพื้นเรียบและแสงสว่างคงที่ เพื่อควบคุมตัวแปรแวดล้อมภายนอกให้มีผลต่อระบบน้อยที่สุด สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย 3 ประเภท ได้แก่

- 1.กล่องกระดาษลูกฟูก – พื้นผิวด้าน ดุดับคลื่นเสียงบางส่วน
- 2.กล่องพลาสติกแข็ง – พื้นผิวกึ่งมัน มีการสะท้อนเสียงปานกลาง
- 3.แผ่นอะคริลิก – พื้นผิวเรียบมัน สะท้อนเสียงสูง

ตำแหน่งของสิ่งกีดขวางถูกจัดวางแบบสุ่มในแต่ละรอบการทดสอบ โดยหุ่นยนต์จะเริ่มต้นจากจุดกำหนด และเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติไปตามเส้นทาง พร้อมตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ระยะไม่เกิน 20 เซนติเมตร และตัดสินใจเลี้ยวหลบตามตรรกะควบคุมที่กำหนดไว้

4.1 ผลการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ระบบสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าความแม่นยำในการตรวจจับจำแนกตามประเภทสิ่งกีดขวาง แสดงไว้ใน รูปที่ 2



รูปที่ 3 ค่าความแม่นยำในการตรวจจับจำแนกตามประเภทสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าหุ่นยนต์มีความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเจอกล่องกระดาษ (95%) รองลงมาคือกล่องพลาสติก (92%) ส่วนแผ่นอะคริลิกให้ค่าความแม่นยำต่ำสุดที่ 88% ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นเสียงของวัตถุแต่ละประเภท เมื่อหุ่นยนต์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง ระบบควบคุม PID จะทำหน้าที่คำนวณสัญญาณควบคุมและส่งคำสั่งให้ล้อซ้าย-ขวาปรับความเร็วในทิศทางที่เหมาะสม โดยไม่เกิดอาการสั่นหรือแกว่งเกินควร หุ่นยนต์สามารถตอบสนองและเปลี่ยนทิศทางภายในเวลาประมาณ 1.1–1.4 วินาที ดังตารางที่ 1 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบควบคุมแบบเรียลไทม์ที่ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ระดับพื้นฐาน

ตารางที่ 1 ค่าความแม่นยำในการตรวจจับจำแนกตามประเภทสิ่งกีดขวาง

ประเภทสิ่งกีดขวาง	ความแม่นยำในการตรวจจับ (%)	เวลาในการตอบสนองเฉลี่ย (วินาที)	ค่าความผิดพลาด (%)
กล่องกระดาษ	95	1.1	0.7
กล่องพลาสติก	92	1.2	1.3
แผ่นอะคริลิก	88	1.4	3.2

5.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกและระบบควบคุมแบบ PID

5.1สรุปผลการทดลอง

หุ่นยนต์สามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ในระยะไม่เกิน 20 เซนติเมตรได้อย่างแม่นยำ และสามารถตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางโดยการเปลี่ยนทิศทางได้อย่างเหมาะสม โดยมีความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 88–95% ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสิ่งกีดขวางที่ตรวจจับ

ระบบ PID ที่นำมาใช้สามารถลดพฤติกรรมการสั่นของหุ่นยนต์ขณะเลี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถปรับความเร็วล้อซ้ายและขวาให้สัมพันธ์กับค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างระยะทางที่ตรวจจับและระยะปลอดภัย ทำให้การหลบหลีกมีความนุ่มนวล ไม่เกิดการหยุดชะงักโดยไม่จำเป็น ทั้งยังสามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ภายในเวลาเฉลี่ยประมาณ 1.1–1.4 วินาที ซึ่งถือว่าเหมาะสมกับระบบควบคุมแบบเวลาจริงบนฮาร์ดแวร์ที่มีทรัพยากรจำกัด

หุ่นยนต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างเสถียรในพื้นที่ทดลองขนาด 2×3 เมตร โดยไม่มีการชนสิ่งกีดขวางระหว่างการทดสอบในสถานการณ์ควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริง เช่น งานบริการในร่ม งานสำรวจพื้นที่แคบ หรือระบบนำทางอัตโนมัติในระดับต้นแบบ

5.2ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าระบบที่พัฒนาจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมควบคุม แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาสำหรับการพัฒนาในอนาคต ได้แก่

1. ข้อจำกัดด้านการตรวจจับเซนเซอร์อัลตราโซนิกมีข้อจำกัดในการตรวจจับพื้นผิวมันหรือโค้ง ซึ่งอาจทำให้การสะท้อนของคลื่นเสียงผิดพลาด ส่งผลให้การอ่านค่าระยะทางไม่แม่นยำ ควรพิจารณาเสริมด้วยเซนเซอร์ประเภทอื่น เช่น อินฟราเรดหรือ LiDAR เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับ
2. การขยายพื้นที่ทดสอบควรมีการทดลองในพื้นที่ที่กว้างขึ้น หรือมีสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหวได้ เพื่อประเมินความสามารถของระบบในสถานการณ์จริงที่มีความซับซ้อนมากขึ้น
3. การเพิ่มการประมวลผลเชิงตรรกะ เช่น Fuzzy Logic หรือ Neural Network อาจช่วยให้หุ่นยนต์สามารถตัดสินใจได้ยืดหยุ่นขึ้น และตอบสนองต่อสถานการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้
4. ในการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม อาจพิจารณาใช้หน่วยประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ESP32 หรือ Raspberry Pi เพื่อเพิ่มความเร็วในการตอบสนอง และรองรับการทำงานแบบหลายเซนเซอร์พร้อมกัน

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdu I. A., Abdulkadir S. B., Amina I., Muhammad A. B., 2023, "The Several uses for Obstacle-Avoidance Robots.", Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences, ISSN: 2583-2727 (Online), Volume 03 Issue 03 2023.
- [2] Abdulkadir S. B., Muhammad A. F., Amina I., Mukhtar I. B., Muhammad A. B., 2023, "Elements needed to implement the Obstacle-Avoidance Robots", Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences, ISSN: 2583-2727 (Online), Volume 03 Issue 03 2023.
- [3] Isa A. I., Muhammad A. B., "The DC Motor Advantages: Key Benefits and Improvements over AC Motors.", Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences., ISSN: 2583-2727 (Online), Volume 04 Issue 05 2024.
- [4] Kyriaki A. Tychola *, Ioannis Tsimperidis , George A. Papakostas * 2022, "On 3D Reconstruction Using RGB-D Cameras.", MDPI Digital 2022, vol. 2, Page 401–423.
- [5] Magda S., Marcin O., Krystian S., Maciej N., Damian K., Marcin P. and Andrzej P., 2021, "Obstacle Detection System for Agricultural Mobile Robot Application Using RGB-D Cameras.", MDPI Sensors 2021, vol. 21, Page 5292-5310.
- [6] Muhammad A. B., Mukhtar I. B., Shehu H. A., Umar F. M., 2023, Obstacle Avoidance Robot using an ultrasonic Sensor with Arduino Uno, Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences, ISSN: 2583-2727 (Online) Volume 03 Issue 05 2023.
- [7] Seyyed Mohammad H. R., Arun K. S., Jin Wang and Xiaozhu Liu 2019, "Obstacle avoidance of mobile robots using modified artificial potential field algorithm.", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2019.
- [8] Rahmot U., Kazi W., Md. Mahbub A. R., Md. Sazzadul, Islam S. and Suhel A., "INTELLIGENT MAZE-SOLVING ROBOT EQUIPPED WITH ADVANCED OBSTACLE DETECTION TECHNOLOGY" World Journal of Engineering Research and Technology (WJERT) 2025, Vol.11 Issue 2, Page 13-25.
- [9] VanQuang, N., Heungsuk, K., SeoChang, J., Boo K., 2018, "A Study on Real-Time Detection Method of Lane and Vehicle for Lane Change Assistant System Using Vision System on Highway.", Eng. Sci. Technol. Int. J. 2018, Page 822–833.
- [10] XINYU G. AND ZHONGYI W., 2018 "Review of Wheeled Mobile Robots Navigation Problems and Application Prospects in Agriculture", Published in IEEE Access Volume 6, Electronic ISSN: 2169-3536, Page 49248 - 49268.
- [11] Yan P., Dong Q., Yuxuan Z., Shaorong X., Jun L., Jason G., 2015, "The Obstacle Detection and Obstacle Avoidance Algorithm Based on 2-D Lidar", Proceeding of the 2015 IEEE International Conference on Information and Automation Lijiang, China, August 2015, Page 1648-1653.
- [12] Åström, K. J., & Murray, R. M. (2010). Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers (2nd ed.). Princeton University Press.
- [13] Sousa, L. C. et al. (2025). Obstacle Avoidance Technique for Mobile Robots at Autonomous Human-Robot Collaborative Warehouse Environments. Sensors, 25(8), 2387.
- [14] Borenstein, J., & Koren, Y. (1991). The Vector Field Histogram—Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 7(3), 278–288.