http://journal.rmutp.ac.th/

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยการใช้กล้องระบุตำแหน่ง

นภัสดล สิงหะตา*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

รับบทความ 12 กรกฎาคม 2564 แก้ไขบทความ 17 มีนาคม 2565 ตอบรับบทความ 20 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการระบุตำแหน่ง ซึ่งเป็นวิธีที่เชื่อถือได้ในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์โดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งสามารถปรับปรุงการหลีกเลี่ยงการชนของสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงและวัดระยะ (LiDAR) สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ หุ่นยนต์พิจารณาห้าประการ ประการแรก เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการเลี้ยวเมื่อหุ่นยนต์ต้องการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ได้มีการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยให้หุ่นยนต์สามารถเปลี่ยนทิศทางโดยไม่ต้องตีวงเลี้ยวการเคลื่อนที่ ประการที่สอง มีการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแสงและวัดระยะในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ด้านหน้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้ ประการที่สาม เสนอให้มีการวางแผนเส้นทางโดยใช้อัลกอริธึมในการเดินทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางจากท่าเริ่มต้นไปยังปลายทางในสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จักได้ ประการที่สี่ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ระบบสามารถประมวลผลแบบทันที โดยใช้การสื่อสารแบบไร้สายมีความยืดหยุ่นหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระมากกว่าใช้สาย สุดท้ายการปรับปรุงที่เป็นไปได้คือการเพิ่มกล้องมากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งจะสามารถครอบคลุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยต์ได้กว้างมากขึ้น

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ; ระบุตำแหน่ง; หุ่นยนต์เคลื่อนที่

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: : +669 5424 6615, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: napassadol.s@mail.rmutk.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Automatic Mobile Robot Indoor with Position Identification by Vision System

Napassadol Singhata*

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
2 Nang Linchi Rd., Thung Maha Mek, Bangkok 10120

Received 12 July 2021; Revised 17 March 2022; Accepted 20 April 2022

Abstract

This paper presents position identification, a reliable way to identify the current location of the robot using image processing, which can effectively improve the avoid collisions of obstruction with a Light Detection And Ranging (LiDAR) sensor for an autonomous mobile robot. In order to further improve positioning accuracy. The robot under consideration has five functions. Firstly, to overcome the insufficient accuracy of posture when a robot turns, a mobile robot integrated scheme has been investigated for the mobile robots with omni-wheels which can make fixed point turning, so that the robot position remains fixed in the process of changing the direction of motion. Secondly, an additional sensor has been used to detect the object in front of the mobile robot to improve the system that will have the ability to move obstacle avoidance. Thirdly, an algorithm is proposed to feasibly plan the travelling path and avoid obstructing from its initial posture to the destination in an unknown environment. Fourthly, in order to improve the real time performance, a wireless network is more flexible than a cable that allows mobile robots to move freely without any failure. Finally, a possible improvement is to additionally more than one camera, which usually covers a larger area around the robot.

Keywords : Image Processing, Position Identification, Mobile Robot

*** Corresponding Author. Tel.: +669 5424 6615, E-mail Address: napassadol.s@mail.rmutk.ac.th***

1. บทนำ

ระบบการนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (AMR) มีปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ 1) หุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งและท่าทางของตนเองจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทางที่ต้องการ [1] 2) อัลกอริธึมที่ใช้ในการวางแผนให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังจุดหมาย 3) อุปสรรคสิ่งกีดขวางทางเดินของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติจำเป็นต้องระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตลอดเส้นทางและรายงานสถานะการณ์สิ่งแวดล้อมในขณะที่เดินทางได้จึงจะสามารถถึงจุดหมายได้อย่างปลอดภัย [2] การสร้างแผนที่จำลองเพื่อให้หุ่นยนต์ทราบตำแหน่งที่ตนเองและสิ่งกีดขวาง อยู่ในขณะเดินทาง จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะสามารถทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการแม้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่คงที่ได้ [3] การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่อัตโนมัติไปยังปลายทางจำเป็นต้องออกแบบวิถีการเดินและทราบท่าทางของหุ่นยนต์ในขณะนั้น ข้อจำกัดเรื่องเวลาและอุปสรรคเส้นทางโดยรอบที่ไม่สามารถคาดเดาได้เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดและถึงจุดหมายได้อย่างปลอดภัย หุ่นยนต์ควรสามารถรับรู้เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นการพัฒนาอัลกอริธึมเพื่อวางแผนเส้นทางการเดินทางของหุ่นยนต์ จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ [4] โดยตัวแปรทั้งหมดที่ต้องส่งไปให้หุ่นยนต์เป็นข้อมูลสำคัญที่หุ่นยนต์ต้องรับทราบพร้อมกัน [5] โดยเซนเซอร์จะทำหน้าที่ตรวจสอบและส่งข้อมูลที่หุ่นยนต์ต้องการทราบเพื่อนำไปประมวลผล และควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงาน การเลือกใช้เซนเซอร์จึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงและเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน [6] ในระบบนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเซ็นเซอร์ภาพมีข้อดีได้แก่ น้ำหนักเบา ใช้พลังงานต่ำ และต้นทุนต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถให้คุณสมบัติและข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมมากมาย [7] ในการสร้างระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติต้องทราบสถานการณ์บรรยากาศรอบๆ ที่เปลี่ยนไปตลอดเวลา [8] การประมวลผลภาพสามารถทราบข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยใช้เซนเซอร์เพียงตัวเดียว โดยผู้สร้างสามารถใช้หลักการประมวลผลภาพประมวลผลเป็นข้อมูลต่างๆสามารถนำภาพไปพัฒนาประมวลผลได้อย่างหลากหลายตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน นอกจากนี้หุ่นยนต์ต้องสามารถระบุสิ่งกีดขวางบริเวณหุ่นยนต์สัญจรโดยเซ็นเซอร์จำเป็นต้องมีความความละเอียดและมีความแม่นยำสูง [9] บอกระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์และอุปสรรคที่ขวางทางเดิน ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการใช้กล้องเว็บแคมราคาถูกเพื่อเป็นเซ็นเซอร์ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์สำหรับเคลื่อนที่ภายในอาคาร ติดไว้บริเวณมุมสูงนอกตัวหุ่นยนต์และส่งสัญญาณ ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางจากการตรวจสอบด้วย LiDAR เนื่องจากระบุสิ่งกีดขวางโดยรูปร่างลักษณะไม่ได้เป็นข้อจำกัดในการตรวจสอบ เซนต์เซอร์สามารถบอกระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์และอุปสรรคได้อย่างแม่นยำ หลักการการทำงานของระบบกล้องมุมสูงใช้หลักประมวลผลภาพ วิเคราะห์ตำแหน่งหุ่นยนต์ในทันที โดยสามารถใช้กล้องเว็บแคมราคาถูก มาประมวลผลภายนอกตัวหุ่นยนต์ และส่งสัญญาณผ่านระบบไร้สายด้วย Wi-Fi ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นสมองส่วนกลางในตัวหุ่นยนต์ได้รับทราบ ทำให้ลดการใช้งานทรัพยากรหน่วยประมวลผลกลางของไมโครคอนโทรลเลอร์ และการประมวลผลภาพสามารถบอกระบุตำแหน่งได้รวดเร็ว เพื่อนำภาพที่ได้ ไปวิเคราะห์ตำแหน่งของหุ่นยนต์ตลอดการเดินทาง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเคลื่อนที่บนผิวเรียบ โครงสร้างของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. ระบบประมวลผลภาพระบบถูกยึดอยู่กับที่เพื่อทำการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ 2. ระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จะเป็นส่วนของหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายปลายทางที่กำหนดได้ภายในระบบจะมีอุปกรณ์ และหน้าที่ ดังนี้

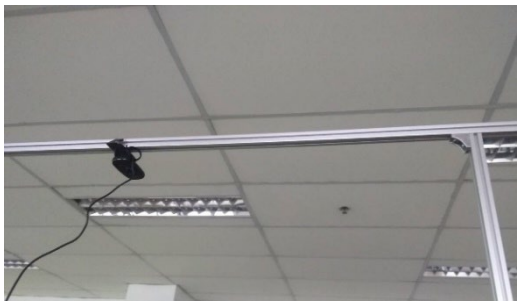
2.1 ระบบประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพโดยจะใช้กล้องถ่ายภาพจากมุมสูง พื้นที่ที่กล้องมองเห็น จะถูกถ่ายออกมาเป็นรูปภาพโดยระบุขอบเขต และขนาดพื้นที่เป็นข้อมูลพิกเซล เพื่อกำหนดตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์เป็นค่าพิกัด 2 มิติ อุปกรณ์ของระบบประมวลผลภาพจะประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1.กล้องเว็บแคม 2.ฐานกล้อง และ 3.คอมพิวเตอร์ โดยกล้องเว็บแคม LOGITECH HD C525 1600x890 RGB24 จำนวนเฟรม 30 fps มีหน้าที่บันทึกภาพการเคลื่อนที่ของรถ และนำภาพส่งไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถ โดยกล้องจะถูกติดตั้งไว้ด้านบนที่มีความสูง 1.8 เมตร ความสูงจะมีผลต่อความละเอียดขนาดพิกเซลของภาพ ระบบจะสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ให้อยู่บริเวณตำแหน่งที่กำหนดไม่เกิน 10 เซนติเมตร โดยติดกล้องไว้ ดังรูปที่ 1 เพื่อมองเห็นสภาพแวดล้อมโดยรอบที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยกล้อง 1 ตัว จะครอบคลุมพื้นที่ขนาด 216x122 เซนติเมตร

ในการประมวลผลภาพ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ควรมีเอกลักษณ์เฉพาะเพื่อให้สามารถแยกออกจากสภาพแวดล้อมได้โดย หุ่นยนต์มีพื้นหลังคาสีดำที่มีขนาด 15x30 เซนติเมตร ติดไว้ด้านบนตัวรถ ดังรูปที่ 2

2.2 การระบุพิกัดหุ่นยนต์

เพื่อให้ทราบตำแหน่งของตนเองในระหว่างการเคลื่อนที่ การระบุตำแหน่งเป็นงานที่สำคัญสำหรับการนำทางด้วยหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยระบบอัตโนมัติในสภาพแวดล้อมที่ไม่รู้จัก [11] การใช้ภาพเพื่อทำหน้าที่ให้ข้อมูลสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น [12] ในสภาวะแสงที่เหมาะสมระบบสามารถรับรู้ข้อมูลภาพต่อเนื่องในสภาพแวดล้อมเพื่อระบุตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ [13] การทำงานของระบบการประมวลผล



รูปที่ 1 กล้องระบุตำแหน่ง

รูปที่ 2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่

ภาพ จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลจากภาพวิเคราะห์ระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ โดยระบบจะมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้อินพุต : กล้องเว็บแคมจะเชื่อมต่อส่งข้อมูลภาพที่ถ่ายได้เข้าคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB เพื่อทำการประมวลผลภาพถ่ายของหุ่นยนต์และระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การประมวลผลภาพจะใช้โปรแกรม LabVIEW

หน่วยประมวลผลกลาง : คอมพิวเตอร์จะรับภาพจากกล้องเว็บแคมและจะทำการประมวลผลภาพเพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ในภาพโดยขั้นตอนการประมวลผลภาพจะมี 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ปรับความสว่างของภาพให้เหมาะสมตามสภาพแสงบริเวณโดยรอบโดยปรับค่า ความสว่าง ความคมชัด และแกมมา (Gamma) เพื่อให้ภาพมองเห็นหุ่นยนต์ได้คมชัดขึ้น
2. Threshold ปรับสภาพสีชิ้นงานแยกหุ่นยนต์ออกจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยปรับขอบเขตค่าระบบสีของแสง

(RGB R: min, max: 0-255, G: min, max: 0-255, B: min, max: 0 – 122) ให้มีขนาด 32 บิต หลังจากนั้นปรับภาพให้มีขนาด 2 บิต เพื่อปรับภาพให้อยู่โทนสีขาวดำ

3. กำจัดสิ่งรบกวนขนาดเล็กที่ยังเหลือออกจากชิ้นงาน

4. ทำการระบุชิ้นงานโดยนำภาพต้นแบบมาเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากกล้อง โดยทำการเปรียบเทียบค่าความคล้ายกันของภาพต้นแบบและภาพจากที่กล้องถ่ายได้ โดยอ้างอิงรูปทรง สีและขนาดของชิ้นงาน แสดงจำนวนชิ้นงานและประมวลผลระบุพิกัดเป็นตำแหน่ง 2 มิติ (X,Y) หุ่นยนต์เพื่อนำค่าระบุตำแหน่งไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยส่งข้อมูลไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

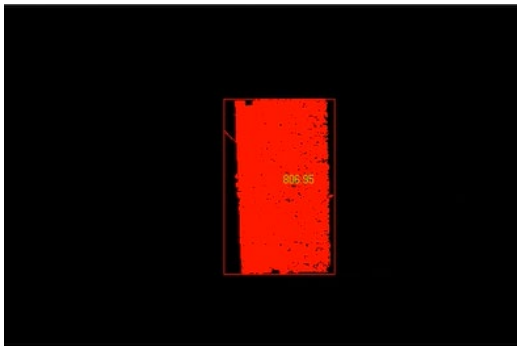
5.การแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงรอบรูปวัตถุที่จับได้ และแสดงค่าและระบุค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของชิ้นงานในรูปตัวเลขพิกเซล แสดงดังรูปที่ 3

เอาท์พุต : การแสดงผลระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ได้จากการประมวลผลภาพจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เป็นตัวประมวลผลกลางของระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และผู้ใช้งานจะสามารถสังเกตเห็นพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านจอมอนิเตอร์ในคอมพิวเตอร์แบบประมวลผลให้ทราบทันที เมื่อต้องการเริ่มต้นหรือหยุดการทำงานของหุ่นยนต์สามารถสั่งผ่านโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์ได้

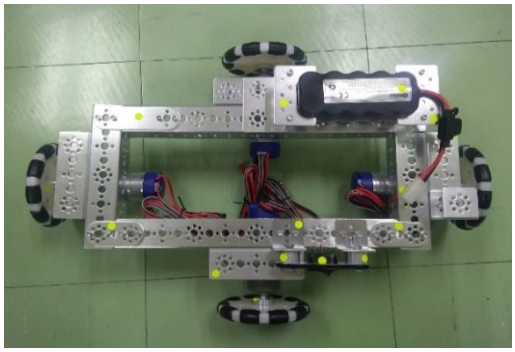
2.3 ระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การออกแบบโครงหุ่นยนต์ที่ต้องคำนึงถึง ท่าทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตลอดการเดินทาง การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่โดยการเลี้ยวอาจทำให้ทิศทางการควบคุมหุ่นยนต์เปลี่ยนไปจากเดิม ล้อที่มีลักษณะพิเศษสามารถทำให้หุ่นยนต์เปลี่ยนทิศทางได้อย่างราบรื่นจากการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและทำการเปลี่ยนทิศทางเป็นด้านซ้ายหรือขวาได้อิสระ โดยไม่ต้องทำการเลี้ยว การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังกล่าวจะทำให้หุ่นยนต์สามารถเปลี่ยนทิศทางโดยมีตำแหน่งคงที่ ลดปัญหาการทำการเลี้ยวบริเวณหัวมุม ซึ่งอาจจะมีพื้นที่จำกัดไม่สามารถให้ตีวงในการเลี้ยวหุ่นยนต์ได้ ทำให้ทิศในการควบคุมไม่เปลี่ยน และเป็นข้อได้เปรียบมากกว่าการเลี้ยวเพราะการเลี้ยวจะทำให้เสียเวลา และทำให้ตำแหน่งก่อนการเลี้ยวและหลังการเลี้ยวของหุ่นยนต์คลาดเคลื่อนไปจากเดิม โดยโครงสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ประกอบด้วยโครงแผ่นอลูมิเนียมมีความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 32x48x18 เซนติเมตร

การขับเคลื่อนของหุ่นยนต์โดยใช้แบตเตอร์รี่ 12 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับอุปกรณ์ดังนี้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ TF02-Pro LiDAR บอร์ดขับมอเตอร์ และมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะมีทั้งหมด 4 ตัว แต่ละตัวจะเชื่อมติดกับ ล้อของหุ่นยนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร



รูปที่ 3 การประมวลผลภาพ



รูปที่ 4 โครงหุ่นยนต์

2.4 การทำงานในระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ เป็นหุ่นยนต์ที่รับสัญญาณจากเซนเซอร์ เพื่อตรวจรู้สภาพแวดล้อมในรูปแบบต่างๆ และนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์สร้างเงื่อนไขในการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ หน่วยรับข้อมูลเข้า (Input Unit) หน่วยประมวลผล (Process Unit) และหน่วยแสดงผล (Output Unit) และหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปตามเป้าหมาย จำเป็นต้องตรวจสอบตำแหน่งเพื่อระบุพิกัดของหุ่นยนต์ขณะเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆและหุ่นยนต์รับข้อมูลจากระบบประมวลผลภาพ และทราบตำแหน่งของตนเองตลอดเส้นทางเคลื่อนที่จนถึงเป้าหมายที่กำหนด

2.4.1 หน่วยรับข้อมูล

หน่วยรับข้อมูลของระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรวจสอบสภาพแวดล้อมเพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมระบบ หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะได้รับสัญญาณจาก ระบบและอุปกรณ์ดังนี้ 1.ระบบประมวลผลภาพ 2.เซนเซอร์ไลด้า

2.4.1.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

จำเป็นอย่างยิ่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะต้องสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง การตรวจจับและหลบหลีกอุปสรรคเป็นปัญหาที่สำคัญและท้าทายที่ต้องพิจารณาในระบบการนำทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างปลอดภัย มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาการหลบหลีกสิ่งกีดขวางเซนเซอร์ไลด้าสามารถบอกระยะห่างระหว่างวัตถุที่อยู่หน้าบริเวณด้านหน้าเซนเซอร์โดยปล่อยคลื่นใกล้เคียงรังสีอินฟราเรดเพื่อตรวจสอบวัตถุที่กีดขว้างในบริเวณที่ทำการตรวจสอบเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ กำหนดระยะในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางกับระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์เมื่อเซนเซอร์ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่มีระยะห่างน้อยกว่า 10 เซนติเมตร ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เปลี่ยนทิศจากการเคลื่อนตัวไปด้านหน้าเป็นสไลด์ด้านข้างแทน

2.4.2 หน่วยประมวลผล

การวางแผนเส้นทางสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะดำเนินการเพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปลายทาง ด้วยอัลกอริธึมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในรูปแบบต่างกัน อัลกอริธึมการเคลื่อนที่จะทำการวางแผนเส้นทางเพื่อกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับหุ่นยนต์มุ่งสู่เป้าหมายอย่างปลอดภัย ข้อมูลตัวแปรสถานะอินพุตทำหน้าที่กำหนดค่าปัจจุบันของตัวแปรสถานะ (ตำแหน่ง ทิศทาง และอื่นๆ) เทียบกับเวลาในขณะนั้น จากนั้นค่าอินพุตเหล่านี้จะถูกส่งไปยังอัลกอริธึมการวางแผนเส้นทางเพื่อให้หุ่นยนต์ ตัดสินใจควบคุมกำหนดท่าทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากจุดเริ่มต้นที่กำหนดไปยังจุดหมายปลายทาง จุดประสงค์หลักของการวางแผนเส้นทางคือเพื่อนำทางหุ่นยนต์ไปสู่เป้าหมายโดยการตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งปลายทาง ตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยจะมีขั้นตอนการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่[14] ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่และตำแหน่งปลายทางโดยใช้พารามิเตอร์ดังนี้:

$$[(Xd - Xc), (Yd - Yc)] \leq \pm 100 \quad (1)$$

โดยที่

Xd = ตำแหน่งหปลายทางที่กำหนด ตำแหน่ง X

Xc = ตำแหน่งขณะหุ่นยนต์วิ่งได้จริงตำแหน่ง X

Yd = ตำแหน่งปลายทางที่กำหนด ตำแหน่ง Y

Yc = ตำแหน่งขณะหุ่นยนต์วิ่งได้จริงตำแหน่ง Y

2.4.3 ระบบนำทางหุ่นยนต์

หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายได้ถ้าหุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งของตนเอง รู้สภาพแวดล้อมโดยรอบ และระยะจุดหมายปลายทางที่กำหนด ดังนั้นการทำงานของระบบนำทางจำเป็นต้องทราบตำแหน่งในขณะที่หุ่นยนต์คลื่อนที่ (Xc, Yc) ตลอดเส้นทางเดินค่าตำแหน่งปัจจุบัน และตำแหน่งจุดหมายปลายทางของ

หุ่นยนต์ (Xd, Yd) ที่ผู้ใช้งานต้องการให้หุ่นยนต์ไปถึงเป้าหมาย เพื่อสร้างแผนที่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ หลักการออกแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใช้สำหรับนำทางเส้นทางหุ่นยนต์ โดยประกอบด้วย 6 ข้อ ดังนี้

1) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรงไปด้านหน้าในทิศทางแกน X เมื่อเป้าหมายและหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Xd - Xc) มีค่าเป็นบวก

2) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตรงไปด้านหลังในทิศทางแกน -X เมื่อเป้าหมายและหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Xd - Xc) มีค่าเป็นลบ

3) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวแกน X จนกระทั่งระยะห่างระหว่างตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่และตำแหน่งเป้าหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ± 100 พิกเซล จากนั้นหุ่นยนต์จะหยุดการเคลื่อนที่ เพื่อเปลี่ยนทิศทาง

4) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางด้านขวาเมื่อผลของระยะทางในทิศทางแกน Y ระหว่างเป้าหมายและหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Yd - Yc) มีค่าเป็นบวก

5) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายเมื่อผลของระยะทางในทิศทางแกน -Y ระหว่างเป้าหมายและหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Yd - Yc) มีค่าเป็นลบ

6) หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในแนวแกน Y จนกระทั่งระยะห่างระหว่างตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่และตำแหน่งเป้าหมายน้อยกว่าหรือเท่ากับ ± 100 พิกเซล หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะหยุดการเคลื่อนที่

หมายเหตุ: ถ้าหุ่นยนต์เจอสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะทำการหลบสิ่งกีดขวางโดยเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังนี้

1) หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่จากด้านหน้าเป็นด้านขวาเมื่อ (Ym - Yc) มีค่าเป็นบวก

2) หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศจากด้านหน้าเป็นไปด้านซ้าย เมื่อ (Ym - Yc) มีค่าเป็นลบ

Ym = ตำแหน่งค่า Y กึ่งกลางเฟรมกล้อง

เมื่อตรวจไม่พบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศไปด้านหน้าจนกว่าจะถึงจุดที่กำหนด

2.4.4 เอาท์พุต

การค้นหาเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เดินทางจนถึงเป้าหมายอย่างปลอดภัยเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นของการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติการบังคับท่าทางเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องมีความสัมพันธ์โดยตรงที่ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้

ตารางที่ 1 การควบคุมทิศทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

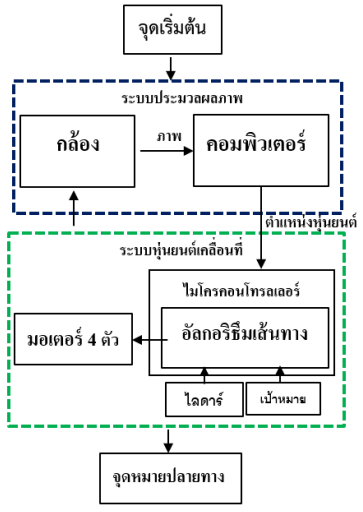
การทำงาน	มอเตอร์			
	หน้า	**หลัง**	**ซ้าย**	**ขวา**
เดินหน้า	Low	Low	High (CW)	High (CW)
ถอยหลัง	Low	Low	High (CCW)	High (CCW)
เดินซ้าย	High (CW)	High (CW)	Low	Low
เดินขวา	High (CCW)	High (CCW)	Low	Low
หยุด	Low	Low	Low	Low

จากตารางที่ 1 การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นฟังก์ชัน บังคับท่าทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ โดยจะควบคุมการหมุนของมอเตอร์ 4 ตัว ที่ติดอยู่กับล้อ เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้ การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ประกอบด้วย 5 ฟังก์ชัน โดย High จะแสดงสถานะที่มอเตอร์ทำงาน Low คือมอเตอร์ไม่หมุน CW คือมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และ CCW มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา การทำงานได้แก่ เคลื่อนที่ไปด้านหน้า ถอยหลัง ด้านซ้าย และขวา และหยุด โดยจะมีการออกแบบควบคุมการหมุนของล้อ 4 ล้อ โดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 30 เซนติเมตรต่อวินาที

2.4.5 การทำงานระหว่างระบบการประมวลผลภาพและระบบหุ่นยนต์

การทำงานระหว่างระบบการประมวลผลภาพ และระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะสื่อสารผ่านระบบสัญญาณWi-Fi

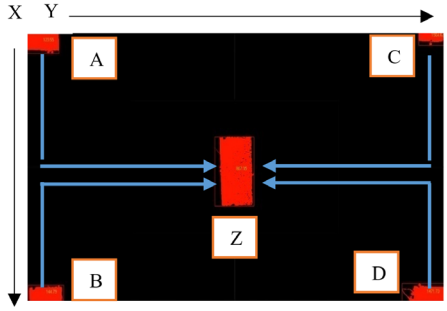
แบบไร้สาย โดยมีการสื่อสารระหว่าง คอมพิวเตอร์ในระบบประมวลผลภาพ และบอร์ดไมโครคอนโทรล เลอร์ใช้เป็นหน่วยประมวลผลสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ 1. หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติอยู่ภายในพื้นที่ที่กล้องสามารถมองเห็น 2.กล้องทำหน้าที่ถ่ายภาพส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลภาพและระบุตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 มิติ (X, Y) หลังจากคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลภาพเพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ 3. ข้อมูลจะถูกส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสัญญาณแบบไร้สาย เพื่อเป็นสัญญาณอินพุตของการออกแบบเส้นทางเดินของหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามระบบเดินทางโดยควบคุมมอเตอร์ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามอัลกอริธึมที่ผู้ใช้งานออกแบบ ในระหว่างการเดินทางของหุ่นยนต์ระบบประมวลผลภาพจะทำการประมวลผลตำแหน่งหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ทราบพิกัดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตลอดเวลา และเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางบริเวณด้านหน้า หุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และเดินทางต่อไปจนกระทั่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถึงเป้าหมายที่กำหนด



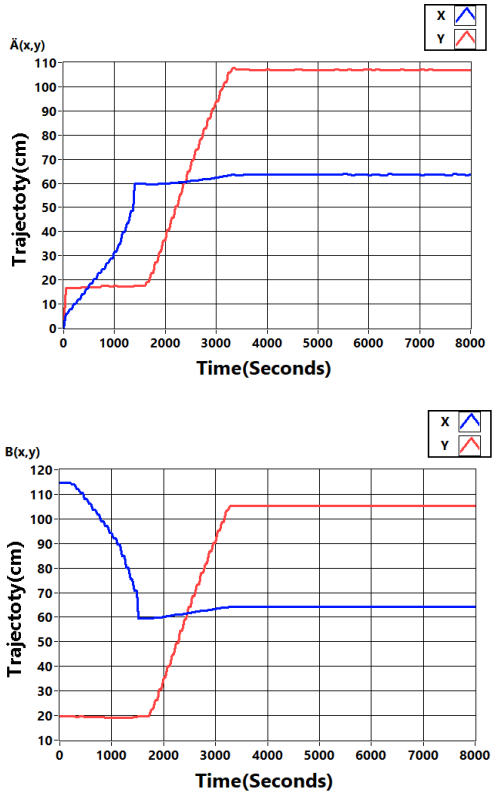
รูปที่ 5 ระบบการทำงาน

3. ผลการทดลอง

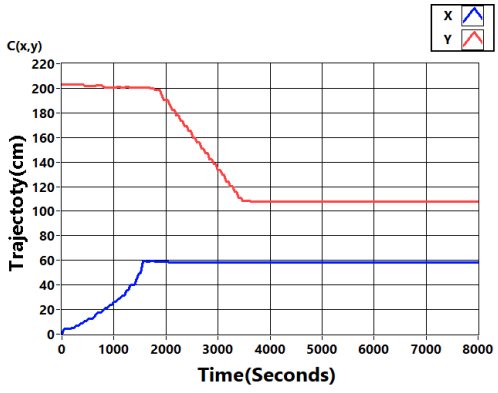
การทดสอบโดยเริ่มจากการระบบประมวลผลภาพ กำหนดจุดเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 4 จุด คือ A(6, 17), B(115, 20), C(4, 203), D(115, 199) โดยมีเป้าหมายให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณกึ่งกลาง Z(60,108) รูปที่ 6 จากการทดสอบ เมื่อนำหุ่นยนต์ไปวางไว้ตำแหน่งหัวมุม ทั้ง 4 ด้าน ระบบประมวลผลภาพสามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ตลอดเส้นทางเดินและส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อบังคับให้หุ่นยนต์วิ่งไปถึงจุดหมายที่กำหนดได้ ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่อให้จุดเริ่มต้นที่แตกต่างกัน แต่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่จุดหมายที่กำหนดได้แสดงดังรูปที่ 7

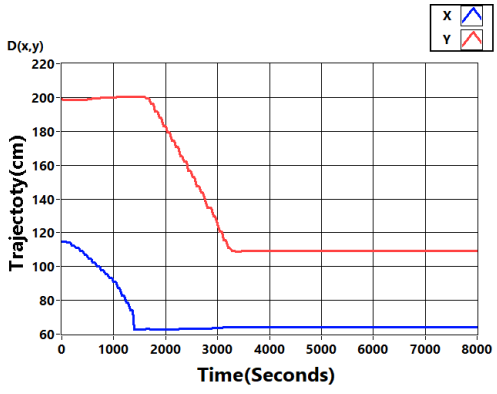


รูปที่ 6 ตำแหน่งการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 1



รูปที่ 7 วิถีการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์การทดลองที่ 1

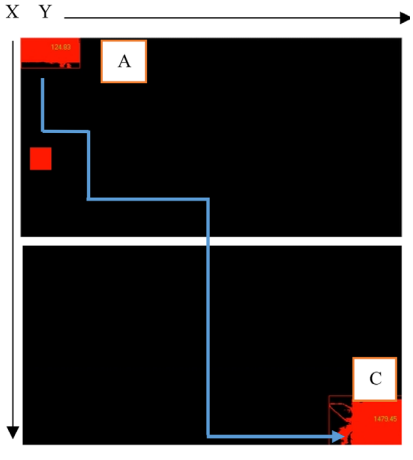




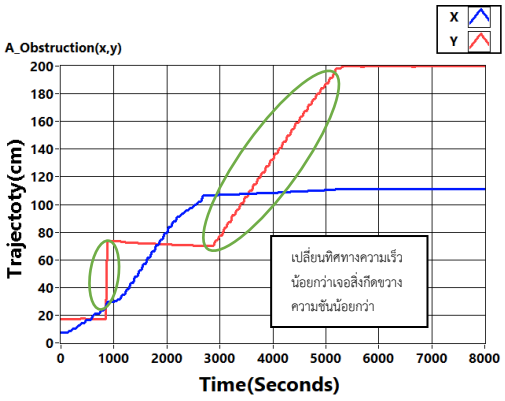
รูปที่ 7 วิถีการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์การทดลองที่ 1 (ต่อ)

3.2. การทดสอบที่ 2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ทดสอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวางกำหนด จุดที่ 1 จุดเริ่มต้นตำแหน่ง A(8, 117) และจุดหมาย C(108, 203) ดังรูปที่ 8



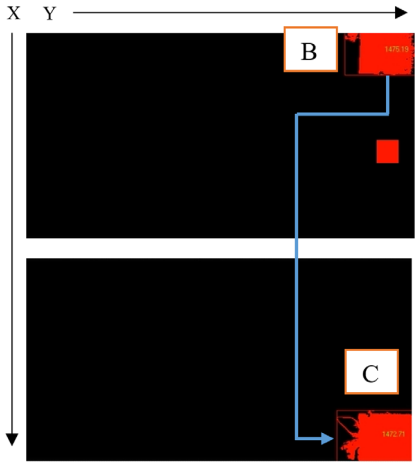
รูปที่ 8 ตำแหน่งการหลบหลีกรูปแบบที่ 1



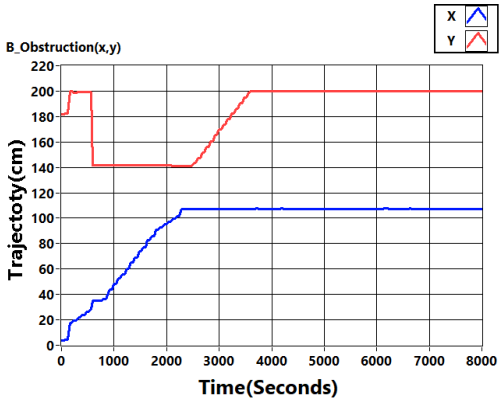
รูปที่ 9 การเคลื่อนที่หลบหลีกรูปแบบที่ 1

การทดสอบครั้งที่ 1 หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ตรงไปด้านหน้าเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางอยู่บริเวณทางเดิน จากรูปที่ 9 ช่วงเวลาประมาณ 1-3 วินาที หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวาง 20x20x20 เซนติเมตร มาทดสอบ กราฟค่า Y จะมีการเปลี่ยนค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม เนื่องจากหุ่นยนต์เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเปลี่ยนทิศเป็นด้านซ้ายมือ เมื่อค่า X อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด หุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ตามเงื่อนไขโปรแกรมการออกแบบ อัลกอลิธึม

จุดที่ 2 จุดเริ่มต้นตำแหน่ง B(12, 200) และจุดหมายตำแหน่ง C(108, 203) ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตำแหน่งการหลบหลีกรูปแบบที่ 2

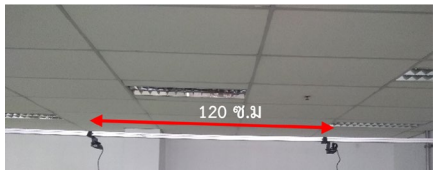


รูปที่ 11 การเคลื่อนที่หลบหลีกรูปแบบที่ 2

การทดสอบครั้งที่ 2 หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ตรงไปด้านหน้าเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางอยู่บริเวณทางเดิน จากรูปที่ 11 ช่วงเวลาประมาณ 500 -2500 มิลลิวินาที หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวาง กราฟ X Y จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าลดลงจากเดิมเนื่องจากหุ่นยนต์เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าเปลี่ยนทิศเป็นด้านขวามือ(ค่าลดลง) เมื่อค่า X อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด หุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ตามเงื่อนไขโปรแกรมการออกแบบ เมื่อสังเกตกราฟค่า Y โดยหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ไปด้านซ้าย(ค่าเพิ่มขึ้น) ช่วงเวลาประมาณ 2500 -3500 มิลลิวินาที เพื่อเคลื่อนตัวไปยังจุดหมายที่กำหนดตามการออกแบบระบบได้อย่างปลอดภัย

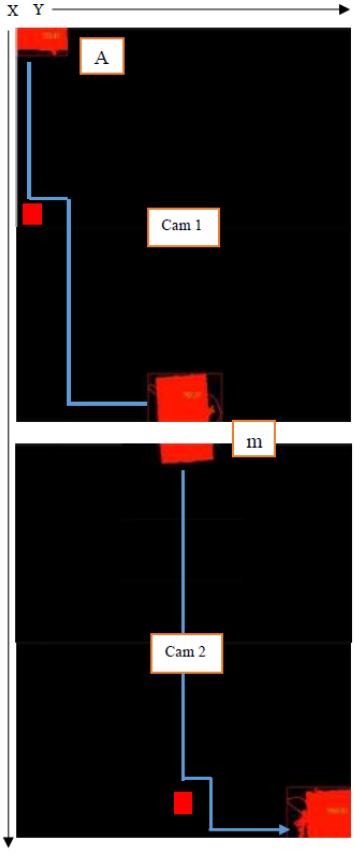
3.3 การขยายพื้นที่การเคลื่อนที่

เป็นการเพิ่มพื้นที่ของระบบการมองเห็นโดยเพิ่มจำนวนกล้องเป็น 2 ตัว อาณาเขตพื้นที่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะขึ้นอยู่กับ ระดับความสูงและความละเอียดของกล้อง โดยหุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ภายในพื้นที่ที่กล้องถ่ายรูปได้ ซึ่งพื้นที่ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อาจไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนกล้องจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มพื้นที่และทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในพื้นที่ที่กว้างมากขึ้น

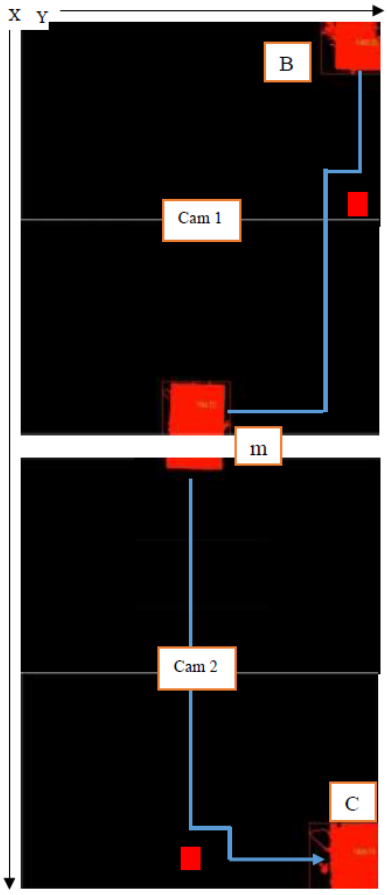


รูปที่ 12 ระยะห่างระหว่างกล้อง

กำหนดให้จุดเริ่มต้นเป็นจุดจากกล้องที่ 1 และจุดหมายปลายทางเป็นจุดจากกล้องที่ 2 ระหว่างทางเดินที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป จะพบสิ่งกีดขวางขนาด 20x20x20 เซนติเมตร ในพื้นที่ กล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 โดยกำหนดให้การทดลองที่ 1 จุดเริ่มต้นที่ 1 ตำแหน่ง (7, 16) (กล้องตัวที่ 1) และจุดหมาย (108, 203) (กล้องตัวที่ 2) โดยกล้องตัวที่ 1 และและกล้องตัวที่ 2 ภาพที่ได้จะมีช่องว่างห่างกันบริเวณรอยต่อ ดังรูปที่ 13



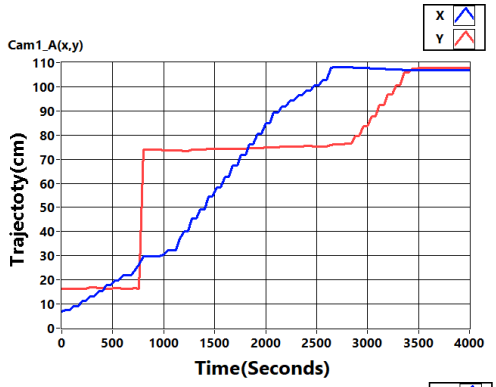
รูปที่ 13 การเคลื่อนที่กล้อง 2 ตัว รูปแบบที่ 1



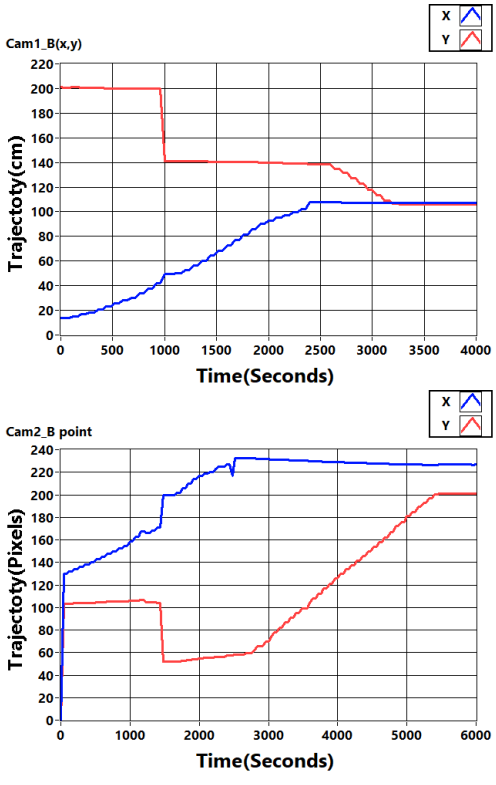
รูปที่ 14 การเคลื่อนที่กล้อง 2 ตัว รูปแบบที่ 2

การทดลองที่ 2 เปลี่ยนจุดเริ่มต้นในการเคลื่อนที่แต่กำหนดจุดปลายไว้ตำแหน่งเดิม โดยระหว่างการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะพบสิ่งกีดขวาง 20x20x20 เซนติเมตร ในพื้นที่กล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 โดยกำหนดให้การทดลองที่ 2 จุดเริ่มต้นที่ 1 ตำแหน่ง (14, 201) (กล้องตัวที่ 1) และจุดหมาย (108, 203) (กล้องตัวที่ 2) ดังรูปที่ 14

จากผลการทดลองดังรูปที่ 13 หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะทำการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ กราฟค่า Y จะมีค่าสูงขึ้น ในช่วงเวลาประมาณ 750 มิลลิวินาที หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการเดินหน้าต่อไป เมื่อได้ระยะทางในแนวแกน x ที่กำหนดหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในช่วงเวลาประมาณ 3000 มิลลิวินาที กราฟ



รูปที่ 15 วิถีการเคลื่อนที่กล้อง 2 ตัว รูปแบบที่ 1



รูปที่ 16 วิถีการเคลื่อนที่กล้อง 2 ตัว รูปแบบที่ 2

ค่า Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 15 ก) จนถึงค่าที่จุด m ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 จากรูปที่ 15 ข) เป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ได้จากกล้องตัวที่ 2 เมื่อหุ่นยนต์เจอสิ่งกีดขวางที่เวลาประมาณ 2000 วินาที หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่เป็นซ้าย หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการเดินหน้าต่อไป เมื่อได้ระยะทางในแนวแกน x ที่กำหนดหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในช่วงเวลาประมาณ 2750 มิลลิวินาที กราฟค่า Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายอย่างปลอดภัย และเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งจุดเริ่มต้นจากผลการทดลองดังรูปที่ 14 หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะทำการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ กราฟค่า Y จะมีค่าลดลง ในช่วงเวลาประมาณ 1000 มิลลิวินาที หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการเดินหน้าต่อไป เมื่อได้ระยะทางในแนวแกน x ที่กำหนดหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในช่วงเวลาประมาณ 2500 มิลลิวินาที กราฟค่า Y จะมีค่าลดลง ดังรูปที่ 16 ค) จนถึงค่าที่จุด m ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 จากรูปที่ 16 ง) เป็นการแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ได้จากกล้องตัวที่ 2 เมื่อหุ่นยนต์เจอสิ่งกีดขวางที่เวลาประมาณ 1500 มิลลิวินาที หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่เป็นซ้าย หลังจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการเดินหน้าต่อไป เมื่อได้ระยะทางในแนวแกน x ที่กำหนดหุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในช่วงเวลาประมาณ 2750 มิลลิวินาที กราฟค่า Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายอย่างปลอดภัย จากผลการทดลองหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นกล้องตัวที่ 1 จับภาพ ไปยังจุดหมายปลายทางยังกล้องตัวที่ 2 ได้ เมื่อใช้กล้องเพิ่มขึ้นจะทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ในบริเวณที่มีขนาดพื้นที่กว้างขึ้น โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติไปยังเป้าหมายที่กำหนด โดยสามารถกำหนดจุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ภายในขอบเขตที่กล้องมองเห็นได้ นอกจากนี้เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์ก็สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางและเดินไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างปลอดภัย

จากการทดสอบทั้งหมดเมื่อนำมาเขียนเป็นตารางเพื่อดูระยะในการเคลื่อนที่ไปถึงหมายที่กำหนดจะแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ทดลอง	จุด	เป้า (x, y)	X	Y
1	Start A	(61, 108)	64	107
	Start B		64	105
	Start C		58	108
	Start D		64	109
2	Obstruct A	(108,203)	111	200
	Obstruct B		107	200
3	2 Cam A	(230,203)	231	201
	2 Cam B		227	201

จากตารางที่ 2 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่กำหนด โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 ซม. ตามกำหนด

4. อภิปรายผลและสรุป

จากการทดลองที่ให้จุดหมายปลายทางอยู่บริเวณกลาง โดยทำการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นและการทดลองในการหลบหลีกสิ่งกีดขว้างได้ทำการเปลี่ยนจุดหมายจากจุดกึ่งกลางให้มาอยู่บริเวณ ปลายมุมด้านซ้ายระบบสามารถเปลี่ยนจุดเริ่มต้น และจุดหมายปลายทาง หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่อัตโนมัติหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ ระบบสามารถระบุตำแหน่งของตนเองและเมื่อพบเจอสิ่งกีดขวางบริเวณด้านหน้าหุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางโดยไม่ต้องทำการเลี้ยวการสไลด์ไปด้านข้างเพื่อหลบหลีกสิ่งกีด

ขวางทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการเลี้ยว และทำให้กำหนดทิศการเคลื่อนที่ไม่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้การอัลกอริธึมของหุ่นยนต์ง่ายยิ่งขึ้น หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่โดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในแนวตั้ง (X) ก่อนเมื่อได้ค่าตามที่กำหนดจึงเคลื่อนที่ไปในแกนนอน (Y) นอกจากนี้ระบบประมวลผลภาพสามารถระบุตำแหน่งหุ่นยนต์และเซนเซอร์สามารถระบุสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์เพื่อส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้หุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางและเดินทางไปถึงเป้าหมายได้อย่างปลอดภัย ถึงแม้ย้ายตำแหน่งจุดเริ่มต้น หรือเปลี่ยนตำแหน่งเป้าหมายในการเคลื่อนที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างปลอดภัย ระยะความสูงของกล้องจะส่งผลต่อความละเอียดตำแหน่ง ถ้าติดกล้องบริเวณที่สูงขึ้นหุ่นยนต์จะมีบริเวณการเคลื่อนที่ที่มากขึ้นแต่ความละเอียดในการกำหนดพิกัดของหุ่นยนต์จะลดลง ในอนาคตจะศึกษาในการทดสอบสิ่งกีดขวางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และพัฒนาอัลกอริธึมให้หุ่นยนต์สามารถหาหนทางที่สั้นที่สุดในการเคลื่อนที่ และใช้ระบบการเรียนรู้การสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง เข้ามาช่วยให้ระบบจดจำลักษณะของหุ่นยนต์เพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องแสงที่ทำให้มีผลกับการระบุวัตถุของกล้อง และมีสิ่งกีดขวางมากกว่า 1 แบบ เพื่อพัฒนาระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติภายในอาคาร โดยสามารถส่งของจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ในสถานที่โรงพยาบาล ร้านอาหาร หรือภายในสำนักงาน และสามารถนำไปพัฒนาระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่สามารถระบุตำแหน่งโดยใช้ภาพจากกล้องเว็บแคมแทนการสร้างแผนที่จำลองได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] A.A. Aldair, A.L. Mayyahi and A. Maze, “Maneuvering and Colored Object Tracking for Differential Drive Mobile Robot,” *Iraqi Journal for Electrical & Electronic Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 47-52, 2019.

[2] J. Ping, C. Liang, G. Hang, Y. Min and X. Jian, “Novel indoor positioning algorithm based on Lidar/inertial measurement unit integrated system,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 1-11, 2021.

[3] M. Rivai, D. Hutabarat and Z. M. Jauhar Nafis, “2D mapping using omni-directional mobile robot equipped with LiDAR,” *Telkomnika*, vol. 18, no. 3, pp. 1467-1474, 2020.

[4] L. Juncheng, R. Maopeng, W. Han and X. Lihua, “A Behavior-Based Mobile Robot Navigation Method with Deep Reinforcement Learning,” *Unmanned Systems,* vol .9, no. 3, pp. 201-209, 2021.

[5] C. Wei, S. Jian, L. Weishuo and Z. Dapeng, “A real-time multi-constraints obstacle avoidance method using LiDAR,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 39, no. 1, pp. 119-131, 2020.

[6] S.A. Li, H.M. Feng, K.H. Chen and W.H. Huang, “Highly Autonomous Visualization Map-Generation Mobile Robot System Design Through the Robot Operating System Platform,” *Journal of Imaging Science & Technology*, vol. 62, no. 3, pp. 1-9, 2020.

[7] X. Yuan, L. Tongqian, S. Bin, Z. Yong, K. Siamak and S. Mingxu, "Indoor Vision/INS Integrated Mobile Robot Navigation Using Multimodel-Based Multifrequency Kalman Filter," *Mathematical Problems in Engineering*, pp. 1-8, 2021.

[8] C. Peñaranda, J. Palanca, V. Julian and V. Botti, "A flexible and dynamic mobile robot localization approach," *Logic Journal of the IGPL*, vol. 28, no. 2, pp. 197-210, 2020.

[9] C. Pang, X. Zhong, H. Hu, J. Tian, X. Peng and J. Zeng, "Adaptive Obstacle Detection for Mobile Robots in Urban Environments Using Downward-Looking 2D LiDAR," *Sensors*, vol. 18, no. 6, 2018.

[10] C. Boris, "Use of Artificial Neural Networks for Fusion of Infrared and Vision Sensors in a Mobile Robot Navigation System," *Annals of DAAAM & Proceedings*, vol. 7, no, 1, pp. 80-87, 2020

[11] X. Li, S. Du, G. Li and H. Li, "Integrate Point-Cloud Segmentation with 3D LiDAR Scan-Matching for Mobile Robot Localization and Mapping," *Sensors*, vol. 20, no. 1, pp. 237-261, 2019.

[12] K. Misu, and J Miura, "Specific person tracking using 3D LIDAR and ESPAR antenna for mobile service robots," Advanced Robotics, vol. 29, no. 22, pp. 1483-1495, 2015.

[13] B. Ali, Y. Ayaz, M. Jamil, S.O. Gilani and N Muhammad, "Improved method for stereo vision-based human detection for a mobile robot following a target person," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 26, no. 1, pp. 102-119, 2015.

[14] N. Singhata, "AutonomousMobile Robot Using Vision System and ESP8266 NodeMCU Board," *Current Applied Science and Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 467-480, 2021.