

ศึกษาอัลกอริทึมการสร้างเส้นทางเดินอัตโนมัติสำหรับแฮนด์พาเลทอัตโนมัติ Study on Path Planning Algorithms for Autonomous Hand Pallet Trucks

เจษฎาพร งามพร้อม¹ บรรณรัตน์ พุ่มจำปา¹ ธัญวลัย แก้วกลม¹ สุราชนี เริ่มสูงเนิน¹ และ สุราชาติ เหล็กงาม^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย surachat@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

โครงการนี้มุ่งเน้นการศึกษาการสร้างเส้นทางเคลื่อนที่สำหรับแฮนด์พาเลทอัตโนมัติ โดยนำทางด้วยระบบ LiDAR เพื่อพัฒนา AMR ต้นแบบที่ใช้ในการขนส่งพาเลทอัตโนมัติสำหรับภาคอุตสาหกรรม โดยอาศัยอัลกอริทึมพาเลทอัตโนมัติแบบ AMR โดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุมความปลอดภัยและลอจิกการขับเคลื่อนหลัก เชื่อมกับ HMI เพื่อสั่งงานตั้งค่า และมอเตอร์แบบเบรคแม่เหล็ก ผนวกกับหน่วยประมวลผล raspberry pi ใช้คำนวณเส้นทาง ความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งอาศัยข้อมูลจาก LiDAR แล้วสื่อสารคำสั่งนำทางไปยัง PLC ผ่านโปรโตคอลอุตสาหกรรม ผลลัพธ์ที่ได้อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถสร้างเส้นทางเดินจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลายทาง และสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบเบรคแม่เหล็กได้ ส่งผลให้ลดความเสี่ยงอุบัติเหตุและเพิ่มประสิทธิภาพการขนถ่าย

คำสำคัญ: AMR, แฮนด์พาเลทอัตโนมัติ, PLC, HMI, LiDAR, Raspberry pi

Abstract

This project focuses on the study and development of autonomous path planning for an automated hand pallet truck guided by a LiDAR system, aiming to create a prototype Autonomous Mobile Robot (AMR) for industrial pallet transportation. The system is designed to handle loads of up to utilizes a PLC as the primary controller for safety management and driving logic, integrated with an HMI for real-time operation, configuration, and monitoring. A Raspberry Pi serves as the processing unit for calculating travel paths, velocities, and movement directions based on LiDAR data, with navigation commands transmitted to the PLC via industrial communication protocols. The results demonstrate that the developed algorithm can generate a path from a starting point to a destination while avoiding obstacles in real time, thereby reducing accident risks and improving transportation efficiency.

Keywords: AMR, autonomous hand pallet truck, PLC, HMI, LiDAR, Raspberry Pi

บทนำ

งานขนถ่ายด้วยแฮนด์พาเลทแบบใช้แรงงานคนมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และต้นทุน โครงการนี้จึงพัฒนาแฮนด์พาเลทอัตโนมัติที่ใช้แนวคิด AMR โดยให้ PLC เป็นตัวควบคุมระบบขับเคลื่อน และ HMI ใช้สำหรับป้อนคำสั่งในการควบคุม การตั้งค่า และติดตามสถานะ ในขณะเดียวกันระบบรับรู้สภาพแวดล้อมใช้ LiDAR เพื่อสร้างแผนที่ และวางแผนเส้นทาง จากนั้นส่งคำสั่งความเร็ว ทิศทางไปยัง PLC ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายพาเลท ได้อย่างแม่นยำ ปลอดภัย และปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมจริงในคลังสินค้า

2. ที่มาของปัญหาและพื้นฐานความรู้

2.1 ที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันสูง โรงงานจึงต้องปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ หนึ่งในขั้นตอนสำคัญคือการขนส่งวัสดุและชิ้นงานภายในโรงงาน (Material Handling) ซึ่งหากล่าช้าและไม่เป็นระบบ จะทำให้เกิดความสูญเสียทั้งด้านเวลา ต้นทุน และความปลอดภัย

หลายโรงงานยังอาศัยแรงงานคนหรือรถเข็นที่ต้องมีผู้ควบคุม ทำให้ใช้เวลานาน เสี่ยงต่ออุบัติเหตุ และมีต้นทุนแรงงานสูง ในขณะเดียวกัน แนวโน้มอุตสาหกรรม 4.0 ให้ความสำคัญกับระบบอัตโนมัติและการใช้หุ่นยนต์เพื่อลดภาระงานซ้ำ เพิ่มความแม่นยำ และลดความผิดพลาดจากมนุษย์ จากเหตุผลดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดในการพัฒนา หุ่นยนต์ขนส่งอัตโนมัติที่สามารถเคลื่อนย้ายวัตถุระหว่างสถานีได้อย่างอัตโนมัติ ช่วยลดเวลารอคอย เพิ่มความต่อเนื่องของการผลิต และลดต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว พร้อมรองรับการบูรณาการเข้ากับระบบควบคุมการผลิต เพื่อก้าวสู่โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) อย่างเต็มรูปแบบ

2.2 การทำงานของ AMR (Autonomous Mobile Robot)

AMR หรือหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ เป็นระบบที่สามารถเคลื่อนที่และปฏิบัติงานได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องมีการควบคุมแบบเรียลไทม์จากมนุษย์ ระบบทำงานโดยอาศัยเซนเซอร์หลากหลายชนิด เช่น LiDAR กล้อง และเรดาร์ เพื่อรับรู้สภาพแวดล้อมรอบตัวและระบุวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง จากนั้นจะใช้เทคนิค SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ในการสร้างแผนที่พื้นที่ปฏิบัติงานและระบุตำแหน่งของตัวเอง หุ่นยนต์พร้อมกัน ข้อมูลจากเซนเซอร์หลายแหล่งจะถูกประมวลผลร่วมกันเพื่อ

เพิ่มความแม่นยำในการระบุพิกัดและตรวจจับสิ่งกีดขวาง เมื่อกำหนดเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทาง ระบบจะคำนวณเส้นทางที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ โดยใช้การควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อและมุมเลี้ยวให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางได้อย่างราบรื่นปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งสามารถสื่อสารกับระบบจัดการคลังสินค้า หรือระบบควบคุมการผลิตเพื่อรับคำสั่งและรายงานสถานะ ทำให้ AMR สามารถทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อื่นและระบบอัตโนมัติในโรงงานได้อย่างสมบูรณ์ [1]

2.3 พื้นฐานการทำงานของ Raspberry Pi 5

Raspberry Pi 5 เป็นไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กใช้หน่วยประมวลผล Broadcom BCM2712 แบบควอดคอร์ Arm Cortex-A76 ที่ความถี่ 2.4 GHz ให้ประสิทธิภาพสูง หน่วยความจำ RAM ขนาด 16 GB ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ทำให้มีความสามารถในการประมวลผลสูงและรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริมหลากหลายประเภท [2]



รูปที่ 1 บอร์ด Raspberry Pi 5 [5]

2.4 การทำงานของ LiDAR

LiDAR รุ่น LD19 (หรือ FHL-LD19) เป็นเซนเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์แบบ Time-of-Flight (TOF) หรือ DTOF (Direct Time-of-Flight) ที่ใช้สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อมรอบทิศทาง 360° ด้วยความละเอียดสูงและความถี่ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก

หลักการทำงานพื้นฐาน

1. เมื่อทำงานเซนเซอร์จะยิงลำแสงอินฟราเรดออกไปในทิศทางของวัตถุ แล้ววัดเวลาระหว่างการยิงและการรับสัญญาณสะท้อนกลับ (Time of Flight) โดยใช้ความเร็วของแสงคำนวณเป็นระยะทาง

2. เมื่อได้ข้อมูลระยะทางแล้ว ระบบจะรวมเข้ากับค่ามุมจากหน่วยวัดมุม (angle measurement unit) เพื่อสร้างข้อมูลจุดในรูปแบบ point cloud ที่แสดงตำแหน่งวัตถุรอบทิศทาง 360 องศา

โครงสร้างและการควบคุม

- ตัวอุปกรณ์ประกอบด้วย: แกนวัดระยะ (ranging core), โมดูลส่ง-รับข้อมูลแบบไร้สาย, หน่วยวัดมุม, หน่วยขับเคลื่อนมอเตอร์, และโครงโลหะภายนอก

- การควบคุมความเร็วหมุนของเลเซอร์ใช้ทั้งแบบ ภายใน (ใช้ค่าดีฟอลต์ของระบบ) และ ภายนอก (ใช้สัญญาณ PWM ที่ส่งเข้ามา) ผ่านวงจร PID เพื่อให้การหมุนมีความเสถียร
- คุณลักษณะสำคัญ (Features)
- ใช้เทคโนโลยี TOF ตรวจระยะด้วยความถี่สูงถึง 4,500 ครั้งต่อวินาที
- สแกนรอบทิศทาง 360° พร้อมความละเอียดมุมไม่เกิน 1°
- วัดระยะได้ตั้งแต่ 0.02 ถึง 12 เมตร (ภายใต้เงื่อนไขความสะท้อน 70%)
- แก้ปัญหาการรบกวนจากแสงจ้า (anti-glare) ได้สูงถึง 30,000 Lux
- ทนทานสูง (อายุใช้งานมากกว่า 10,000 ชั่วโมง) และเป็นมาตรฐานความปลอดภัยเลเซอร์ระดับ FDA Class I [3]

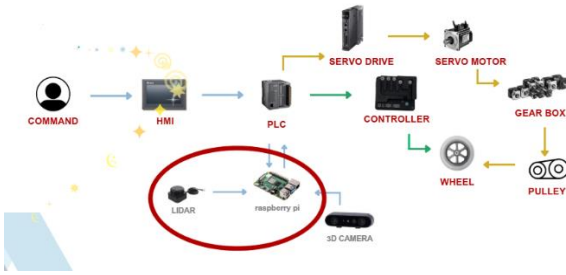


รูปที่ 2 FHL-LD19 Lidar Sensor [6]

2.5 การเคลื่อนที่และจลศาสตร์ของรถขนของแบบ Hand Pallet Truck

การเคลื่อนที่ของรถแบบ Hand Pallet Truck มีลักษณะเป็นแพลตฟอร์มที่มีล้อขับ-บังคับเลี้ยวอยู่ด้านหน้า (ใกล้กันบังคับ) และล้อรับน้ำหนักแบบอิสระอยู่ด้านหลัง จึงสามารถจำลองเชิงจลศาสตร์ได้ใกล้เคียง “รถบังคับเลี้ยวล้อหลังแบบจักรยาน (rear-steered bicycle model)” โดยมีข้อจำกัดการไม่ลื่นไถลของล้อและรัศมีวงเลี้ยวที่ขึ้นกับระยะฐานล้อและมุมเลี้ยวสูงสุดในการทำให้เป็นระบบอัตโนมัติ จึงต้องออกแบบเส้นทางการขับเคลื่อนและการบังคับเลี้ยว (เช่น มอเตอร์ขับเคลื่อนกับชุดหมุนก้านบังคับ) ควบคู่กับการควบคุมความเร็ว-มุมเลี้ยวแบบเวลาจริง เพื่อรักษาเสถียรภาพระหว่างเร่ง เบรก และเลี้ยว นอกจากนี้ต้องพิจารณาปรับค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ (เช่น รัศมีล้อ ระยะฐานล้อและออฟเซตจุดหมุน) ให้สอดคล้องกับแบบจำลองสำหรับการวางแผนเส้นทางและการติดตามเส้นทางอย่างแม่นยำ [4]

3. ภาพรวมของระบบโดยรวม



รูปที่ 3 แผนภาพอธิบายโครงงาน

แผนภาพนี้แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนส่งอัตโนมัติ ซึ่งเริ่มต้นจาก Command หรือคำสั่งที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าสู่ระบบผ่าน HMI (Human Machine Interface) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับรับอินพุตและแสดงผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสั่งงานและติดตามสถานะของระบบได้ คำสั่งจาก HMI จะถูกส่งต่อไปยัง PLC (Programmable Logic Controller) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยควบคุมหลักของระบบ โดยประมวลผลคำสั่งและสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ

ในส่วนของการรับรู้สภาพแวดล้อม LiDAR และ 3D Camera จะถูกใช้เพื่อเก็บข้อมูลระยะทาง ตำแหน่ง และภาพสามมิติของพื้นที่โดยรอบ ข้อมูลจากเซนเซอร์เหล่านี้จะถูกส่งเข้าสู่ Raspberry Pi เพื่อประมวลผลขั้นต้น (pre-processing) และส่งคำสั่งในการเคลื่อนที่ให้กับ PLC หรือ Controller เพื่อใช้ในการควบคุมวงจรควบคุมเส้นทางตามที่ Raspberry Pi ได้คำนวณไว้

ด้านการขับเคลื่อน คำสั่งจาก PLC จะถูกส่งไปยัง Servo Drive ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณควบคุมไปเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมให้กับ Servo Motor เพื่อให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วและแรงบิดที่ต้องการ กำลังจาก Servo Motor จะถูกส่งผ่าน Gear Box เพื่อปรับอัตราทดแรงบิด จากนั้นจึงส่งกำลังไปยัง Wheel ผ่านระบบ Pulley เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ตามที่กำหนด โดยมี Controller ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ และการทรงตัวของระบบได้อย่างแม่นยำ

กระบวนการทั้งหมดนี้ทำงานแบบบูรณาการโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยควบคุม (PLC และ Controller) กับ อุปกรณ์ตรวจวัด (LiDAR, 3D Camera) และระบบขับเคลื่อน (Servo Drive, Servo Motor, Gear Box) เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอัตโนมัติ มีความแม่นยำ และปลอดภัยในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง

ขอบเขตการศึกษาปัจจุบัน

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมการสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ (Path Planning Algorithm) โดยอาศัยข้อมูลจาก LiDAR LD19 สำหรับการตรวจวัดสิ่งกีดขวางและสภาพแวดล้อม ข้อมูลดิบจาก LiDAR อยู่ในรูปของระยะทาง (r) และมุม (θ) ของลำแสง

[7] ซึ่งจะถูกแปลงจากพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates) เป็นพิกัดเชิงฉาก (Cartesian Coordinates) โดยใช้สมการ

$$X = r \cdot \cos(\theta), Y = r \cdot \sin(\theta)$$

อาจใช้ค่าของมุมห้องเป็นจุดอ้างอิง มากกว่า 1 มุม ทำให้สามารถระบุพิกัดได้แม่นยำยิ่งขึ้น เมื่อเก็บข้อมูลจากหลายมุมและหลายสิ่งกีดขวางพร้อมกัน ระบบสามารถระบุตำแหน่งสิ่งกีดขวางรอบพื้นที่และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อประมาณตำแหน่งปัจจุบันของรถได้ โดยการหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งจากจุดอ้างอิงต่างๆ ทำให้เกิดการสร้างกลุ่มจุด (Point Cloud) และแผนที่สิ่งกีดขวาง (Occupancy Grid Map) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณเส้นทางเดินได้ โดยมี Raspberry Pi 5 เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ทั้งนี้งานวิจัยในปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมถึงระบบย่อยอื่นของแฮนด์พาเลทอัตโนมัติ เช่น HMI, PLC, Controller, Servo Drive และระบบส่งกำลังเชิงกล เนื่องจากอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษา ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเฉพาะการรับรู้สภาพแวดล้อม การหาตำแหน่ง และการกำหนดเส้นทางเป็นหลัก

4. อัลกอริทึมสำหรับการสร้างเส้นทาง

สมมติฐานแบบจำลองทางจลศาสตร์ของ Hand Pallet Truck เป็นโมเดลแบบจักรยาน (Bicycle Model) ซึ่งมีสมการพื้นฐานการเคลื่อนที่แบบ non-holonomic

L = ระยะฐานล้อ (ระยะจากล้อหลัง $\rightarrow$ ล้อหน้า)

v = ความเร็วเชิงเส้น (จาก linear.x)

ω = ความเร็วเชิงมุมรอบตัวรถ (จาก angular.z)

δ = มุมเลี้ยวของล้อหน้า (steering angle)

สมการพื้นฐานของการเคลื่อนที่ non-holonomic คือ

$$\dot{x} = v \cos \theta \quad (1)$$

$$\dot{y} = v \sin \theta \quad (2)$$

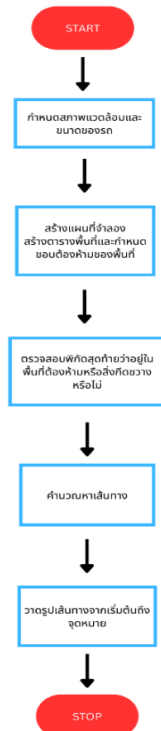
$$\dot{\theta} = \omega = \frac{v}{L} \cdot \tan(\delta) \quad (3)$$

แปลงจาก $v, \omega \rightarrow \delta$

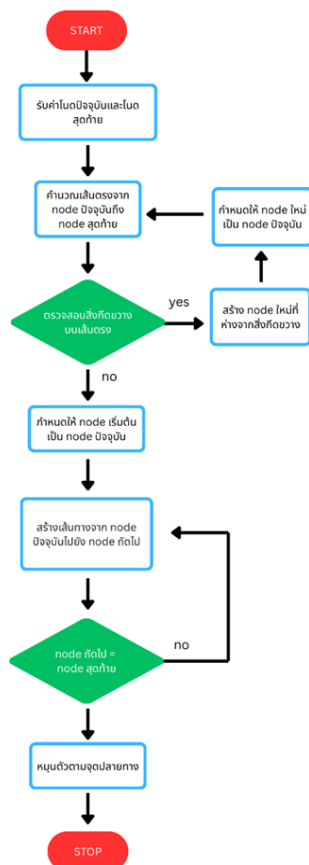
$$\text{จากสมการ} \quad \omega = \frac{v}{L} \cdot \tan(\delta)$$

$$\text{จัดรูป:} \quad \tan(\delta) = \frac{\omega L}{v}$$

$$\text{จะได้} \quad \delta = \arctan\left(\frac{\omega L}{v}\right) \quad (4)$$



รูปที่ 4 ขั้นตอนการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของแอสต์โรนอมิต



รูปที่ 5 กระบวนการค้นหาเส้นทาง (Pathfinding Algorithm) โดยใช้แนวคิดของการหาทางจากโหนด (node) เริ่มต้นไปยังโหนดปลายทาง



รูปที่ 6 แอสต์โรนอมิตไฟฟ้า

5. ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการจำลองขอบเขตพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาการคำนวณเส้นทาง การเคลื่อนที่ของแอสต์โรนอมิต สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 7 ก. ซึ่งใช้สภาพแวดล้อมจำลอง โดย

1.สเกลการจำลอง

ใช้สเกล 1:20 (ขนาดจริง = ขนาดแบบจำลอง × 20)

2.ขนาดสนามทดสอบ

แบบจำลอง 600 × 450 มม.

ในขนาดจริง 12.0 × 9.0 ม.

3.Hand Pallet Truck

แบบจำลอง (ก×ย×ส) 34.25 × 71.40 × 63.80 มม.

ขนาดจริง (ก×ย×ส) 0.685 × 1.428 × 1.276 ม.

4.สิ่งกีดขวางหลัก (ชิ้นใหญ่)

แบบจำลอง 11 × 10 × 7 ซม.

ขนาดจริง 2.20 × 2.00 × 1.40 ม.

5.หลักเกณฑ์เพิ่มเติม

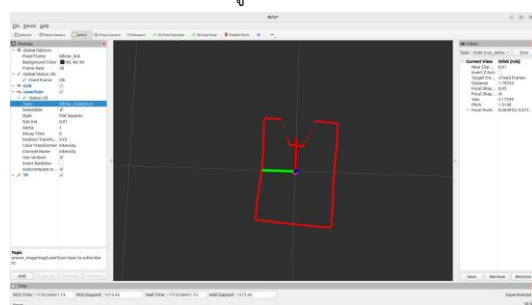
องค์ประกอบอื่น ๆ (เช่น พาเลท เสา ผนัง) กำหนดตามสัดส่วนเดียวกันในสเกล 1:20 เพื่อให้พฤติกรรมเคลื่อนที่ในแบบจำลองสอดคล้องกับสถานการณ์จริง จากนั้นจึงระบุจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง จากรูปที่ 7 ข แสดงให้เห็นแผนที่ที่เซ็นเซอร์ LiDAR สร้างขึ้นมาได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับรูปจำลอง 7 ก และ รูปที่ 7 ค.1-2 แสดงให้เห็นเส้นทางการเคลื่อนที่และทิศทางของล้อหน้าและหลังของแอสต์โรนอมิตที่คำนวณได้ การทำ SLAM จะนำข้อมูลจุดจาก LiDAR มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นแผนที่ของพื้นที่จริง ขณะเดียวกันก็ประเมินว่าหุ่นยนต์อยู่ตำแหน่งใดในแผนที่นั้น

โครงการนี้สามารถคำนวณเส้นทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลายทางได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ทิศทางสุดท้ายของตำแหน่งแอสต์โรนอมิตยังมีความคลาดเคลื่อนจากทิศทางที่ต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการคำนวณ

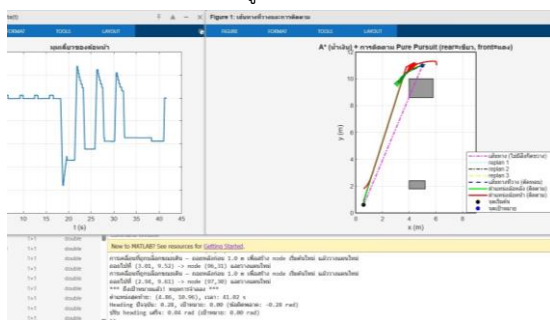
การเข้าสู่จุดสุดท้าย เพื่อให้แฮนด์ลิตสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องมากขึ้น



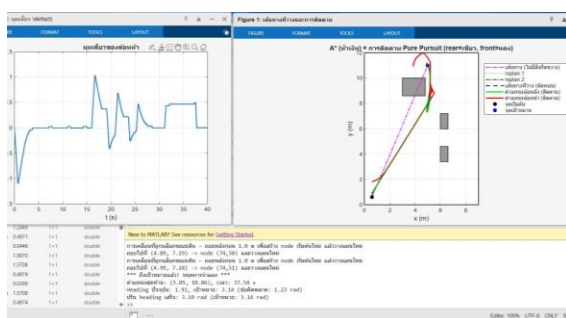
รูปที่ 7 ก



รูปที่ 7 ข



รูปที่ 7 ค.1



รูปที่ 7 ค.2

รูปที่ 7 แสดงพื้นที่จำลองแผนที่จาก LiDAR และเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทางที่สามารถคำนวณได้

6. สรุป

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาอัลกอริทึมการสร้างเส้นทางเดินอัตโนมัติสำหรับแฮนด์พาเลทอัตโนมัติ โดยเน้นที่กระบวนการสำรวจเส้นทาง (path exploration) และการคำนวณหาเส้นทางใหม่ (path re-planning) เมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ไม่คาดการณ์ล่วงหน้า การทดลองได้ดำเนินการภายใต้สภาวะจำลองที่สัดส่วน 1:20 ของขนาดจริง เพื่อให้สะดวกต่อการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางและปรับเส้นทางใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง แสดงถึงศักยภาพในการนำไปใช้จริง อย่างไรก็ตาม ยังคงพบความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งการเคลื่อนที่และความต่อเนื่องของเส้นทาง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงและพัฒนาต่อ ทั้งในด้านความแม่นยำของการประมวลผลและการผสมรวมกับระบบย่อยอื่นของแฮนด์พาเลทอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริงในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์สุรชาติ เหล็กงาม สำหรับคำแนะนำและการสนับสนุนอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการวิจัยนี้ การชี้แนะแนวทาง การให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และการแบ่งปันความรู้เชิงลึกของท่านทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย ขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนด้านทรัพยากรและสถานที่ในการทำงาน รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, 2nd ed., Cambridge, MA: MIT Press, 2011, pp. 11-12.
- [2] M. Fezari and A. Al-Dahoud, "Introducing Raspberry Pi 5," in *Proc. of Badji Mokhtar Annaba University Technical Report*, Annaba, Algeria, 2023.
- [3] Y. Li and J. Ibanez-Guzman, "Lidar for autonomous driving: The principles, challenges, and trends for automotive lidar and perception systems," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 37, no. 4, pp. 50-61, 2020.
- [4] C. Harris-Adamson, A. Mielke, X. Xu, and J. H. Lin, "Ergonomic evaluation of standard and alternative pallet jack handles," *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 54, pp. 113-119, 2016.

- [5] RS-Online, “Raspberry Pi 4B 4GB Model B,” RS-Online.
[Online]. Available: <https://th.rs-online.com/web/p/raspberry-pi/1822096>. [Accessed: Sept. 12, 2025].
- [6] DFRobot, “DTOF STL-19P Laser LiDAR Sensor Kit (12 m),”
DFRobot, Product SEN0547. [Online]. Available:
<https://www.dfrobot.com/product-2610.html>. [Accessed:
Sept. 12, 2025].
- [7] ROS.org, “sensor_msgs/LaserScan Message,” [Online].
Available: http://wiki.ros.org/sensor_msgs/LaserScan.
[Accessed: Sep. 13, 2025].

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายเจษฎาพร จามพร้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยบูรพา



นางสาวบรรรัตน์ พุ่มจำปา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยบูรพา



นางสาวธัญวลัย แก้วกลม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยบูรพา



นางสาวสุธาสินี เริ่มสูงเนิน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยบูรพา



สุรชาติ เหล็กงาม
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยบูรพา
งานวิจัยที่สนใจ ระบบอัตโนมัติ