

การพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า DEVELOPMENT OF A WIND TURBINE BLADE INSPECTION ROBOT

นภนต์ ศรีคำภา* และ พงศธร พรหมบุตร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Naphon Srikhumpha* and Pongtorn Prombut

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

*E-mail: hatori_008@hotmail.com

Received: 07-01-2025

Revised: 22-07-2025

Accepted: 25-07-2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยหุ่นยนต์จะบันทึกภาพและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังผู้ปฏิบัติงานภาคพื้นดินเพื่อประเมินสภาพและความเสียหายของใบกังหันลม การพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบใช้บอร์ดควบคุม รุ่น Raspberry Pi 4 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านสัญญาณไร้สายและการสื่อสารข้อมูลโดยใช้ Robot Operating System (ROS) ผลการทดสอบพบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในความชันต่าง ๆ และทำงานตามชุดคำสั่งฟังก์ชันที่ได้รับอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์และบันทึกภาพได้ โดยใช้เวลาในการเดินทาง 0.44 นาที ถอยหลัง 0.38 นาที เลี้ยวซ้าย 1.19 นาที และเลี้ยวขวา 1.35 นาที บนพื้นผิวที่ไม่มีความชัน ในการทดสอบบนพื้นผิวที่มีความชัน 20 องศา หุ่นยนต์ยังสามารถทำงานได้แต่ใช้เวลามากกว่าในพื้นที่ราบโดยใช้เวลาในการเดินทาง 9.24 นาที ถอยหลัง 4.26 นาที เลี้ยวซ้าย 10.43 นาที และเลี้ยวขวา 9.31 นาที และบนพื้นผิวที่มีความชัน 30 องศา หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เล็กน้อย สาเหตุเกิดจากแรงดูดของ Vacuum Pump ที่ไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักหุ่นยนต์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นยนต์ในการตรวจสอบใบกังหันลมและเปิดโอกาสในการพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในสถานะที่หลากหลาย

คำสำคัญ: ใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพ

ABSTRACT

This research aims to develop a robot for inspecting the operational condition and damage of wind turbine blades. The robot captures images and wirelessly transmits data to ground operators for assessment. The prototype robot is controlled using a Raspberry Pi 4 board, which manages movement via wireless signals and data communication through the Robot Operating System (ROS). Test results indicate that the robot can move on various inclinations and execute programmed functions effectively.

It successfully transmits real-time images and records footage. On a flat surface, the movement times were 0.44 minutes for forward motion, 0.38 minutes for backward motion, 1.19 minutes for left turns, and 1.35 minutes for right turns. On a 20-degree inclined surface, the robot remained operational but required more time compared to a flat surface, taking 9.24 minutes to move forward, 4.26 minutes to move backward, 10.43 minutes to turn left, and 9.31 minutes to turn right. At a 30-degree incline, the robot exhibited limited movement in different directions due to insufficient suction force from the vacuum pump to support its weight. This study demonstrates the robot's capability in wind turbine blade inspection and provides opportunities for further development to enhance its efficiency in diverse operational conditions.

Keywords: Wind turbine blades, Robot operating system, Inspection robot

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานธรรมชาติสะอาดที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่มีวันหมดสามารถนำไปใช้ได้หลายด้าน เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า การสูบน้ำเพื่อการเกษตร การบริโภค ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และเพื่อการท่องเที่ยว เป็นต้น ประเทศไทยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ระหว่างปี 2561-2580 โดยกำหนดเป้าหมายที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมไว้รวม 3,000 เมกะวัตต์ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), 2020) มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากลมมากขึ้น พลังงานจากลมจึงเป็นตัวเลือกแรก ๆ ที่ได้รับความสนใจในวงกว้างโดยใช้กังหันลมเป็นอุปกรณ์ช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดมลพิษในอนาคต ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตกังหันลมเพื่อใช้งานในระดับที่สูงขึ้น มีขนาดใหญ่ขึ้น มีการติดตั้งอยู่ในพื้นที่โล่งกว้าง พื้นที่สูง ทำให้ต้องเผชิญกับปัญหาเรื่องอากาศแปรปรวน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ถูกฟ้าผ่า หรือใช้งานเป็นเวลานานทำให้เสื่อมสภาพและชำรุดเสียหาย เช่น รอยแตกร้าว หรือการสึกกร่อน เป็นต้น การตรวจสอบและการบำรุงรักษาจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกระทำสม่ำเสมอเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยเฉพาะใบกังหันลมที่เป็นสิ่งสำคัญในการผลิตไฟฟ้า การตรวจสอบและบำรุงรักษาใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งในที่สูงและห่างไกลจะใช้พนักงานปฏิบัติงานโดยใช้รถกระเช้ายกขึ้นจากพื้นหรือการใช้เชือกโรยตัวลงมาจากห้องเครื่อง (Nacelle) ของกังหัน (Jeon, 2012) ซึ่งเป็นการปฏิบัติงานที่ยากและอันตราย รวมทั้งต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวนมากและการใช้โดรนตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลมอาจตรวจสอบได้ไม่ละเอียดเท่าที่ควรและมีข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อม เช่น มีพายุลมแรง ฝนตก ฟ้าคะนอง หรือฟ้าผ่าในรัศมี 80 กิโลเมตร โดยรอบของกังหันลม รวมถึงพื้นที่ในการตรวจสอบที่ห้ามบินโดรนในรัศมี 50 เมตร จากตัวกังหันลมหรือระยะปลายใบกังหันลม ทำให้เกิดข้อจำกัดในการปฏิบัติงานซึ่งส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่อผิวใบกังหันลมจนทำให้ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นการใช้หุ่นยนต์จึงมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีอื่น ๆ

จากสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยหุ่นยนต์จะบันทึกภาพและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังผู้ปฏิบัติงานภาคพื้นดินเพื่อประเมินสภาพและความเสียหายของใบกังหันลม ไม่ว่าจะเป็นรอยแตกร้าว หรือการสึกกร่อน ซึ่งการใช้หุ่นยนต์จะมีความน่าเชื่อถือในเรื่องการลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีการอื่น ๆ



ภาพที่ 1 พนักงานตรวจสอบใบกังหันโดยการไต่ลงจากห้องเครื่องกังหันลม
ที่มา: Jeon et al. (2012)

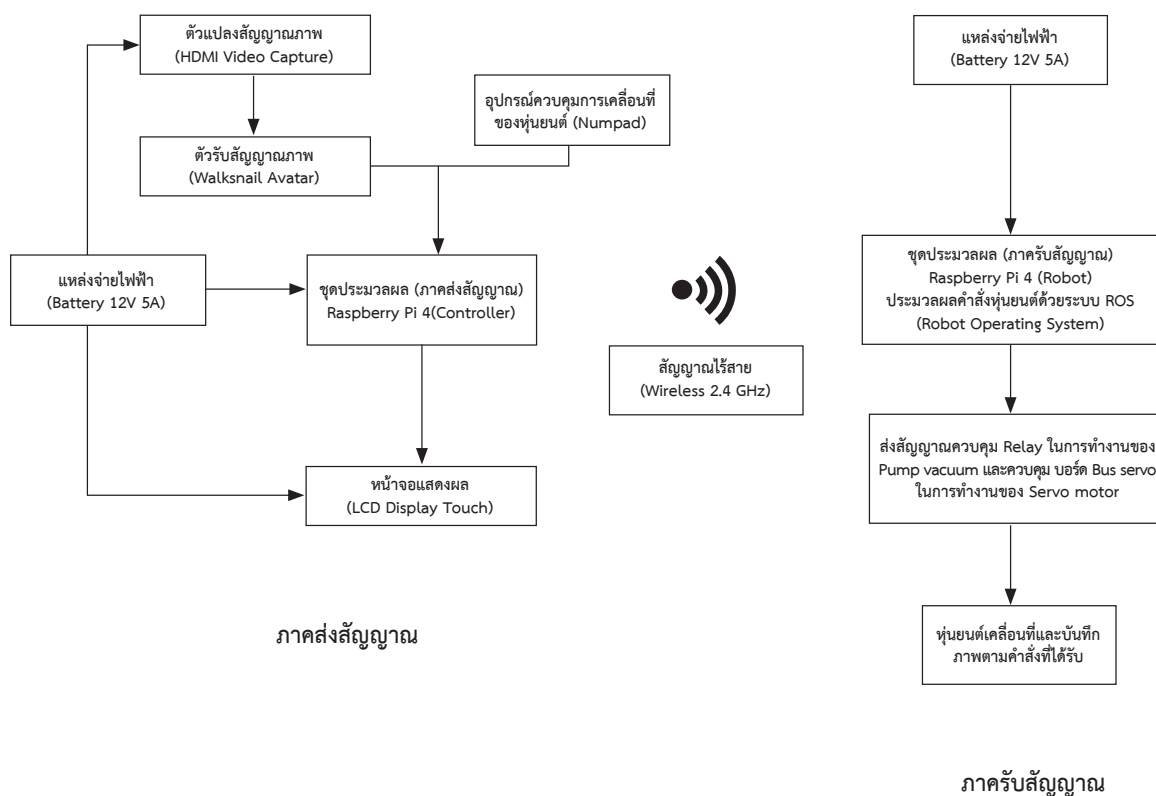
วิธีการ

1. แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับการตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ให้มีรูปร่างคล้ายแมงมุมยึดเกาะพื้นผิวด้วยระบบสุญญากาศ (Li, 2023) เป็นการประยุกต์เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยใช้ขากระจายน้ำหนักเพื่อความมั่นคง ทรงตัวได้ดีในพื้นที่แคบ พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอและพื้นที่อันตราย ใช้การควบคุมการเคลื่อนที่จากระยะไกลผ่านสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย (Yang, 2013) ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบใบกังหันลม กำหนดระยะการส่งสัญญาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงทั้งในกังหันลมที่ติดตั้งบนบกและนอกชายฝั่ง มีความยาวใบกังหันตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 85 เมตร ตามประเภทและขนาดของกังหันลมนั้น หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่โดยคลานไปบนผิวใบกังหันลมจากโคนใบกังหันลงมาปลายใบกังหันเพื่อตรวจสอบความเสียหาย หุ่นยนต์สามารถแสดงผลภาพแบบเรียลไทม์และบันทึกภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Shen, 2024) การควบคุมระบบทำงานผ่านบอร์ดควบคุม รุ่น Raspberry Pi 4 โดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ Robot Operating System (ROS) ซึ่งมีการแบ่งการทำงานออกเป็นโหนด (Node) แต่ละโหนดสามารถส่งสัญญาณควบคุมผ่านระบบสัญญาณไร้สายไปยังชุดแสดงผล (Quigley et al., 2009) โดยมีการนำระบบ ZeroMQ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ ROS ในการบริหารจัดการการรับส่งข้อมูลและคำสั่งต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (Lauener & Sliwinski, 2017)

2. การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ผู้วิจัยใช้อะลูมิเนียมและแผ่นอะคริลิกในโครงสร้างของหุ่นยนต์ ขนาดของหุ่นยนต์กว้าง 23x40 เซนติเมตร น้ำหนักโดยรวม 2.5 กิโลกรัม ซึ่งขนาดและน้ำหนักเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง ใช้บอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 เป็นส่วนสำคัญของการออกแบบ ทั้งในส่วนชุดประมวลผลภาคส่งสัญญาณ (Controller) และชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) โดยการรับและส่งชุดคำสั่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย มีรายละเอียดการออกแบบและพัฒนาดังนี้

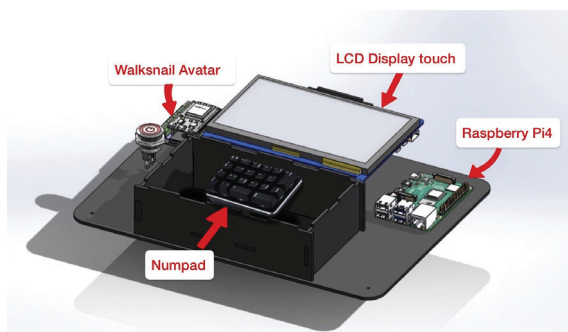


ภาพที่ 2 หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

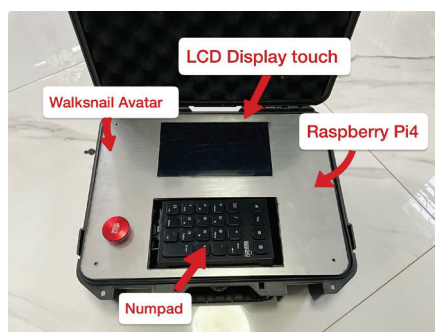


ภาพที่ 3 แผนภาพการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลม

2.1 ชุดประมวลผลภาคส่งสัญญาณ (Controller) สร้างและพัฒนาในลักษณะกล่องควบคุมประกอบด้วย หน้าจอแสดงผล LCD ใช้สำหรับการแสดงผลเรียลไทม์ Numpad wireless ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ ตัวรับสัญญาณภาพเชื่อมต่อไร้สายใช้รับสัญญาณภาพเพื่อแสดงบนหน้าจอ LCD การส่งสัญญาณคำสั่งจาก Numpad โดยใช้สัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 GHz มีระยะการส่งชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ไปที่หุ่นยนต์ระยะ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่สามารถดำเนินการได้จริงในการตรวจสอบใบก้างหั่นลมที่มีขนาดแตกต่างกันและมีปัญหาในแต่ละจุด



(ก)



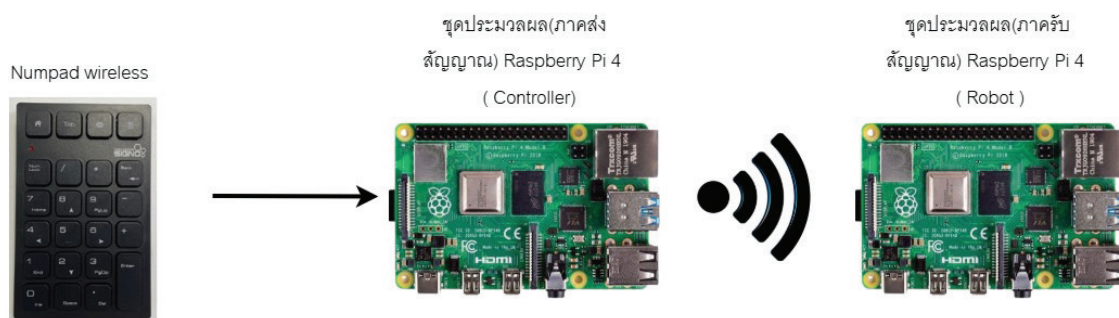
(ข)

ภาพที่ 4 ชุดควบคุมหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบก้างหั่นลมผลิตไฟฟ้า
(ก) การออกแบบชุดควบคุมหุ่นยนต์ (ข) ชุดควบคุมหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจริง

ส่วนชุดคำสั่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบก้างหั่นลมผลิตไฟฟ้าพัฒนาจากโปรแกรมภาษา Python โดยใช้โมดูล Flask ของ Python สร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชันใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ โดยมีบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 (Controller) ที่อยู่บนกล่องควบคุมทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณคำสั่งที่ได้รับจากผู้ใช้งานในการบังคับการเคลื่อนที่และการบันทึกภาพของหุ่นยนต์ผ่าน Numpad wireless โดยกดปุ่มเลข 8 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เดินหน้า กดปุ่มเลข 4 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย กดปุ่มเลข 2 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ถอยหลัง กดปุ่มเลข 6 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวขวา กดปุ่มเลข 5 ตั้งค่าหุ่นยนต์ทำเริ่มต้น และกดปุ่มเครื่องหมาย “ - “ หุ่นยนต์จะบันทึกภาพถ่ายภาพ ตามตารางที่ 1 จากนั้นจะส่งผ่านชุดคำสั่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายไปยังภาครับสัญญาณ (Robot)

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

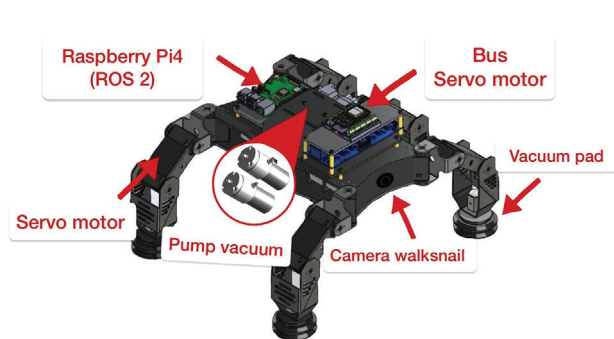
Numpad Wireless	เงื่อนไขคำสั่ง	ผลการแสดงของคำสั่ง (การเคลื่อนที่หุ่นยนต์)
	กดปุ่มเลข 8	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปเดินหน้า
	กดปุ่มเลข 4	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย
	กดปุ่มเลข 6	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวขวา
	กดปุ่มเลข 2	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปถอยหลัง
	กดปุ่มเลข 5	ตั้งค่าหุ่นยนต์ทำเริ่มต้น
	กดปุ่มเครื่องหมาย “ - “	หุ่นยนต์จะบันทึกภาพถ่ายภาพ



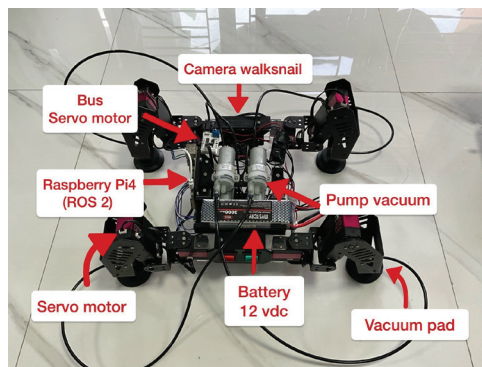
ภาพที่ 5 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาคส่งสัญญาณ

2.2 ชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) ออกแบบและพัฒนาให้มีรูปร่างคล้ายแมงมุม มีการออกแบบและติดตั้ง Vacuum Pump อยู่ที่ตัวหุ่นยนต์เพื่อสร้างระบบดูดยึดแบบสุญญากาศ สำหรับเสริมความมั่นคงทั้งในด้านโครงสร้างและการเคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 3.75 แอมป์ จำนวน 1 ก้อน มีน้ำหนัก 0.3 กิโลกรัม จ่ายพลังงานรวมทั้งหมด 45 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ซึ่งให้พลังงานเพียงพอต่อการใช้งานต่อเนื่องได้นานประมาณ 15 นาที

หลักการทำงานโดยชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) จะประมวลผลชุดคำสั่งด้วยระบบปฏิบัติการ Robot operating system หรือ ROS เป็นระบบปฏิบัติการเพื่อประมวลผลข้อมูลคำสั่งโดยสามารถควบคุมแบบแยกโหนด (Node) โดยแต่ละโหนด สามารถส่งคำสั่งและรับคำสั่งโดยผ่านระบบระบบปฏิบัติการ ROS ที่ประมวลผลโดยบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 เป็นตัวกลางในการบริหารและจัดการ สำหรับควบคุม Servo Motor และ Vacuum Pump ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามฟังก์ชันคำสั่งการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถดูดยึดเกาะและเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายตามคำสั่งผ่าน Numpad wireless ที่ส่งชุดคำสั่งในระยะ 10 เมตรได้



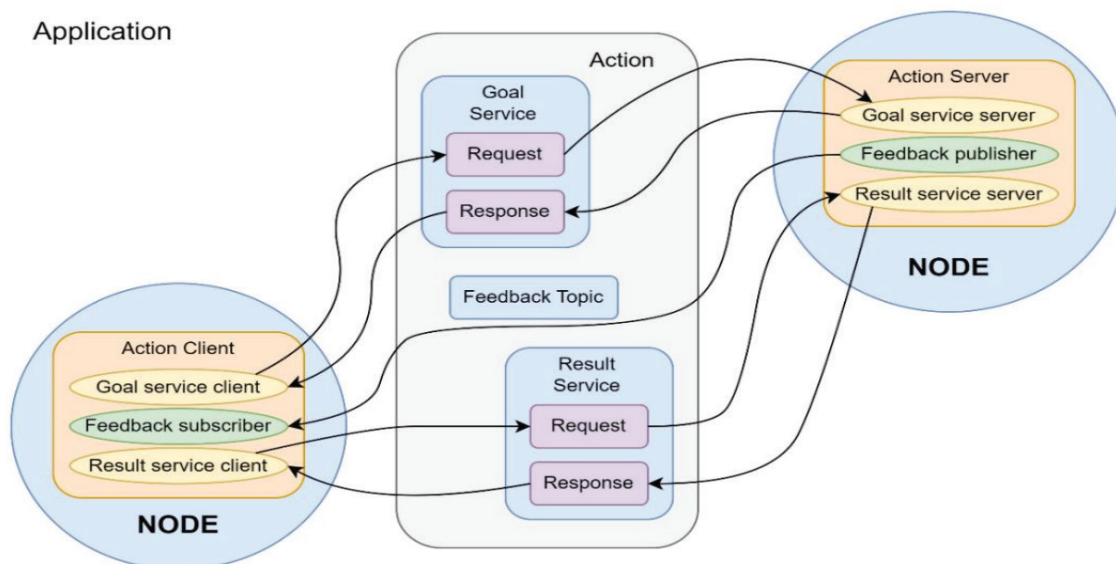
(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

(ก) การออกแบบหุ่นยนต์ (ข) หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจริง

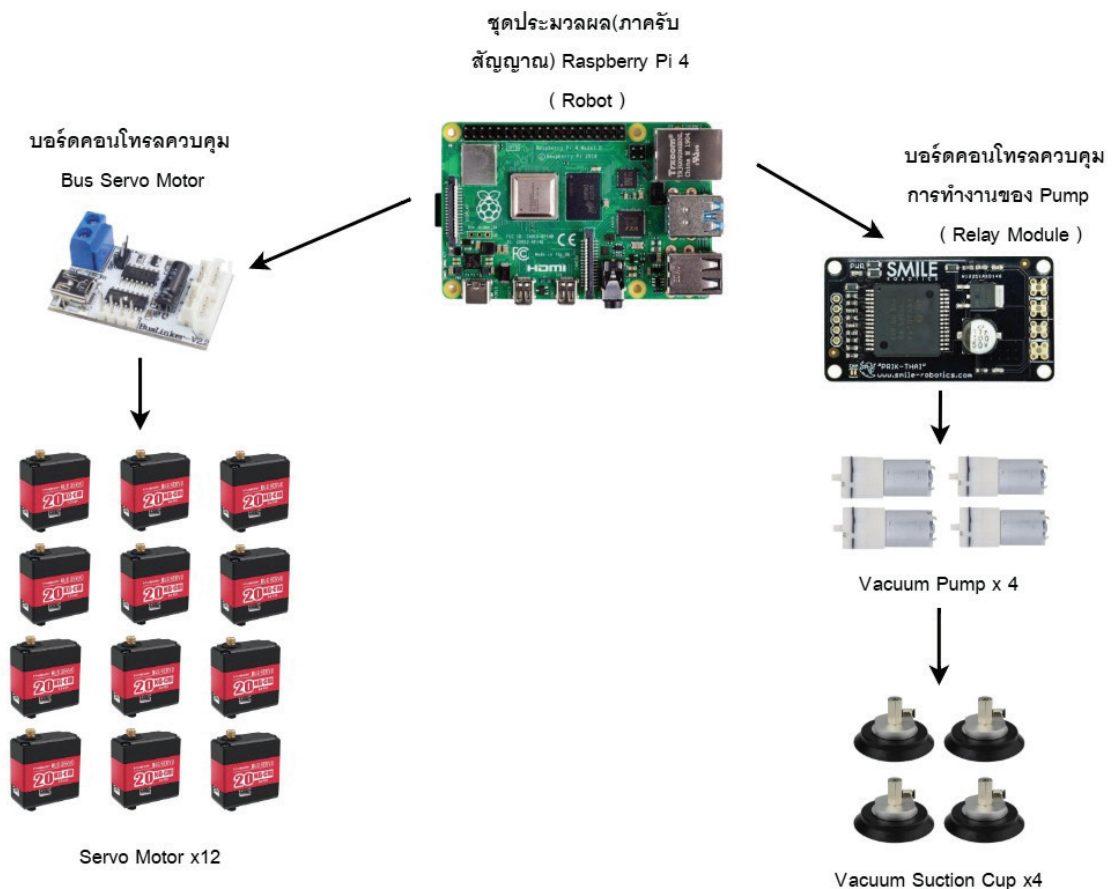


ภาพที่ 7 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาคส่งสัญญาณแต่ละโหนด

เมื่อการประมวลผลแล้วเสร็จจะส่งชุดคำสั่งด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) แยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ชุดคำสั่งส่วนที่ 1 ถูกส่งไปที่บอร์ดควบคุม Bus Servo motor เพื่อประมวลผลและตรวจสอบเงื่อนไขของชุดคำสั่ง จากนั้นจะส่งสัญญาณคำสั่งไปที่เซอร์โวมอเตอร์บังคับส่วนประกอบหุ่นยนต์เพื่อควบคุมการหมุนและเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามฟังก์ชันคำสั่งที่กำหนดไว้

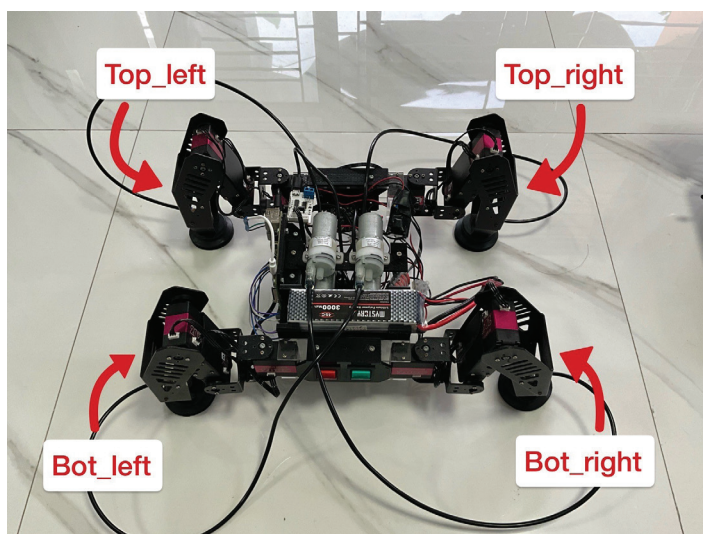
ชุดคำสั่งส่วนที่ 2 ถูกส่งไปที่บอร์ดรับสัญญาณคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของ Pump Vacuum เพื่อประมวลผลและตรวจสอบเงื่อนไขตามคำสั่ง จากนั้น Vacuum pump จะส่งลมดูดสุญญากาศขนาด 0.65 กิโลกรัมไปที่อุปกรณ์ยึดเกาะหุ่นยนต์กับพื้นผิว (Vacuum Suction Cup) เพื่อยึดตัวหุ่นยนต์กับพื้นผิว ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาครับสัญญาณ

การสร้าง ROS แบบ 2 โหนด (Node) คือการสร้างชุดคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์หลายอุปกรณ์ทำงานร่วมกัน โดยมี Robot operating system หรือ ROS และระบบ ZeroMQ เป็นตัวบริหารและจัดการการทำงาน เพื่อรับและส่งชุดคำสั่ง รวมถึงบันทึกข้อความสถานะไปยังหุ่นยนต์ การบันทึกข้อความสถานะจำเป็นต้องใช้ Pub socket และการรับคำสั่งผ่าน rep_socket โดยมีการจัดการ shutdown เมื่อเกิดข้อผิดพลาดหรือต้องการหยุดการทำงาน จากนั้นดำเนินการใช้ GPIO และ ZeroMQ ในการสื่อสารกับ ROS ทั้ง 2 โหนด (Node) โดยสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามคำสั่งที่ส่งมา ชุดคำสั่งมีการแบ่งการทำงานออกเป็นฟังก์ชันต่าง ๆ เพื่อให้สามารถสั่งงานหุ่นยนต์ได้ตามคำสั่ง เช่น เคลื่อนไปข้างหน้า ถอยหลัง หมุนซ้าย หมุนขวา

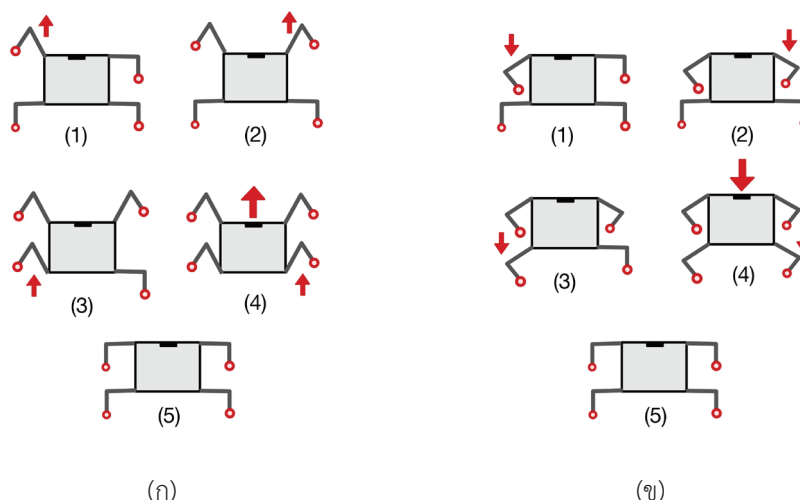
3. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ มีวิธีการที่ใช้ส่งสัญญาณคำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่และหมุนตัวตามฟังก์ชัน คือ เมื่อตั้งค่าการทำงานของ Servo motor และ Vacuum Pump แล้วผู้วิจัยได้กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยกำหนดการเคลื่อนที่เดินหน้า การเคลื่อนที่ถอยหลัง การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายและการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา ซึ่งในงานวิจัยได้กำหนดแต่ละขาเป็น ขาซ้ายหน้า (top_left) ขาขวามือหน้า (top_right) ขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวามือหลัง (bot_right)



ภาพที่ 9 การกำหนดชื่อขาของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางขึ้น 30 องศา เมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวามือหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวามือหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

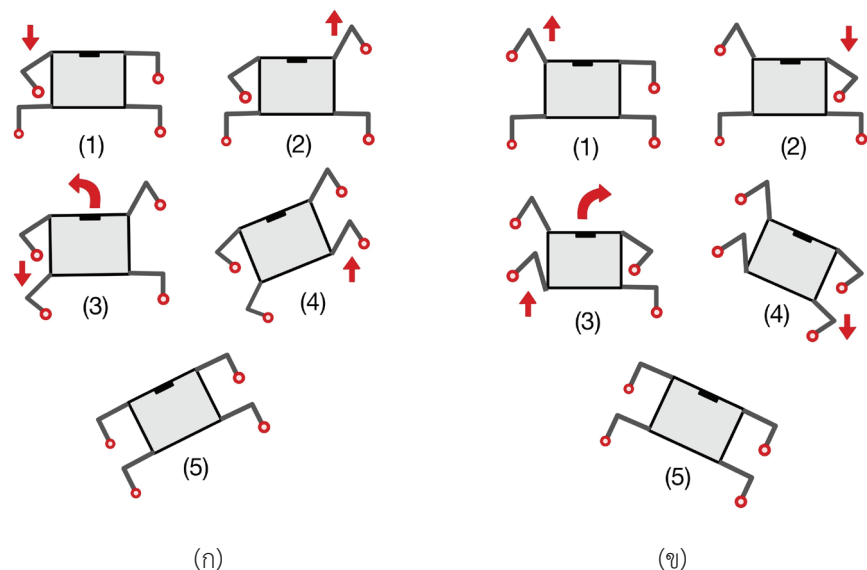
เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์ถอยหลัง จะมีหลักการเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่เดินหน้า โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่



ภาพที่ 10 การเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังของหุ่นยนต์
(ก) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ข) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางลง 30 องศา เมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) เคลื่อนที่ลงและขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา เพื่อให้หุ่นยนต์เกิดการหมุนไปทางด้านซ้าย และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่เลี้ยวขวาหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ลง 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) เคลื่อนที่ขึ้นและขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ลง 30 องศา เพื่อให้หุ่นยนต์เกิดการหมุนไปทางด้านขวา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

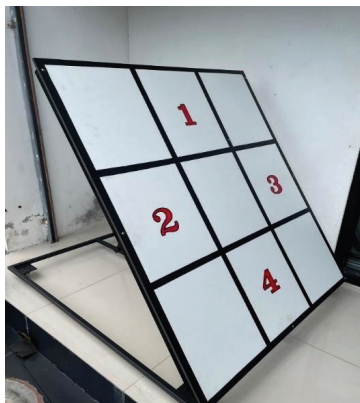


ภาพที่ 11 การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาของหุ่นยนต์
(ก) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเลี้ยวซ้าย (ข) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวขวา

4. การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะดำเนินการผ่านการส่งงานด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่ ที่จำลองความชันหลากหลายรูปแบบ ซึ่งออกแบบให้ใกล้เคียงกับมุมต่าง ๆ ของใบกังหันลมที่ใช้ทั่วไป ซึ่งมีค่าความชันประมาณ 0-20 องศา เพื่อทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่และปฏิบัติงานตามคำสั่งบนพื้นผิวที่มีความชันแตกต่างกัน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

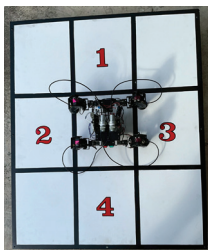
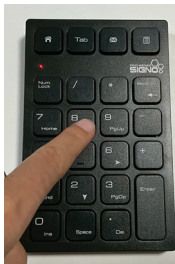
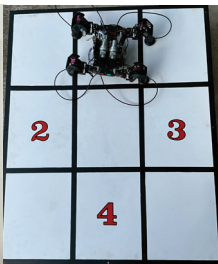
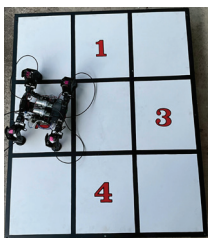
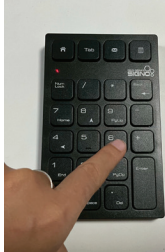
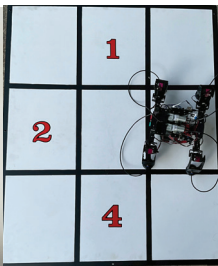
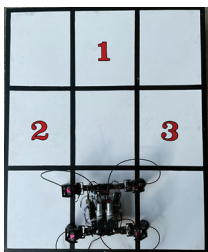
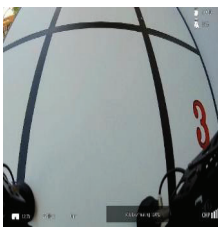
1. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบให้เป็นไปตามที่กำหนด
2. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายและยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศา และการบันทึกภาพ
3. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายและยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ

โดยสถานีทดสอบการเคลื่อนที่นั้นจะถูกแบ่งเป็นตาราง 9 ช่อง โดยช่องตรงกลางจะเป็นช่องสำหรับการเริ่มต้นการทดสอบในแต่ละรอบการทดสอบ ส่วนในช่องที่เหลือจะมีหมายเลขติดไว้ในช่อง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังช่องจุดหมายจะต้องสามารถบันทึกภาพถ่ายได้

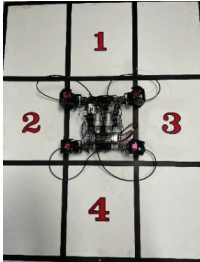
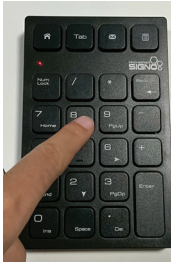
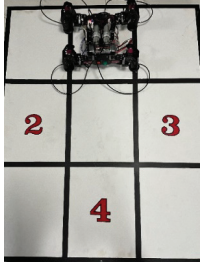
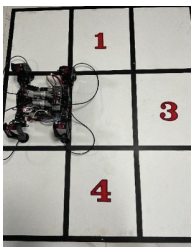
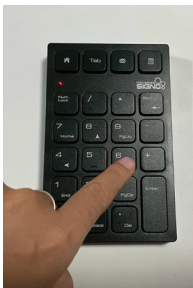
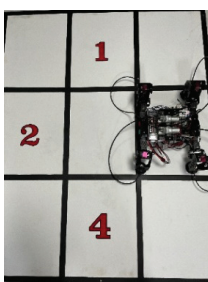
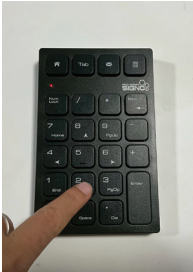
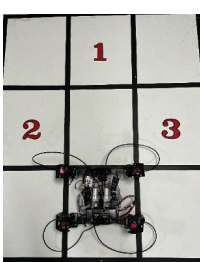
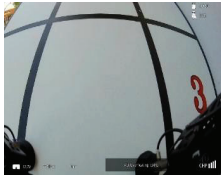


ภาพที่ 12 สถานีทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

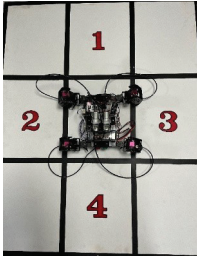
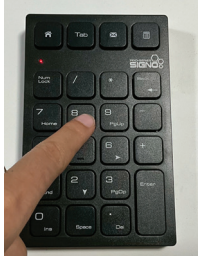
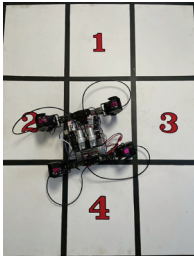
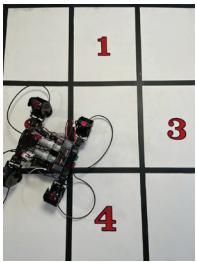
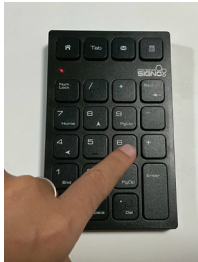
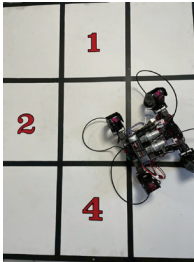
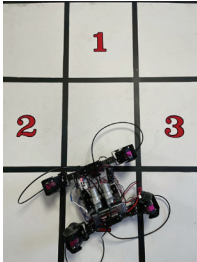
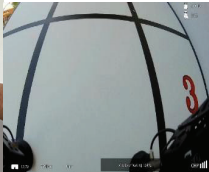
ตารางที่ 2 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินทางไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้ายไป หมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ตารางที่ 3 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะ
พื้นผิวที่มีความชัน 20 องศา และการบันทึกภาพ

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินทางไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้ายไป หมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ตารางที่ 4 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะ
พื้นผิวที่มีความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินหน้าไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้าย ไปหมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ผลการทดลองและวิจารณ์

การดำเนินการทดสอบหุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย เพื่อให้หุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่ต้องการและทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนพื้นผิวที่มีความชันที่แตกต่างกัน โดยมีการทดสอบ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่ที่ระดับความชัน 0 องศา ให้เป็นไปตามที่กำหนด ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และการส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพโดยเวลาในการเคลื่อนที่เดินทาง 0.44 นาที การเคลื่อนที่ถอยหลัง 0.38 นาที การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย 1.19 นาที และการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา 1.35 นาที

2. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศาและการบันทึกภาพ ผลปรากฏว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เดินทาง ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพได้ดี แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่าการเคลื่อนที่แบบพื้นราบ โดยเวลาในการเคลื่อนที่เดินทาง 9.24 นาที การเคลื่อนที่ถอยหลัง 4.26 นาที การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย 10.43 นาที และการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา 9.31 นาที

3. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแรงดูดของ Vacuum Pump ไม่เพียงพอที่จะดูดยึดหุ่นยนต์เพื่อรับน้ำหนักโดยรวมของตัวหุ่นยนต์ไว้ได้ ทำให้หุ่นยนต์มีการไถลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก

สรุป

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์มีรูปร่างคล้ายแมงมุมที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีขากระจายน้ำหนัก เพื่อความมั่นคง ทรงตัวได้ดีในพื้นที่แคบ พื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่ยื่นตราบและบนพื้นผิวที่มีความชันได้ โดยอาศัยระบบเกาะยึดพื้นผิวแบบสุญญากาศ การทำงานของหุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบปฏิบัติการ Robot Operating System หรือ ROS ผ่านบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 สามารถควบคุมแบบแยกโหนด (Node) และมีระยะการส่งชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ไปที่หุ่นยนต์ในระยะ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่ปฏิบัติงานได้จริงในการตรวจสอบใบกังหันลมที่มีขนาดแตกต่างกันและมีปัญหาในแต่ละจุดพร้อมส่งข้อมูลภาพเคลื่อนที่ผ่านสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 GHz หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และบันทึกภาพได้ตามฟังก์ชันที่กำหนด

การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามที่กำหนด เมื่อทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบ การเคลื่อนที่ที่ระดับความชัน 0 องศา หุ่นยนต์สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ เมื่อทดสอบการเคลื่อนที่และการยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศา บนสถานีทดสอบหุ่นยนต์ยังสามารถเคลื่อนที่เดินทาง ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพได้ แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่าการเคลื่อนที่แบบไม่มี ความชันและเมื่อทดสอบการเคลื่อนที่และการยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแรงดูดของ Vacuum Pump ในแต่ละขามีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.65 กิโลกรัม เมื่อหุ่นยนต์ทำการยกขาเพื่อเคลื่อนที่ แรงดูดจากขาที่ยึดพื้นไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักรวมของหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัม ส่งผลให้หุ่นยนต์เกิดการไถลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการทดสอบนี้ไม่ได้นำปัจจัยเรื่องแรงลมมาพิจารณาทดสอบการเคลื่อนที่บนสถานีทดสอบ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นความสามารถของหุ่นยนต์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบใบกังหันลมได้ตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ โดยเคลื่อนที่ไปตรวจสอบในส่วนที่มีปัญหาได้แต่ยังต้องได้รับการพัฒนา หรือต่อยอดเพิ่มเติมในส่วนรูปร่างของตัวหุ่นยนต์โดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่าและส่วนอุปกรณ์อาจมีการเปลี่ยนรุ่นของ Vacuum Pump ที่สามารถเพิ่มกำลังแรงดูดสุญญากาศ หรือติดตั้งถังเก็บอากาศเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ในสภาวะการณ์ที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะมากขึ้น ซึ่งการใช้หุ่นยนต์จะมีความน่าเชื่อถือ ในเรื่องการลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีการอื่น ๆ

เอกสารอ้างอิง

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). (2020). **Alternative energy development plan 2018-2037 (AEDP 2018)**. Ministry of Energy, Thailand. (In Thai)
- Electricity Generating Authority of Thailand. (2023). **Unseen EGAT by ENGY repair wind turbine**. Retrieved from <https://www.egat.co.th/home/20230518-art01> [2024, 18 May.] (In Thai)
- Elkmann, N., Felsch, T., & Forster, T. (2010). **Robot for Rotor Blade Inspection**. In the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry Delta Centre-Ville (pp. 1-5) Montréal, Canada. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/CARPI.2010.5624444>
- Gong, C., & Fan, L. (2023). Design and experiments of a hexapod robot for inspection of wind turbine blades. **2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)**, 1-6.
- Jeon, M., Byunggon, K., Park, S., & Hong, D. (2012). **Maintenance robot for wind power blade cleaning**. 2012 Proceedings of the 29th ISARC, Eindhoven, Netherlands: The International Association for Automation and Robotics in Construction.
- Jung, S., Shin, J., Myeong, W., & Myung, H. (2015). Mechanism and system design of MAV (Micro Aerial Vehicle)-type wall-climbing robot for inspection of wind blades and non-flat surfaces. **2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)**, 1757-1761.
- Katsaprakakis, D, A., Papadakis, N., & Ntintakis, I. (2021). A comprehensive analysis of wind turbine blade damage. **Energies**, **14**(18), 5974.
- Lauener, J., & Sliwinski, W. (2017). **How to design & implement a modern communication middleware based on ZeroMQ**. Conference: ICALEPCS 2017 - International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Barcelona, Spain. Retrieved from <https://accelconf.web.cern.ch/icalepcs2017/papers/mobpl05.pdf> [2023, 13 Jan.]
- Li, Zhengyang., Li, Zhenjing., Tam, L.M., & Xu, Q. (2023). Design and development of a versatile quadruped climbing robot with obstacle-overcoming and manipulation capabilities. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, **28**, 1649-1661.
- Nitta, Y., Tamura, S., & Takase, H. (2019). **ZytleBot: FPGA integrated development platform for ROS based autonomous mobile robot**. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FPL.2019.00077> [2023, 22 Aug.]

- Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Berger, E., Wheeler, R., & Ng, A. (2009). **ROS: an open-source Robot Operating System**. Paper presented at the ICRA Workshop on Open Source Software, Kobe, Japan. Retrieved from <https://robotics.stanford.edu/~ang/papers/icraoss09-ROS.pdf>
- Shen, L., Zhao, X., Gao, C., & Shen, R. (2024). **Design of wind turbine cabin inspection robot system**. Conference: 2024 7th International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering (IRCE). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/IRCE62232.2024.10739809> [2024, 18 Dec.]
- Yang, Y. Z., Ai, C. S., & Lee, K. (2013). A study of robot platform based on WiFi remote control. **Applied Mechanics and Materials**, **418**, 20-24.