



การพัฒนาแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ควบคุมด้วย Edge AI เพื่อจดจำเส้นทางจากกล้องติดตามวัตถุ
DEVELOPMENT OF A SMALL ROBOTIC ARM CONTROLLED BY EDGE AI
TO RECOGNIZE THE PATH FROM THE OBJECT TRACKING CAMERA

สมชาย เตียเจริญ^{1*} และ สมพร เตียเจริญ²

Somchai Tiacharoen¹ and Somporn Tiacharoen²

¹วิศวกร ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*Corresponding author: somchai.t@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์เอเอไอโดยใช้กล้องเป็นอินพุต โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรถูกพัฒนาด้วยไลบรารีโอเพ่นซีวีและเทนเซอร์โฟลเพื่อทำการค้นหาวัตถุในภาพและสั่งแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ ระหว่างที่กล้องกำลังติดตามวัตถุอุปกรณ์เอเอไอจะจดจำเส้นทางเคลื่อนที่ไปพร้อมกันเพื่อเป็นไฟล์ข้อมูล CSV สำหรับสั่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในเส้นทางเดิมซ้ำได้ ดังนั้นจึงสามารถสอนให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในเส้นทางเดิมได้จากเส้นทางที่บันทึกเป็นไฟล์ CSV ได้ ผลการดำเนินงานได้พัฒนาโปรแกรมสั่งงานด้วยโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรบนราสเบอร์รี่พาย สร้างแขนหุ่นยนต์ที่ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ และวงจรขับอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเคลื่อนไหว พัฒนาโปรแกรมบนบอร์ดอาดูอินโอโนเพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยจะรับคำสั่งจากราสเบอร์รี่พายผ่านพอร์ตอนุกรม ผลการทดลองแขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ติดตามวัตถุแบบเรียลไทม์ได้สำเร็จด้วยความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ย 6 เซนติเมตรต่อวินาที แขนหุ่นยนต์สามารถจดจำเส้นทางเคลื่อนที่ได้และควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ซ้ำในเส้นทางเดิมได้ด้วยค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.5 เซนติเมตร ในอนาคตสามารถนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยการจดจำการเคลื่อนที่จากภาพแบบเรียลไทม์ไปประยุกต์ใช้สำหรับงานอื่นได้เช่น การทำเกษตรอัจฉริยะ โรงงานอัจฉริยะ เป็นต้น

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์, ติดตามวัตถุ, เอเอไอ, สเต็ปเปอร์มอเตอร์, โอเพ่นซีวี, เทนเซอร์โฟล, อาดูอินโอโน

Somchai Tiacharoen^{1*} and Somporn Tiacharoen²

^{1*} Engineer, Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

² Lecturer, Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

ABSTRACT

This article presents real-time object detection on an Edge AI device using a camera as input. A machine learning model was developed using the OpenCV and TensorFlow libraries to detect objects in an image and control a robotic arm to follow the object's movement. While the camera is tracking the object, the Edge AI device simultaneously memorizes the movement path, saving it as a CSV data file. This allows the robotic arm to be trained to repeat the same path using the saved CSV file. The project developed a program using the machine learning model on a Raspberry Pi, which created a robotic arm with stepper motors and electronic motion drivers. A program was developed on an Arduino Uno board to control the robotic arm, receiving commands from the Raspberry Pi via the serial port. Experimental results indicate that the robotic arm successfully achieves real-time object tracking at an average speed of 6 centimeters per second. The robotic arm can memorize the movement path and repeat the movement with an average error of 0.5 centimeters. In the future, real-time image recognition technology can be applied to other applications such as smart agriculture and smart factories.

KEYWORDS: Robot Arm, Object Tracking, Edge AI, Stepper Motor, OpenCV, TensorFlow, Arduino Uno

1. บทนำ

แขนหุ่นยนต์มีความสำคัญในหลากหลายสาขา ช่วยเพิ่มความเร็วในการทำงาน และทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานานได้ ลดการใช้แรงงานคน ลดต้นทุนการผลิต สามารถทำงานร่วมกับมนุษย์เพื่อลดอันตรายจากการทำงานในพื้นที่เสี่ยงหรือสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย แขนหุ่นยนต์ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน เช่น งานประกอบชิ้นส่วน การเชื่อม การทาสี การจัดวางวัสดุและการบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้แขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนรู้และเสริมทักษะทางวิศวกรรม สิ่งที่ทำนายคือจะทำอย่างไรให้หุ่นยนต์เรียนรู้ได้โดยตรงจากการทำงานของมนุษย์โดยไม่ใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมสั่งงาน บทความนี้จะใช้การสอนโดยจดจำการเคลื่อนที่จากภาพที่มนุษย์สาธิตให้ดู

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

พัฒนาค้นแบบแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ พัฒนาโปรแกรมการจดจำวัตถุในภาพที่ใช้กล้องเว็บแคม (webcam camera) เป็นอินพุตแบบเรียลไทม์ด้วยราสเบอร์รี่พาย 4 (Raspberry Pi 4) และใช้ข้อมูลจากการประมวลผลมาควบคุมแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ติดตามวัตถุที่ต้องการ โดยมีการบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ไว้เป็นไฟล์ข้อมูล CSV และสามารถสั่งให้เคลื่อนที่ซ้ำในเส้นทางเดิมได้ภายหลัง

3. ขอบเขตของการวิจัย

พัฒนาค้นแบบแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์และบอร์ดจับควบคุมด้วยอาร์ดูอิโนโอโนที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จากเส้นพลาสติกชนิด PLA พัฒนาระบบตรวจจับภาพและระบบควบคุมให้แขนหุ่นยนต์ติดตามวัตถุ พัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพจากกล้องเว็บแคมและโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรในราสเบอร์รี่พาย 4 เพื่อให้แขนหุ่นยนต์สามารถติดตามวัตถุแบบเรียลไทม์ โดยมีการจดจำเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นไฟล์ข้อมูล CSV และส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมให้กับ

อาดูลิโน (Arduino Uno) ไปควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เข้าตามเส้นทางเดิมได้ ตัวแปรอิสระคือ วัตถุที่ใช้ในการติดตาม และเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตัวแปรตามคือ ความแม่นยำในการติดตามวัตถุของแขนหุ่นยนต์ ความสามารถในการจดจำเส้นทางและเคลื่อนที่ได้ตามเส้นทางเดิมซ้ำ

4. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ราสเบอรี่พายจับภาพด้วยกล้องเว็บแคมผ่านโปรแกรมโอเพ่นซีวี โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรตรวจจับและติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบเรียลไทม์ ข้อมูลการเคลื่อนที่ของวัตถุจะส่งให้บอร์ดอาดูลิโนผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ติดตามวัตถุ การเคลื่อนที่ในเส้นทางเดิมเป็นการพัฒนาโปรแกรมในราสเบอรี่พายเพื่ออ่านค่าเส้นทางการเคลื่อนที่จากไฟล์ข้อมูล CSV ที่บันทึกไว้ จากนั้นส่งข้อมูลไปให้บอร์ดอาดูลิโนควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่เข้าตามเส้นทางเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

5. หลักการและข้อมูลทั่วไป

แขนหุ่นยนต์ประกอบด้วยกลไกแบบข้อต่อทำให้เคลื่อนที่ได้ ข้อต่อมีหลายแบบทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ ส่วนปลายของแขนอาจจะใช้เพื่อการหยิบจับวัตถุ ปัญหาของแขนหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรม คือ ราคาแพงและมีโปรแกรมในการสั่งงานเฉพาะเจาะจง ขาดความยืดหยุ่นในการพัฒนาโปรแกรม บทความนี้จึงสร้างแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กขึ้นเองแบบ Collaborative Robots เพื่อทำงานร่วมกับมนุษย์ โดยแบบแปลนของแขนหุ่นยนต์เป็นโอเพ่นซอร์ส เลือกใช้วัสดุต้นทุนต่ำและสามารถสร้างได้เองในประเทศ การสร้างแขนหุ่นยนต์ที่ใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ทำให้รับโหลดทางกลได้มากและควบคุมได้ง่าย การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะใช้บอร์ดอาดูลิโนในการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซี

สำหรับภาคอุตสาหกรรมนั้นอุปกรณ์ที่จะใช้ต้องมีความน่าเชื่อถือสูง ราคาถูกและมีขนาดเล็ก ทำให้อุปกรณ์เองเออเองมีความน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากความเร็วในการคำนวณและหน่วยความจำที่จำกัดทำให้การพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่องจักรบนอุปกรณ์เองเออเองจำเป็นต้องมีความจำเพาะเจาะจงสูง ไม่สามารถใช้งานได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป บทความนี้เลือกใช้ราสเบอรี่พาย 4 ในการพัฒนาเนื่องจากมีความเร็วและหน่วยความจำที่เหมาะสม มีขาอินพุต/เอาต์พุตเนกประสงค์ (GPIO) 40 ขา มีหน่วยความจำแรม 8 GB มีขาในการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม พอร์ต USB สามารถต่อกับกล้องเว็บแคมได้และสามารถต่อพอร์ตอนุกรมของอาดูลิโนได้โดยตรงอีกด้วย

บทความนี้จะพัฒนาโดยใช้ภาษาไพทอน (Python) ในการเขียนโปรแกรมร่วมกับไลบรารีโอเพ่นซีวี (OpenCV) สำหรับการประมวลผลภาพเพราะมีความยืดหยุ่นสูง ใช้งานได้หลากหลายและที่สำคัญทำงานแบบเรียลไทม์ได้ โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรจะใช้ไลบรารีเทนเซอร์ฟลว์ (TensorFlow) ที่มีเวิร์กโฟลว์สำหรับการเขียนและพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในอุปกรณ์เองเออเองที่มีข้อจำกัดเรื่องความเร็วในการประมวลผลและหน่วยความจำ

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

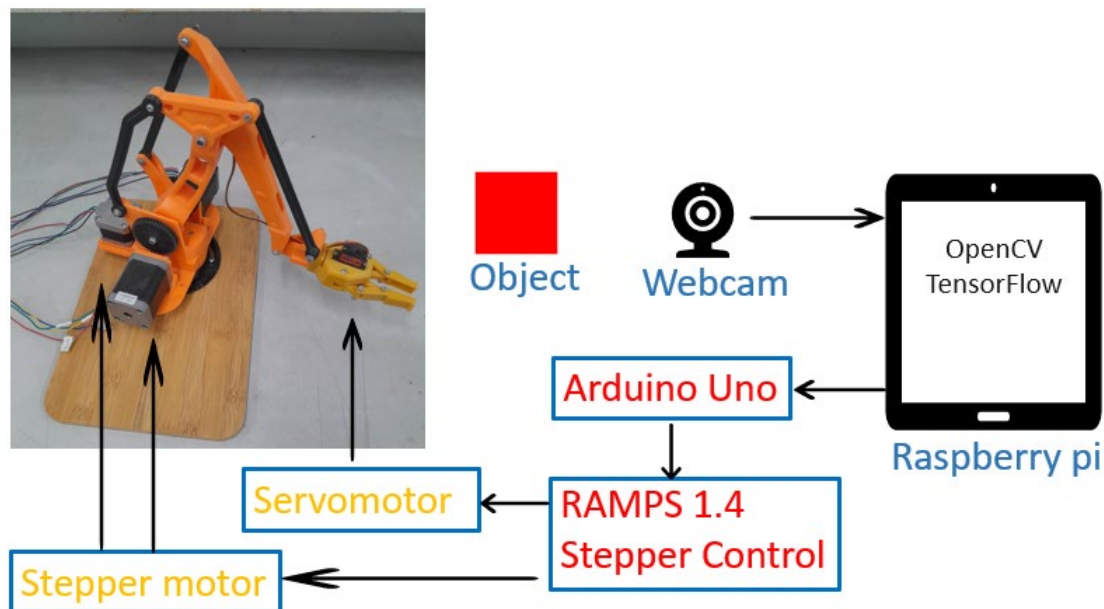
ก่อนหน้านี้ได้มีการสร้างหุ่นยนต์อัตโนมัติประเภทต่าง ๆ ขึ้นมา มีการนำเสนอระบบควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อการศึกษาโดยใช้รหัสเบอรี่พายสำหรับตรวจจับ ติดตาม และเดินตามวัตถุสีที่กำหนด โดยใช้กล้องประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ด้วยโอเพ่นซีวีเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่และแสดงผลบนหน้าจอ[1] แต่ควบคุมแบบรวมศูนย์ทั้งส่วนของเอไอและการควบคุมหุ่นยนต์อยู่ในรหัสเบอรี่พายทั้งหมด ทางด้านการแพทย์มีการนำเสนอเฟรมเวิร์กการถ่ายทอดทักษะจากมนุษย์สู่หุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการเคลื่อนที่ในพื้นที่แคบ โดยใช้ Kinect ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์เพื่อวางแผนเส้นทางที่เหมาะสม และควบคุมหุ่นยนต์ให้ติดตามเส้นทางนั้นอย่างแม่นยำ[2] แต่มีข้อจำกัดที่เป็นระบบควบคุมด้วย Kinect สำหรับในงานอุตสาหกรรมมีการพัฒนาหุ่นยนต์ที่มีแขนสำหรับตักสูงขึ้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดอันตรายต่อคนงานด้วยการประมวลผลภาพและการกำหนดเส้นทาง[3] ซึ่งการกำหนดเส้นทางเป็นการเขียนโปรแกรมถ้าจะเปลี่ยนเส้นทางใหม่ต้องเขียนโปรแกรมแล้วอัปโหลดโปรแกรมใหม่ และมีบทความนำเสนอวิธีสอนหุ่นยนต์แบบผสมผสาน (OMORTM) โดยใช้เทคโนโลยี VR สร้างหุ่นยนต์เสมือนจริง สามารถสอนท่าทางการทำงานได้อย่างเป็นธรรมชาติและปลอดภัย ผ่านการควบคุมด้วยท่าทางและเสียง ก่อนที่หุ่นยนต์จริงจะเลียนแบบการเคลื่อนไหว[4] ซึ่งใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมร่วมกับ VR ที่มีราคาแพง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การประมวลผลเอไอด้วยรหัสเบอรี่พายโดยได้แรงบันดาลใจจากบทความ[5,6] โดยแยกส่วนการควบคุมของแขนหุ่นยนต์เป็นอิสระด้วยอาคูอินโอโน การเคลื่อนที่มาจากการจดจำเส้นที่มองเห็นด้วยกล้องตามการสาธิตของมนุษย์ ข้อมูลในการจดจำจะเป็นการควบคุมให้แขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สร้างขึ้นเองเคลื่อนที่ตามวัตถุที่ต้องการ เนื่องจากความเร็วในการประมวลผลช้า หน่วยความจำมีความจุน้อยแต่ต้องประมวลผลแบบเรียลไทม์ จึงอาศัยการตรวจจับวัตถุ (object detection) แทนการจดจำวัตถุ (object recognition)

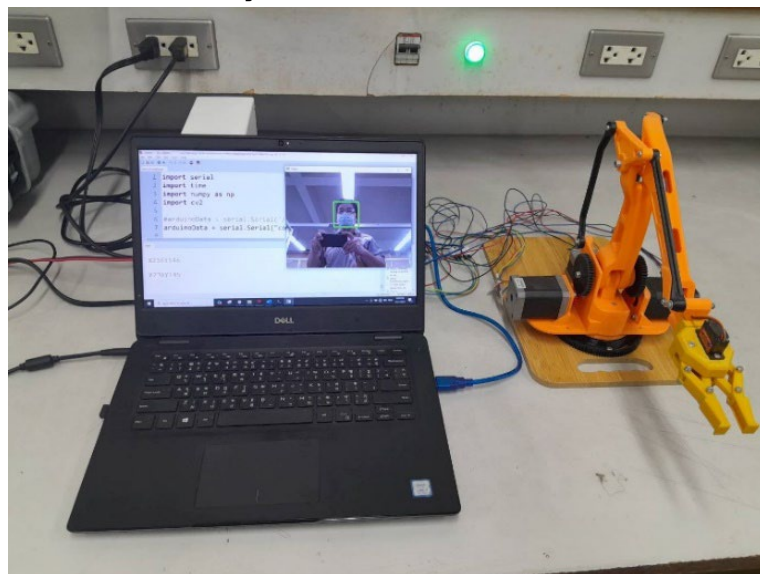
7. วิธีการดำเนินการวิจัย

การสร้างและพัฒนาต้นแบบแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สามารถควบคุมด้วยรหัสเบอรี่พาย พัฒนาระบบตรวจจับภาพและระบบควบคุมจากการตรวจจับภาพ อัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุ การใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรทั้งหมดจะทำบนรหัสเบอรี่พายและส่งคำสั่งให้กับบอร์ดอาคูอินโอโนเพื่อควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยประเมินผลจากการควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้ตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ ดังแสดงในรูปที่ 2 การพัฒนาโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักร เริ่มจากศึกษาโอเพ่นซีวีเพื่อการตรวจจับใบหน้าที่ได้รับการฝึกโดยใช้ไลบรารี HAAR บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นพัฒนาเป็นโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อการตรวจจับวัตถุด้วยรหัสเบอรี่พาย โฟลวชาร์ตการทำงานแสดงในรูปที่ 4 คำนวณหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุจากภาพ วิธีการหาตำแหน่งเป็นการตรวจจับเฉพาะวัตถุหลักแยกจากพื้นหลังโดยค้นหา contours ของวัตถุที่มีพื้นที่มากที่สุดในภาพ เนื่องจากวัตถุที่ต้องการติดตามจะมีขนาดใหญ่ที่สุด จากนั้นคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุเทียบกับพิกัดตำแหน่งจริงบนพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์ โดยคำนวณหาตำแหน่งศูนย์กลาง (centroid) ของวัตถุที่ตรวจจับได้ในภาพ (วิดีโอเฟรมปัจจุบัน) โดยใช้การเฉลี่ยแบบ moving average ด้วยบัฟเฟอร์ขนาดต่างกัน (256 เฟรม) เพื่อลด noise และให้การสั่งงานมอเตอร์นุ่มนวล ลดการสั่นหรือกระตุก ทำให้การติดตามวัตถุนุ่มนวลและมีเสถียร เก็บตำแหน่ง centroid ที่เฉลี่ยแล้ว (จาก window 256) ลงใน list เพื่อใช้วาดเส้นทาง (trajectory) ของวัตถุบนจอแสดงผลเพื่อให้เห็น path การเคลื่อนที่ด้วยการวาดวงกลมสีเหลืองขนาดรัศมี 5 พิกเซลบนจอ

บันทึกข้อมูล centroid เฉลี่ยพร้อมหมายเลขเฟรม (frame count) นำไปเขียนไฟล์ CSV สำหรับการวิเคราะห์หรือเรียกใช้งานภายหลัง
สุดท้ายส่งค่าพิกัดตำแหน่ง centroid ที่เฉลี่ยแล้วเป็นคำสั่งให้กับบอร์ดอาคูอิโนโนผ่านทางพอร์ตอนุกรม



รูปที่ 2 ภาพรวมระบบทั้งหมด

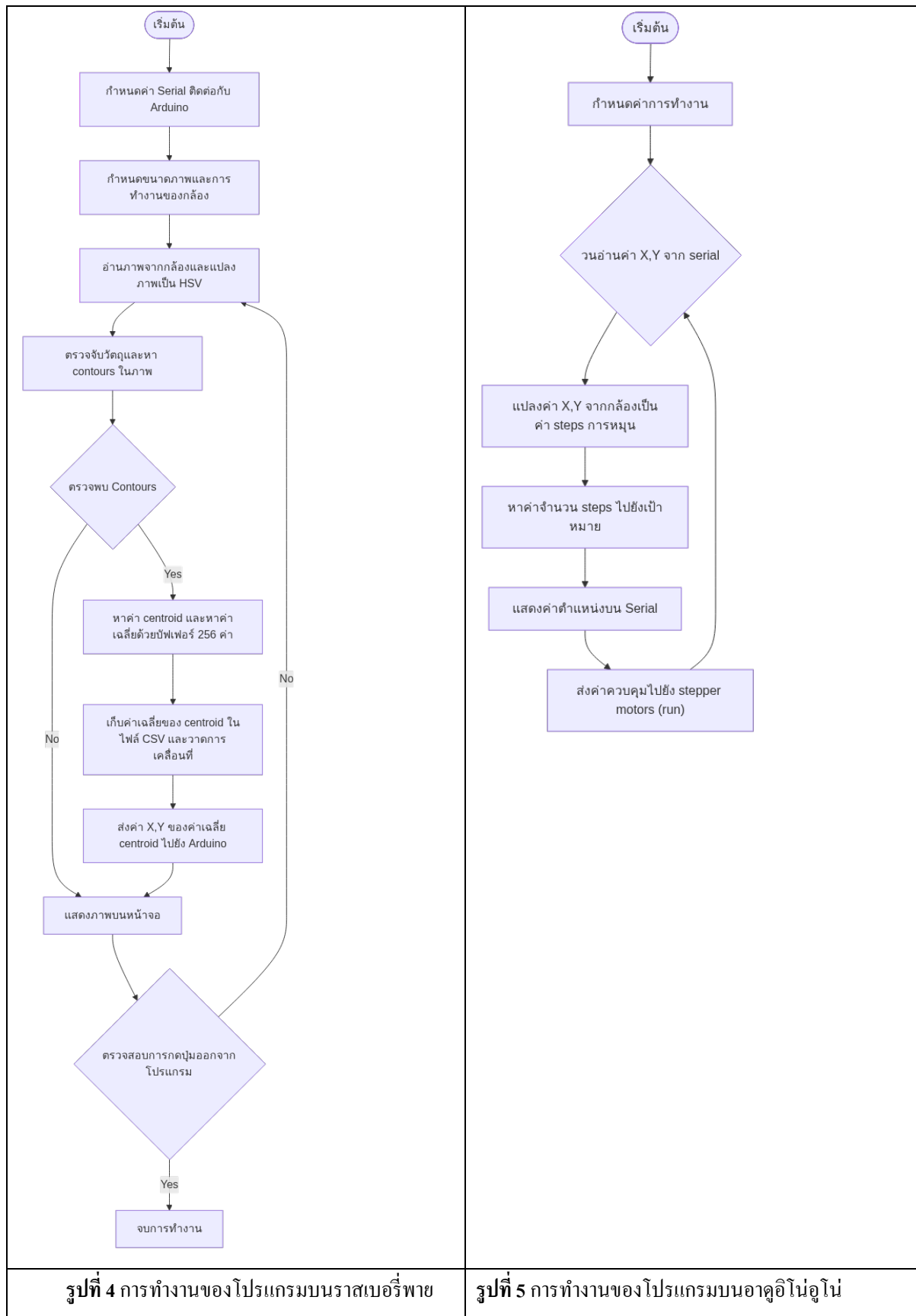


รูปที่ 3 จากศึกษาโอเพ่นซีวีเพื่อการตรวจจับใบหน้า

8. การพัฒนาแขนหุ่นยนต์

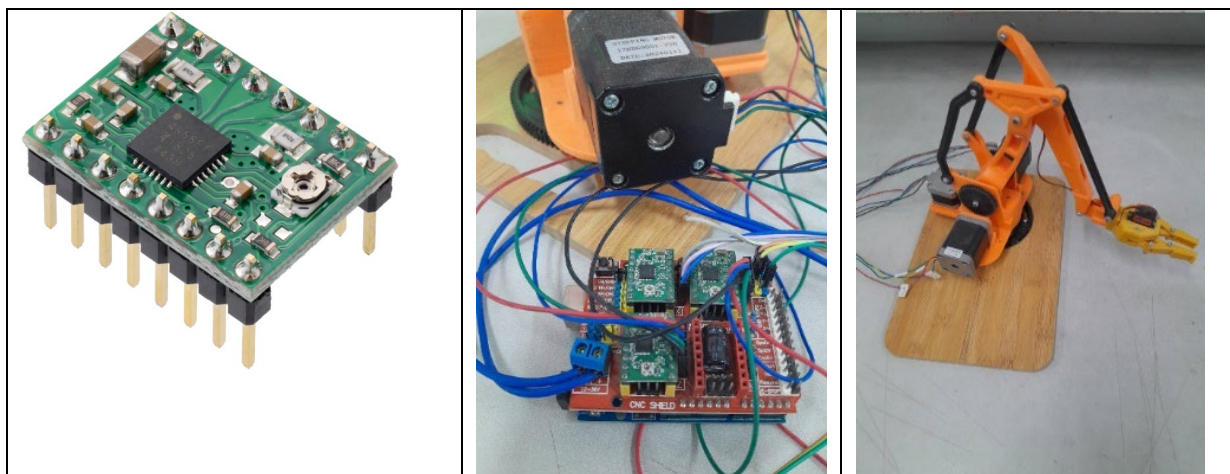
การสร้างหุ่นยนต์เริ่มต้นด้วยการโหลดต้นแบบจากแหล่งโอเพนซอร์สเพื่อให้สามารถทดสอบแนวคิด ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างรวดเร็ว มีการปรับแต่งต้นแบบให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมมากขึ้นโดยเปลี่ยนแบบแปลนของโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ก่อนที่จะสั่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และเปลี่ยนรุ่นของสเต็ปเปอร์มอเตอร์พร้อมทั้งบอร์ดขับให้สามารถรับโหลดทางกลได้เพิ่มขึ้น มีการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนทางโครงสร้างแขนหุ่นยนต์บางอย่างให้ใช้กับของที่มีในประเทศได้

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโอโนเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ได้รับความนิยมนำอย่างสูงเนื่องจากใช้งานง่าย มีไลบรารี เอกสารสนับสนุนและมีผู้ใช้งานจำนวนมากที่พร้อมให้ความช่วยเหลือ ได้พัฒนาโปรแกรมควบคุมบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้กับอาดูอิโนโอด้วยภาษาซี ปรับแต่งค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของมอเตอร์เพื่อให้แขนหุ่นยนต์สามารถติดตามและเคลื่อนที่ตอบสนองตามคำสั่งไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ จากนั้นจึงพัฒนาโปรแกรมให้กับอาดูอิโนโอขึ้นอีกชั้น โดยให้สามารถรับคำสั่งได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรม ทำการทดสอบต่างๆ เช่น การทดสอบบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์ การควบคุมตำแหน่งของสเต็ปเปอร์มอเตอร์และการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็ก รวมถึงการกำหนดคิวดำเนินการจริงบนพื้นที่การทำงานของแขนหุ่นยนต์การควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์จะต้องใช้บอร์ดขับเคลื่อน (driver) เชื่อมต่ออยู่ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และตัวมอเตอร์ วงจรขับที่เลือกใช้เป็นบอร์ดขับเคลื่อน CNC Shield V3 ร่วมกับโมดูล A4988 โมดูลมีจุดเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มาจากภายนอก บอร์ดขับเคลื่อนที่ใช้ในบทความนี้สามารถรองรับกระแสไฟได้ตั้งแต่ 8 ถึง 35 โวลต์ บอร์ดขับเคลื่อนใช้เพิ่มแรงดันและกระแสไฟฟ้าทำให้สามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนโอได้ บอร์ดขับเคลื่อนจะรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทางอินพุตแล้วจึงส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกเอาต์พุตไปยังสเต็ปเปอร์มอเตอร์ อาดูอิโนโอจะใช้ขาดิจิตอลทั่วไปเชื่อมต่อเข้ากับขาควบคุมที่กำหนดบนบอร์ดขับเคลื่อน อาดูอิโนโอจะส่งสัญญาณควบคุมหลักสองสัญญาณไปยังบอร์ดขับเคลื่อนแต่ละตัวคือสัญญาณ step ที่ใช้สั่งให้มอเตอร์หมุนไปที่ละขั้นและสัญญาณ direction ที่ใช้ในการกำหนดทิศทางการหมุน การเขียนโปรแกรมจะใช้ไลบรารี AccelStepper สำหรับควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ซึ่งช่วยให้การเขียนโปรแกรมควบคุมทำได้ง่ายขึ้น โดยในการพัฒนาจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าได้เชื่อมต่อสายไฟของแต่ละเฟสของมอเตอร์อย่างถูกต้อง โฟลวชาร์ตโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 5 โดยความเร็วในการสื่อสารพอร์ตเป็น 9600 ในโปรแกรมไลบรารี AccelStepper สำหรับควบคุมมอเตอร์สเต็ปเปอร์ได้กำหนดค่าความเร็วสูงสุดหมุนของมอเตอร์ตัวอย่างคำสั่งการเคลื่อนที่ไปตำแหน่ง



1000 steps คือ stepper.move (1000); ค่าความละเอียดของภาพจากกล้องคือ 1920 x 1080 พิกเซล โดยโปรแกรมจะแปลงพิกัดหน้าจอขนาด 1920 x 1080 พิกเซล โดยแมปเป็นค่า 1000 steps ของมอเตอร์แบบ relative โดยแต่ละแกนการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ได้จาก -1000 ถึง 1000 โดยจุด 0 จะอยู่กึ่งกลางจอ

การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กจะพัฒนาโดยใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motors) เป็นตัวขับเคลื่อนหลัก เพื่อศึกษาในการออกแบบโครงสร้างทางกลและการเขียนโปรแกรมควบคุม โครงสร้างทางกลใช้วัสดุเป็นพลาสติก PLA ชิ้นส่วนพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติประกอบขึ้นเป็นแขนหุ่นยนต์ ผลการพัฒนาต้นแบบแรกพบว่ามอเตอร์ที่ใช้ในต้นแบบโอเพนซอร์สไม่มีกำลังมากพอที่จะขับเคลื่อนแกนแขนหุ่นยนต์ตามที่ต้องการ ได้จึงต้องทำต้นแบบตัวที่สอง แนวทางการออกแบบทางโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ตัวที่สองเป็นการใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ต้องแข็งแรงเพื่อรองรับแรงบิดที่สูงและจำเป็นต้องออกแบบเฟืองทดรอบ (gearbox) เพื่อเพิ่มแรงบิดให้กับมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 6 หุ่นยนต์ที่ใช้งานได้จริงโดยได้มีการปรับต้นแบบ 3 มิติ ให้สามารถติดตั้งสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีกำลังสูงขึ้นได้ โดยใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็น NEMA17 (17HD60001) มุมแต่ละขั้น $1.8^\circ \pm 0.09^\circ$ มีความแข็งแรงสามารถรับแรงบิดได้สูง 700mN.m ชิ้นส่วนบางอย่างได้รับการปรับเพื่อให้ใช้ของที่มีในประเทศ ปรับแกนกลางเฟืองให้สามารถประกอบได้พอดีและชิ้นส่วนของลูกปืนในฐานถูกปรับใหม่ทั้งหมด ต้นแบบแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็กตัวที่สองจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้พลาสติก PLA ขึ้นรูปด้วย 3D เป็นหลักและส่วนประกอบติดตั้งโดยใช้น็อตทำให้โครงสร้างของแขนหุ่นยนต์มีความแข็งแรง การคำนวณแรงบิดที่ต้องการของแต่ละข้อต่อของแขนหุ่นยนต์เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้มอเตอร์ที่เลือกมามีกำลังเพียงพอ หากมีการใช้มอเตอร์หลายตัวหรือมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอกเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์โดยตรง แขนหุ่นยนต์มีจำนวน 4 องศาอิสระ (Degrees Of Freedom) ได้แก่ ฐาน (Waist) หัวไหล่ (Shoulder) ข้อศอก (Elbow) มือจับ (Gripper) และการออกแบบส่วนปลายมือจับต้องการให้สามารถหยิบจับวัตถุตัวอย่างที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาด 2x2 นิ้วได้



รูปที่ 6 บอร์ดขับเคลื่อนสเต็ปเปอร์มอเตอร์ และแขนหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

9. ผลการทดลอง

การควบคุมการเคลื่อนที่แต่ละแกนของแขนหุ่นยนต์จะได้รับการทดสอบและเปรียบเทียบบนพื้นที่การทำงานจริงในห้องแล็บที่สะอาดและมีเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมือนกันเช่น อุณหภูมิ แสงสว่างและพื้นหลังของวัตถุ โดยมีการปรับแต่งเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลอง การทดสอบระบบตรวจจับและระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์จะมีการกำหนดเงื่อนไขของการทดสอบการตรวจจับและการเคลื่อนที่ในห้องทดลอง การทดสอบการตรวจจับวัตถุเริ่มจากริโมทเข้ารหัสเบอร์พายจากเครื่องคอมพิวเตอร์ และ

เริ่มการรัน โปรแกรมการจดจำวัตถุ ปรับตำแหน่งของเว็บแคมให้อยู่ในแนวตั้ง จ่ายไฟเลี้ยงให้กับอาคูอิโนโน้เพื่อรัน โปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ วางตำแหน่งของแกนแขนหุ่นยนต์ในตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นที่จริงในการเคลื่อนที่ของแขน หุ่นยนต์โดยยังไม่จ่ายไฟเลี้ยงบอร์ดขับเคลื่อน วางตำแหน่งวัตถุไว้กึ่งกลางของพื้นที่ตรวจจับของเว็บแคมให้มากที่สุดโดยสังเกต จากภาพกรอบของวัตถุที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

จากนั้นจ่ายไฟเลี้ยงบอร์ดขับเคลื่อนแล้วจึงทำการทดสอบระบบทั้งหมด โดยขยับวัตถุขึ้นและลงอย่างช้าๆออกจากตำแหน่ง กึ่งกลางของเว็บแคมในแนวแกน x เว็บแคมจะจดจำวัตถุและส่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นลงติดตามการขยับวัตถุ ทำการทดลอง ซ้ำในแนวแกน y โดยขยับวัตถุมาที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเว็บแคมแล้วขยับวัตถุไปทางซ้ายและขวาอย่างช้า ๆ ออกจากตำแหน่ง กึ่งกลางของเว็บแคมในแนวแกน y เว็บแคมจะจดจำวัตถุและส่งให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวาในระดับความสูงเดิม ติดตามการขยับของวัตถุ ดังที่เห็นในรูปที่ 7

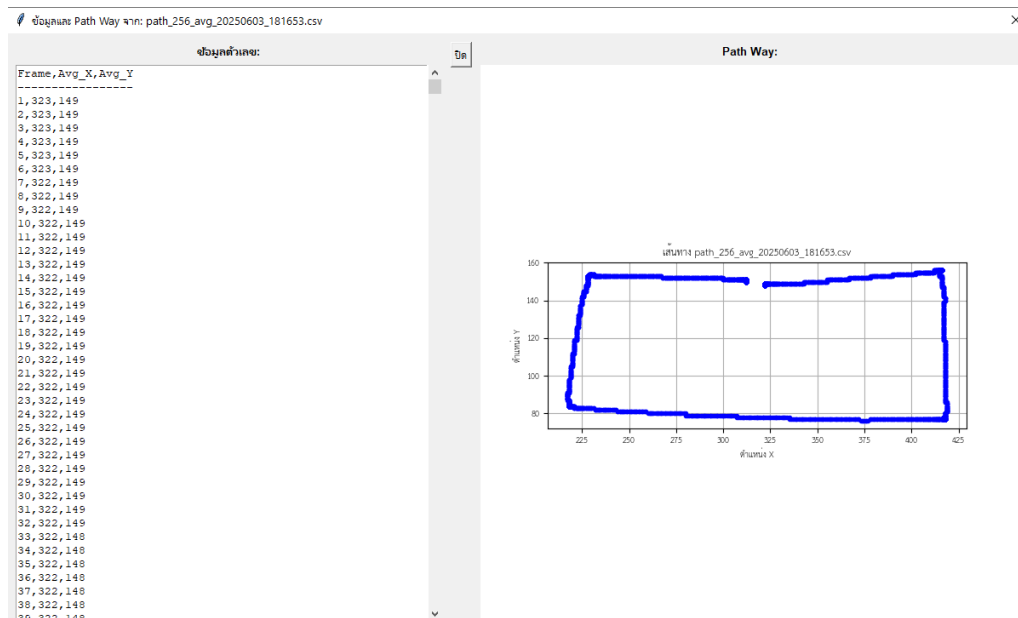
การทดสอบการจดจำเส้นทางเคลื่อนที่ ขึ้นตอนคล้ายกับการตรวจจับวัตถุเริ่มต้นด้วยการรัน โปรแกรมการตรวจจับวัตถุ ร่วมกับโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ แต่เป็นการอ่านเส้นทางเคลื่อนที่จากไฟล์ CSV ที่เก็บไว้ในราสเบอร์รี่พาย การวาง ตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์ให้อยู่ในตำแหน่งจุดเริ่มต้นและการรัน โปรแกรมส่งค่าข้อมูลตำแหน่งไปให้กับบอร์ดอาคูอิโน้ เส้นทางที่ ใช้แสดงในรูปที่ 8 รูปด้านซ้ายมือแสดงข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ในไฟล์ CSV รูปด้านขวามือแสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์



รูปที่ 7 แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การรวบรวมข้อมูลจากการทดลองแต่ละครั้งจะมีการบันทึกและใช้ข้อมูลเพื่อแก้ไขโปรแกรมเช่น ค่าความเร็วในการจับสแต๊ป เปอร์มอเตอร์ รวมทั้งข้อมูลแบบเรียลไทม์ของตำแหน่งที่แสดงบนหน้าจอสำหรับแต่ละเหตุการณ์ในการทดสอบเพื่อใช้ในการปรับ ค่าส่งก่อนส่งให้อาคูอิโน้ เพื่อให้แน่ใจว่าแขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่การทำงานได้จริง ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของการ ทำงานของแขนหุ่นยนต์จะต้องปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงบอร์ดขับเคลื่อนทันที แล้วจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาสาเหตุและแก้ไข เมื่อ ได้รับการแก้ไขแล้วจึงจะสามารถทดลองต่อไปได้ ไฟล์โปรแกรมที่แก้ไขหลังจากการทำงานจะถูกเก็บไว้ในชื่ออื่นที่ไม่ซ้ำกันเพื่อ ป้องกันความผิดพลาดในการถูกเรียกใช้งาน ผลการทดลองเชิงตัวเลข ความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยคือ 6 เซนติเมตรต่อวินาที โดย

เกณฑ์ระยะสูงสุดในการทดสอบ คือ 50 เซนติเมตร ประเมินค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 0.5 เซนติเมตรจากตำแหน่งเป้าหมาย ข้อจำกัด คือ แขนหุ่นยนต์ยังรับโหลดทางกลได้น้อยและกลไกในการเคลื่อนที่ตามแนวแกน y มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าแนวแกน x



รูปที่ 8 รูปด้านซ้ายมือแสดงข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ในไฟล์ CSV

รูปด้านขวามือแสดงการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์

10. สรุปและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ในเอจเอไอ จากผลการดำเนินงานระบบสามารถตรวจจับและติดตามวัตถุได้แบบเรียลไทม์โดยประมวลผลด้วยราสเบอร์รี่พาย ระบบทำให้แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และติดตามวัตถุได้จากกล้อง แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้โดยควบคุมผ่านบอร์ดอาคูโน ระบบสามารถจดจำเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุได้จากไฟล์ที่บันทึกเก็บไว้ แขนหุ่นยนต์ขับเคลื่อนโดยใช้สเต็ปมอเตอร์เนื่องจากต้องการความแม่นยำในการเคลื่อนที่ และรับภาระโหลดที่สูง ผลกระทบจากกำลังของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้สำคัญมากสามารถส่งผลต่อการเคลื่อนที่ทั้งหมดได้จากต้นแบบที่สองก็มีข้อบกพร่องคือการทำงานของเฟืองที่ไม่แข็งแรงและการสั่นของโครงสร้างในแขนหุ่นยนต์จากชิ้นส่วนที่ห่วย (Shoulder) เพราะรับแรงสูงขณะทำงานจึงต้องทำการปรับปรุงต่อไปในอนาคต

ข้อจำกัดของการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์คืออุปกรณ์เองที่มีความเร็วในการประมวลผลที่จำกัดแต่มีข้อดีคือ ไม่ต้องทำการประมวลผลบนคลาวด์ ตอบสนองได้รวดเร็วจึงสามารถติดไว้กับเครื่องจักร ข้อควรระวังคือเรื่องของสภาพแสงและภาพพื้นหลังที่จะทำให้ความสามารถในการตรวจจับลดลง การพัฒนาต่อคือทดลองใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์แบบอื่นเพื่อเพิ่มความสามารถให้มากยิ่งขึ้น มีการเพิ่มเซ็นเซอร์เพื่อให้แขนหุ่นยนต์หลีกเลี่ยงการชนกับวัตถุอื่น ๆ รวมถึงการใช้ระบบ Robot Operating System (ROS) ในการพัฒนาแขนหุ่นยนต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Barabas, H. Silaghi, D. Spoială and M. Gamcova, "Control System of an Autonomous Object Tracking Robot," 2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Oradea, Romania, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/EMES58375.2023.10171684.
- [2] J. Li et al., "A Human-Robot Skill Transfer Framework of Mobile Medical Robots for Autonomous Motion with Teaching by Demonstration," 2020 5th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM), Shenzhen, China, 2020, pp. 209-213, doi: 10.1109/ICARM49381.2020.9195398.
- [3] P. Pillai, S. Chonkar and P. Kharote, "RoboPaint-The proposed Wall Painting Robot: A Unified Control System Integrating Hardware and Software for Efficient Operation," 2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Pune, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/I2CT61223.2024.10544181.
- [4] G. Du, G. Yao, C. Li and P. X. Liu, "An Offline-Merge-Online Robot Teaching Method Based on Natural Human-Robot Interaction and Visual-Aid Algorithm," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 27, no. 5, pp. 2752-2763, Oct. 2022, doi: 10.1109/TMECH.2021.3112722.
- [5] ดำรงเกียรติ แซ่ลิ้ม ชนภัทร จิระจักรชัย ชัยอนันต์ จันคติ และ สมพร เดียเจริญ, "การระบุตำแหน่งหุ่นยนต์โดยการประมวลผลภาพ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 47, วันที่ 13-15 พฤศจิกายน 2567 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี
- [6] สมพร เดียเจริญ วาสนา เปรมปราโมทย์ และ จิรายุ จันทร์ดวง, "หุ่นยนต์นำทางอัตโนมัติ", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15, วันที่ 1 – 3 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว นครพนม จังหวัดนครพนม