

การควบคุมแบบจำลองแขนหุ่นยนต์โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล

Controlling a Robotic Arm by using Digital Image Processing

ธรรมกร ครองไตรภาพ¹ พุทธาวุธ ลีกุลธร¹ สนั่น จันทพรหม¹ ประกาย นาคี¹ พุฒิพงศ์ เกิดพิพัฒน์² และ ธนอมศักดิ์ โสภณ^{3*}

¹สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

thammakorn@rmu.ac.th, crow@hotmail.com, sanan@rmu.ac.th, prakai@rmu.ac.th

²สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ putthiphong.k@mail.rmutk.ac.th

³สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน thanomsak.so@rmu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรมภาษาไพทอนทำการตรวจจับวัตถุสีด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์อัตโนมัติ แขนหุ่นยนต์ถูกควบคุมการทำงานผ่านบอร์ด Raspberry Pi 4 และการตรวจจับวัตถุสีด้วยโมดูลกล้อง Raspberry Pi จากนั้นทำการทดลองควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้หยิบจับวัตถุสีจำนวน 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ที่มีการสั่งการทำงานผ่านซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้งานด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล ผลการทดลองการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับวัตถุสีควบคุมให้แขนหุ่นยนต์สามารถหยิบจับวัตถุสีได้ทั้ง 3 สี

คำสำคัญ: แขนหุ่นยนต์ ซอฟต์แวร์ GUI การประมวลผลภาพดิจิทัล

Abstract

This paper proposes the development of a graphical user interface (GUI) software using the python programming language to detect colored objects using digital image processing to control the movement of an automatic robotic arm. The robotic arm is controlled via a raspberry pi 4 board and colored object detection using a raspberry pi camera module. After that, an experiment was conducted to control the robotic arm to pick up three colored objects: red, green, and blue, which were controlled via the GUI software using digital image processing. The results of the experiment show that the digital image processing detects colored objects and controls the robotic arm to pick up all three colored objects.

Keywords: Robotic Arm, GUI Software, Digital Image Processing

1. ข้อมูลทั่วไป

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ และชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยแขนกลหรือแขนหุ่นยนต์ (Robotic Arm) คือระบบการทำงานที่มีการใช้เครื่องจักรกลในการทำงานแทนมนุษย์ผ่านการควบคุมแบบอัตโนมัติ หรือแบบกึ่งอัตโนมัติที่สามารถทำงานซ้ำๆ และซับซ้อนได้ดี ทั้งสามารถทำงานในงานที่มีความอันตรายและมีความเสี่ยงเกินกว่าที่จะให้มนุษย์ทำได้ เช่น งานที่มีการหยิบจับวัตถุที่อุณหภูมิสูง หรือการเคลื่อนย้ายวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง เป็นต้น

ระบบอุตสาหกรรมที่ซับซ้อนการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์หรือแขนหุ่นยนต์สามารถทำงานด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่พอเหมาะสม หรือหุ่นยนต์อัตโนมัติอัจฉริยะสามารถทำงานได้ด้วยไมโครชิป

เพียงตัวเดียวให้สามารถดำเนินการงานต่างๆ ในโรงงานได้ ดังนั้นนักวิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาเพื่อนำเสนอการควบคุมแขนหุ่นยนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และ Raspberry Pi [1] จากนั้นได้มีการพัฒนาแขนหุ่นยนต์ให้มีการทำงานแบบอัตโนมัติพร้อมระบบจดจำสีที่มีการใช้งานบนบอร์ด Raspberry Pi ซึ่งระบบการเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม Logitech C270 หรือกล้อง IP TP-LINK TL-SC3230 ที่มีการสื่อสารผ่าน USB ควบคุมแขนหุ่นยนต์ โดยระบบจดจำสีจะใช้ OpenCV ให้สามารถจดจำสีได้ด้วยการใช้ฟิลเตอร์สีเพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ [2] ในงานวิจัย B. Araujo [3] นำเสนอการพัฒนากระบวนการตรวจจับวัตถุทรงกระบอกที่ใช้แขนหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเคลื่อนที่ไปหยิบ โดยใช้เทคโนโลยีที่เข้าถึงได้ เช่น Raspberry Pi แบบระบบฝังตัวโมดูล PiCamera และ OpenCV ซึ่งเป็นไลบรารีโอเพนซอร์สสำหรับการพัฒนาระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพดิจิทัลสร้างโฮโมกราฟิระหว่างระนาบหุ่นยนต์และระนาบของภาพโดยใช้การแปลงเชิงเส้นตรง ซึ่งทำให้สามารถจับภาพชิ้นส่วนเป้าหมายได้โดยอัตโนมัติ ในงานวิจัย K. Pagonis [4] จะศึกษาการออกแบบ การผลิต และการจำลองแขนหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการใช้ข้อมูลที่ได้รับจากสภาพแวดล้อมผ่านระบบการมองเห็นของเครื่องจักร วัตถุประสงค์คือการออกแบบสร้าง และจำลองระบบหุ่นยนต์ที่สามารถจดจำและระบุวัตถุเป้าหมายต่างๆ ที่อยู่ภายในส่วนที่ทำงานของหุ่นยนต์ได้ โดยการใช้กล้องทำการการประมวลผลภาพที่จะดำเนินการด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน จากนั้นศึกษาจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ 5-dof ซึ่งแขนหุ่นยนต์จะถูกออกแบบด้วยการใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ ชิ้นส่วนทางกลของหุ่นยนต์จะถูกสร้างขึ้นด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติและประกอบเข้ากับมอเตอร์เซอร์โว จากนั้นสัญญาณที่ต้องการจะถูกส่งไปยังมอเตอร์เซอร์โวผ่านโปรแกรม Matlab Simulink และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อควบคุมการหมุนข้อต่อของแขนหุ่นยนต์

ดังนั้นบทความวิจัยนี้พัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรมภาษาไพทอนควบคุมจำลองแขนหุ่นยนต์ โดยโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ได้มีการติดตั้งมอเตอร์เซอร์โวที่มีการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม พร้อมทั้งการใช้กล้อง Raspberry Pi Camera ในการประมวลผลภาพดิจิทัลของวัตถุและสีควบคุมแบบจำลองแขนหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติสำหรับการหยิบจับสิ่งของ

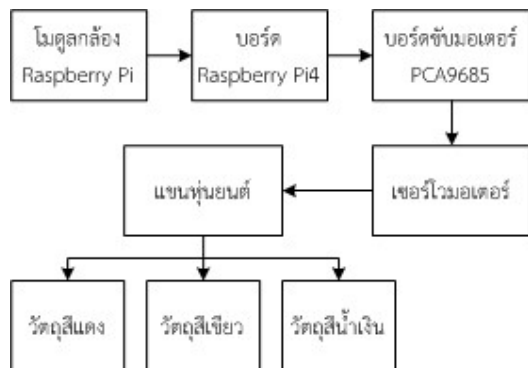
2. กรอบแนวคิดการวิจัย

2.1 การออกแบบระบบควบคุมแขนหุ่นยนต์

การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของแบบจำลองแขนหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 1 เริ่มต้นการทำงานป้อนคำสั่งที่บอร์ด Raspberry Pi 4 ให้กล้อง Raspberry Pi ทำการตรวจจับวัตถุสีและระบุตำแหน่งวัตถุ เมื่อบอร์ดควบคุมได้รับข้อมูลจากกล้อง ให้ประมวลผลข้อมูลวัตถุและตำแหน่ง

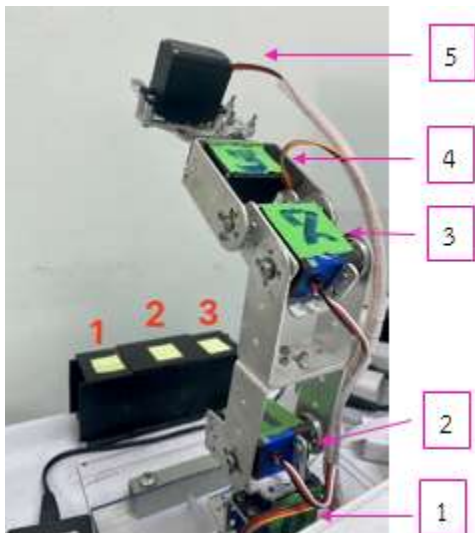
เพื่อให้เซอร์ไวโมเตอร์ที่ติดตั้งกับตัวแขนหุ่นยนต์ทำการหยิบจับวัตถุสีตามพื้นที่ที่ตรวจพบ รวมถึงส่งภาพไปแสดงที่จอแสดงผลของวัตถุสี

- บอร์ด Raspberry Pi 4 ใช้ในการป้อนคำสั่งประมวลผลข้อมูลและควบคุมการทำงาน
- กล้อง Raspberry Pi ใช้ในการตรวจจับภาพวัตถุสี
- จอแสดงผล ใช้แสดงผลภาพของการตรวจจับวัตถุสีและบอกตำแหน่ง
- บอร์ดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ใช้รับคำสั่งจากบอร์ดควบคุมและสั่งขับเซอร์ไวโมเตอร์
- เซอร์ไวโมเตอร์ ใช้รับคำสั่งการทำงานมาจากบอร์ดขับเคลื่อนมอเตอร์
- แขนหุ่นยนต์ ติดตั้งเซอร์ไวโมเตอร์เข้ากับตัวแขนเพื่อใช้ในการทำงานหยิบจับวัตถุ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของแบบจำลองแขนหุ่นยนต์

2.2 การออกแบบแขนหุ่นยนต์และติดตั้งเซอร์ไวโมเตอร์



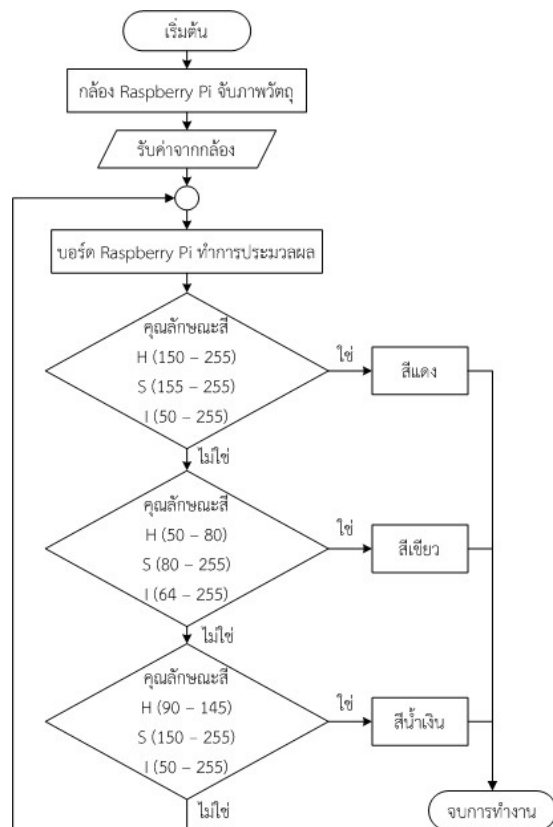
รูปที่ 2 การออกแบบแขนหุ่นยนต์และติดตั้งเซอร์ไวโมเตอร์

การออกแบบโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์และการติดตั้งเซอร์ไวโมเตอร์ให้เหมาะกับการใช้งานการนำเซอร์ไวโมเตอร์ประกอบเข้ากับชิ้นวัสดุของตัวแขนกล แสดงดังรูปที่ 2 แบบภาพโครงสร้างแขนกลพร้อมจุดหมุน แสดงลักษณะโครงสร้างตัวแขนกลและตำแหน่งที่ติดตั้งเซอร์ไว

มอเตอร์ทั้งหมด 5 ตัว เข้ากับจุดหมุน 5 จุด โดยการทำงานในแต่ละจุดหมุนนั้นมีการกำหนดการทำงานที่ของเซอร์ไวโมเตอร์ดังนี้

- เซอร์ไวโมเตอร์ตัวที่ 1 ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนที่ 1 ในส่วนฐานของตัวแขนหุ่นยนต์
- เซอร์ไวโมเตอร์ตัวที่ 2, 3 และ 4 ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนส่วนข้อต่อ
- เซอร์ไวโมเตอร์ตัวที่ 5 ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนในส่วนมือจับหรือเรียกว่า กริปเปอร์ (Gripper)

2.3 การออกแบบการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับค่าของสี



รูปที่ 3 แผนผังงานการประมวลผลภาพคุณลักษณะสีของแบบจำลอง HSI

การออกแบบแบบจำลองค่าสีของการประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับการตรวจจับตามแบบจำลอง HSI ประกอบด้วย ลักษณะค่าของเฉดสี (H: Hue) ค่าการอิ่มตัวของสี (S: Saturation) และค่าความเข้มแสง (I: Intensity) ดังแสดงแผนผังงานในรูปที่ 3 อธิบายการตรวจจับภาพวัตถุสี มีขั้นตอนดังนี้ กล้อง Raspberry Pi ทำการตรวจจับภาพวัตถุสี จากนั้นรับค่าจากกล้องมาทำการประมวลผลภาพดิจิทัลหาคุณสมบัติลักษณะของสี ได้แก่

- สีแดงมีค่าเฉดสีอยู่ระหว่างช่วง 150 - 255 ค่าการอิ่มตัวของสีอยู่ในช่วง 155 - 255 และค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 50 - 255 หากไม่สามารถตรวจจับภาพวัตถุสีแดงได้ จากนั้นจะทำการตรวจจับหาวัตถุสีเหลืองในลำดับถัดไป
- สีเหลืองมีค่าเฉดสีอยู่ในช่วง 50 - 80 ค่าการอิ่มตัวของสีอยู่ในช่วง 80 - 255 และค่าความเข้มแสงอยู่ในช่วง 64 - 255 ซึ่งหากไม่สามารถตรวจจับภาพวัตถุสีเหลืองได้ ต่อไปจะทำการตรวจจับหาวัตถุสีน้ำเงิน

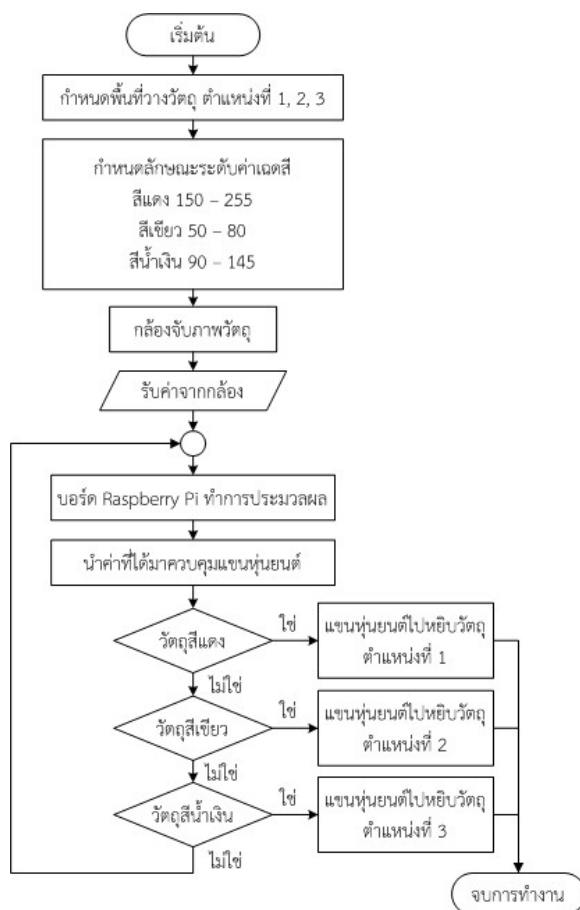
- สีน้ำเงินมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 90 - 145 ค่าการอิมิตัวของสีอยู่ที่ 150 - 255 และค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 50 - 255 หากไม่สามารถตรวจจับภาพวัตถุสีน้ำเงินได้ จะต้องทำการเริ่มต้นรับค่าของสีใหม่

ถ้าหากสามารถทำการตรวจจับภาพวัตถุสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินได้ จะทำการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับค่าสีและมีการแสดงค่าของสีบนหน้าตาซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้

การออกแบบการหยิบจับวัตถุสีของแบบจำลองแขนหุ่นยนต์ด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับวัตถุสีแบบอัตโนมัติ แสดงแผนผังงานดังรูปที่ 4 เริ่มต้นทำการกำหนดพื้นที่วางวัตถุในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 และทำการกำหนดลักษณะระดับค่าเฉลี่ยในการตรวจจับวัตถุดังนี้

- สีแดงระดับค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 150 ถึง 255
- สีเขียวระดับค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50 ถึง 80
- สีน้ำเงินระดับค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 90 ถึง 145

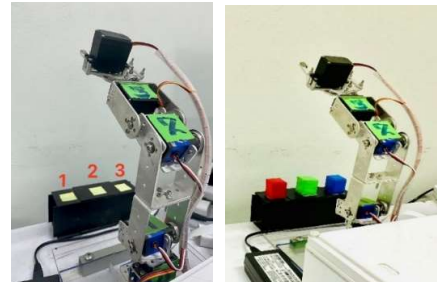
จากนั้นรับค่าจากกล้องที่ได้จากการจับภาพวัตถุมาทำการประมวลผลภาพดิจิทัลของคุณลักษณะระดับค่าเฉลี่ยด้วย Raspberry Pi แล้วจะนำการประมวลผลค่าเฉลี่ยที่ได้ไปควบคุมแขนหุ่นยนต์ ได้แก่ สีแดงแขนหุ่นยนต์จะไปหยิบวัตถุตำแหน่งที่ 1 สีเขียวจะไปหยิบวัตถุตำแหน่งที่ 2 และสีน้ำเงินไปหยิบวัตถุตำแหน่งที่ 3 ถ้าหากตรวจพบไม่ใช่ทั้งสามสีจะกลับไปรับค่าจากกล้องมาทำการประมวลผลใหม่



รูปที่ 4 แผนผังงานการตรวจจับวัตถุสีแบบอัตโนมัติ

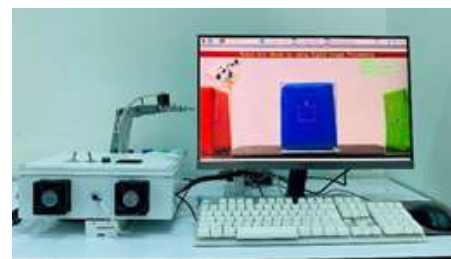
3. การทดลอง

การกำหนดพื้นที่หรือจุดวางวัตถุสีให้เหมาะสมกับตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์ ประกอบด้วย พื้นที่ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 เพื่อทำการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจจับภาพของวัตถุ ในห้องที่มีค่าความสว่างเท่ากับ 320 ลักซ์ และควบคุมให้แขนหุ่นยนต์ไปหยิบจับวัตถุสี ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข)



รูปที่ 5 การออกแบบพื้นที่ตำแหน่งการวางวัตถุสี
(ก) การกำหนดพื้นที่ตำแหน่งการวางวัตถุสี
(ข) ตัวอย่างการวางวัตถุสี

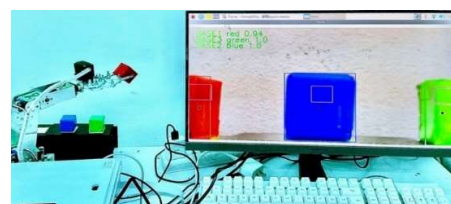
จากนั้นทำการทดลองวางวัตถุสี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน บนพื้นที่ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (สามารถวางวัตถุสีสลับตำแหน่งกันได้) ซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้แสดงผลการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับวัตถุสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อทำการตรวจจับสีได้ แบบจำลองแขนหุ่นยนต์จะทำการเคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุสีแบบอัตโนมัติ ตามเงื่อนไขที่มีการกำหนดคุณลักษณะสีที่ต้องการ เมื่อหยิบจับวัตถุสีได้แล้ว จะนำวัตถุสีไปวางบนพื้นที่ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับภาพวัตถุสี

4. ผลการทดลอง

การทดลองหาคุณสมบัติของสีด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับวัตถุสี พิจารณาการหาคุณสมบัติลักษณะของค่าเฉลี่ย ค่าการอิมิตัวของสี และค่าความเข้มแสง โดยทำการทดลองด้วยการนำวัตถุสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินมาวางในตำแหน่งพื้นที่ที่กำหนด แล้วให้กล้องทำการตรวจจับวัตถุสี เพื่อทำการประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นข้อมูลของแต่ละสี ซึ่งได้ทำการทดลองตรวจจับสีวัตถุ จำนวนวัตถุสีละ 3 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทดลองแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปหยิบจับและวางวัตถุสี

ตารางที่ 1 การประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับคุณลักษณะสีแดง

ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		ค่าการอิมตัว		ค่าความเข้มแสง	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
1	150	255	155	255	50	255
2	152	255	151	255	49	255
3	149	255	154	255	50	255
ค่าเฉลี่ย	150.33	255	153.33	255	49.66	255
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.53	-	2.08	-	0.58	-

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุสีแดงค่าเฉลี่ยต่ำสุดมีเฉลี่ยเท่ากับ 150.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53 ค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255 ค่าการอิมตัวต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 153.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.08 ค่าการอิมตัวสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255 ค่าความเข้มแสงต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.66 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255

ตารางที่ 2 การประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับคุณลักษณะสีเขียว

ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		ค่าการอิมตัว		ค่าความเข้มแสง	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
1	50	80	80	255	64	255
2	49	79	80	255	63	255
3	51	77	81	255	64	255
ค่าเฉลี่ย	50	78.66	80.33	255	63.66	255
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.00	1.53	0.58	-	0.58	-

ตารางที่ 2 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุสีเขียวค่าเฉลี่ยต่ำสุดมีเฉลี่ยเท่ากับ 50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.00 ค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.66 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53 ค่าการอิมตัวต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ค่าการอิมตัวสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255 ค่าความเข้มแสงต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.66 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255

ตารางที่ 3 การประมวลผลภาพดิจิทัลตรวจจับคุณลักษณะสีน้ำเงิน

ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย		ค่าการอิมตัว		ค่าความเข้มแสง	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
1	90	145	150	255	50	255
2	92	144	150	255	51	255
3	92	142	151	255	50	255
ค่าเฉลี่ย	91.33	143.66	150.33	255	50.33	255
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.15	1.53	0.58	-	0.58	-

จากตารางที่ 3 ผลการทดลองตรวจจับวัตถุสีน้ำเงินค่าเฉลี่ยต่ำสุดมีเฉลี่ยเท่ากับ 91.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.15 ค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 143.66 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.53 ค่าการอิมตัวต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ค่าการอิมตัวสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255 ค่าความเข้มแสงต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 50.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 255

ตารางที่ 4 การจับเวลาควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุ

ครั้งที่	สีแดง		สีเขียว		สีน้ำเงิน	
	การหยิบวัตถุ	เวลา (วินาที)	การหยิบวัตถุ	เวลา (วินาที)	การหยิบวัตถุ	เวลา (วินาที)
1	1	29	1	29	1	30
2	1	29	1	30	1	30
3	1	28	1	30	1	29

ค่าเฉลี่ย	1	28.67	1	29.67	1	29.67
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.58	-	0.58	-	0.58

จากตารางที่ 4 ผลการทดลองการควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ไปวางในพื้นที่ที่กำหนดไว้ ซึ่งแขนหุ่นยนต์สามารถหยิบวัตถุได้ถูกต้องทั้งหมด (กำหนดหยิบวัตถุถูกต้องแทนด้วยเลข 1) และใช้เวลาเฉลี่ยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 28.67, 29.67 และ 29.67 วินาที ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 0.58 วินาที นอกจากนี้ได้ทำการทดลองประมวลผลภาพตรวจจับวัตถุที่มีความแตกต่างจากสีที่กำหนด ซึ่งแขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปหยิบจับและวางได้ตรงตำแหน่ง ดังในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดลองแขนหุ่นยนต์หยิบจับและวางวัตถุสีต่างจากสีที่กำหนด

5. สรุปผลการทดลอง

ในบทความวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ด้วยภาษาไพทอนที่ใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับการตรวจจับวัตถุ เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุ จากผลการทดลองการประมวลผลภาพสีจำนวน 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน สามารถทำการประมวลผลภาพสีตามคุณลักษณะแบบจำลอง HSI และควบคุมแขนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปหยิบจับวัตถุได้ถูกต้องและวางในพื้นที่ตามที่กำหนดไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายอัษฎา โกติรัมย์ และนายตระกูล อุทก บทความวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Pereira, V. A. Fernandes and J. Sequeira, "Low cost object sorting robotic arm using raspberry pi," *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference – South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, Trivandrum, India, 2014, pp. 1-6.
- [2] R. Szabo and A. G. A. Sfirat, "Robotic arm control in space with color recognition using a raspberry pi," *2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*, Vienna, Austria, 2016, pp. 689-692.
- [3] B. Araujo, J. Araujo, R. Silva, and D. Regis, "Machine vision for industrial robotic manipulator using raspberry pi," *2018 13th International Conference on Industry Applications*, Sao Paulo, Brazil, 2018, pp. 895-901.
- [4] K. Pagonis, P. Zacharia, A. Kantaros, T. Ganetsos, and K. Brachos, "Design, fabrication and simulation of a 5-dof robotic arm using machine vision," *2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea, Romania, 2023.