

ระบบวิชันฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 Open-Source Embedded Vision System for Industry 4.0 Applications

ธนยศ อริสริยวงศ์* อีรพล คุ่มเสร็จ อีรววัฒน์ พรหมเมือง

ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

Tanayos Arisariyawong* Theerapol Khumset Teerawat Prommueang

Mechatronics and Robotics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department,

Faculty of Engineering, Ongkharak, Nakhonnayok, 26120

*Corresponding author Email: Tanayos.Swu@gmail.com

(Received: October 3, 2024; Revised: October 23, 2024 ; Accepted: December 9, 2024)

บทคัดย่อ

ระบบวิชันถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตสมัยใหม่ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่ใช้ภาพจากกล้องในการตรวจสอบและคัดแยกชิ้นงาน แต่จะพบว่าระบบวิชันมีต้นทุนที่สูงทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบวิชันฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่มีต้นทุนต่ำและสามารถสื่อสารกับตัวควบคุมในอุตสาหกรรมได้ โดยเป็นการรวมกันระหว่างโมดูลกล้องพิกซ์ 2 ซึ่งเป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับสีและภาพ ร่วมกับสมองกลฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับอาดูอิน์ โดยอาดูอิน์จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโมดูลกล้องพิกซ์ 2 แล้วแปลงเป็นรูปแบบการสื่อสารตามโปรโตคอลมอดบัส ในการทดลองจะใช้ระบบวิชันฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นทำการเชื่อมต่อกับตัวควบคุมแบบ พี แอล ซี และจอแสดงผลแบบสัมผัส เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานที่มีสีต่างกัน ภายใต้ระยะห่างจากโมดูลกล้องและสถานะแสงต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ระยะห่างสูงสุดจากโมดูลกล้องไปยังชิ้นงานที่สามารถตรวจจับและคัดแยกสีได้อย่างถูกต้องทั้งในสถานะปิดและเปิดแสงไฟที่อยู่บนโมดูลกล้อง คือ 80 มิลลิเมตร ส่วนการเชื่อมต่อกับตัวควบคุมแบบ พี แอล ซี และจอแสดงผลแบบสัมผัส พบว่าสามารถรับส่งข้อมูลกันได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง รวมถึงสามารถตรวจจับและคัดแยกสีชิ้นงานได้อย่างทันทีโดยไม่ต้องหน่วงเวลา

คำสำคัญ: ระบบวิชัน สมองกลฝังตัวแบบเปิดเผย อุตสาหกรรม 4.0

ABSTRACT

Vision systems are an important part of modern manufacturing processes in the Industry 4.0 era, using images from cameras to inspect and sort workpieces. However, it was found that vision systems have high costs in terms of both hardware and software, making it difficult for small and medium-sized factories to access this technology. Therefore, this research presents a low-cost, open-source embedded vision system that can communicate with industrial controllers. It is a combination of a PIXY 2 camera module, a ready-made camera module that uses artificial intelligence to detect colors and images, with an open-source embedded Arduino. Arduino will receive data from the PIXY 2

camera module and convert it into a communication format according to the Modbus protocol. In the experiment, the developed open embedded vision system will be connected to a PLC controller and a touch screen display to test the efficiency of detecting and sorting workpieces with different colors under different distances from the camera module and lighting conditions. From the experimental results, it was found that the longest distance from the camera module to the workpiece that can detect and sort the color of the workpiece correctly, both when the light on the camera module is off and on, was 80 millimeters. As for the connection to a PLC controller and a touch screen display, it was found that data can be transmitted and received correctly every time. It can also detect and sort the color of the workpiece immediately without any delay time.

Keyword: Vision System, Open-Source Embedded, Industry 4.0.

1. บทนำ

ปัจจุบันขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมได้เปลี่ยนเป็นแบบอุตสาหกรรม 4.0 รวมถึงประเทศไทยก็กำลังปรับโครงสร้างไปสู่ประเทศไทย 4.0 เช่นเดียวกัน มีการใช้ระบบอัตโนมัติ ระบบวิชั่น รวมถึงปัญญาประดิษฐ์ มาทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต [1] โดยเฉพาะระบบวิชั่นถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตที่ใช้ภาพจากกล้องในการตรวจสอบและคัดแยกชิ้นงาน ซึ่งช่วยลดเวลาและความผิดพลาดจากการใช้คนเป็นอย่างมาก [2-3] และในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้ระบบวิชั่นเพิ่มมากขึ้น รวมถึงประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [4] ในส่วนภาคการศึกษาที่มีการนำระบบวิชั่นมาใช้ในการเรียนการสอนเป็นการเพิ่มทักษะให้ผู้เรียนเพื่อรองรับเทคโนโลยีในอนาคต [5] แต่ระบบวิชั่นยังคงมีต้นทุนที่สูงเนื่องด้วยความซับซ้อนทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ จึงถือเป็นข้อจำกัดในการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งาน

เพื่อให้สามารถเข้าถึงการใช้งานระบบวิชั่นในต้นทุนที่ต่ำลง จึงเริ่มมีการนำซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สแบบเปิดเผยต้นฉบับของระบบวิชั่นที่ชื่อว่า OpenCV มาใช้ร่วมกับกล้องอุตสาหกรรม [6] ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานร่วมกันได้ แต่มีความซับซ้อนในการใช้งานค่อนข้างมากและต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการประมวลผล มีการนำเสนอการใช้ OpenCV ร่วมกับตัวควบคุมแบบ พี แอล

ซี เพื่อสร้างระบบตรวจจับและคัดแยกผลไม้ด้วยปัญญาประดิษฐ์ [7] พบว่าระบบสามารถทำงานได้แม่นยำ แต่การเชื่อมต่อกับ พี แอล ซี มีขั้นตอนซับซ้อน และต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการคำนวณ เพื่อที่จะลดการใช้คอมพิวเตอร์ในระบบวิชั่นจึงมีความพยายามจะพัฒนาไลบรารีของระบบวิชั่นให้ฝังตัวลงไป ใน พี แอล ซี [8] แต่จะพบว่ายังมีข้อจำกัดเรื่องความเข้ากันได้ของโมดูลกล้องที่นำมาใช้ ทำให้ใช้ได้เฉพาะโมดูลกล้องบางรุ่นเท่านั้น และยังมีต้นทุนที่สูงอยู่ ต่อมาได้มีการใช้สมองกลฝังตัวเข้ามาแทนที่คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลร่วมกับโมดูลกล้องขนาดเล็กเพื่อเชื่อมต่อกับระบบควบคุมในอุตสาหกรรม [9] ซึ่งพบว่าระบบนี้มีต้นทุนที่ต่ำลงมาก แต่ยังใช้งานได้เฉพาะภาพขาวดำและใช้เวลาในการประมวลผลที่นาน เนื่องจากสมองกลฝังตัวที่นำมาใช้ต้องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าการพัฒนาแบบวิชั่นให้มีต้นทุนที่ต่ำและรองรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 ยังใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ในการประมวลผล ทำให้การติดตั้งไม่สะดวก สิ้นเปลืองพลังงานมาก การเชื่อมต่อกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมก็ซับซ้อน และยังคงต้องใช้โมดูลกล้องอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาสูง ส่วนการใช้สมองกลฝังตัวเข้ามาแทนที่คอมพิวเตอร์ก็ยังทำได้ไม่ดีนักเพราะสมองกลฝังตัวที่นำมาใช้ต้องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลา

เดียวกัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง และไม่ได้เป็นระบบแบบเปิดเผยต้นฉบับทั้งหมด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่เป็นการรวมกันระหว่างโมดูลกล้องพิกซี 2 (Pixy2) ซึ่งเป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปที่มีตัวประมวลผลทางด้านปัญญาประดิษฐ์อยู่ภายในเพื่อตรวจจับสีและภาพร่วมกับสมองกลฝังตัวแบบเปิดอาดูอิน (Arduino) เพื่อใช้สื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรม ทำให้ระบบนี้มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ มีต้นทุนไม่สูงเพราะพัฒนาด้วยระบบแบบเปิดเผยต้นฉบับทั้งหมด และมีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้งาน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

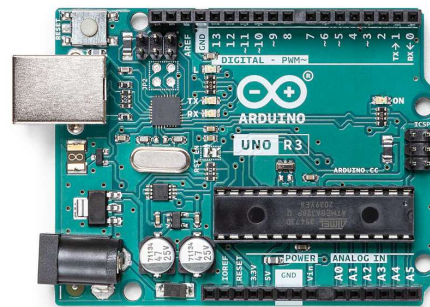
ระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ โมดูลกล้องพิกซี 2 [10] และสมองกลฝังตัวอาดูอิน [11] โดยโมดูลกล้องพิกซี 2 เป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ตัวโมดูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยกล้องสีพร้อมเลนส์ หลอดไฟแอล อี ดี ซึ่งให้ความสว่างประมาณ 20 ลูเมน และตัวประมวลผล NXP LPC4330, 204 MHz, dual-core ซึ่งทำหน้าที่ ประมวลผลจากภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ มีความเร็วในการตรวจจับภาพสูงสุดที่ 60 fps สามารถเชื่อมต่อกับตัวควบคุมภายนอกได้หลายรูปแบบ และมีน้ำหนักเพียง 10 g



รูปที่ 1 โมดูลกล้องพิกซี 2

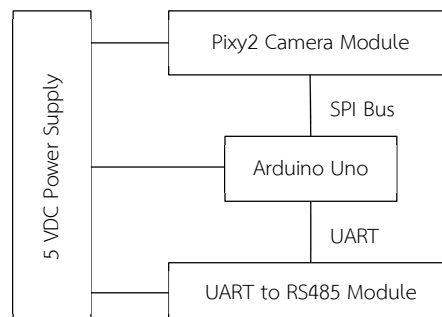
ส่วนสมองกลฝังตัวอาดูอินจะใช้เป็นรุ่นยูโน (Uno) ดังรูปที่ 2 เป็นแพลตฟอร์มสมองกลฝังตัวแบบเปิดเผย

ต้นฉบับทั้งหมด ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB สามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งดิจิทัลและอนาล็อก รวมถึงมีขาสัญญาณสื่อสารหลายรูปแบบให้เลือกใช้งาน



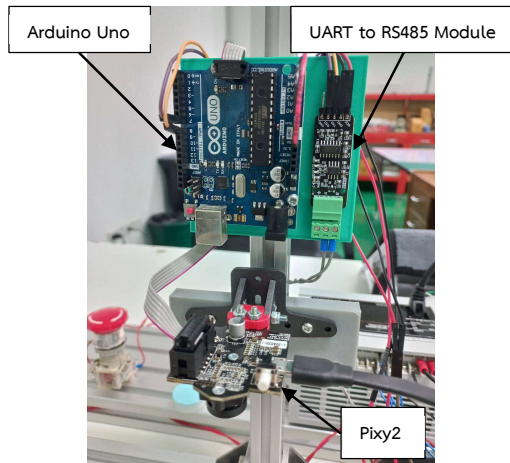
รูปที่ 2 สมองกลฝังตัวอาดูอินรุ่นยูโน

ไดอะแกรมการทำงานของระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยสมองกลฝังตัวอาดูอินจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างโมดูลกล้อง พิกซี 2 กับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอก ซึ่งโมดูลกล้องพิกซี 2 จะใช้พอร์ตสื่อสารความเร็วสูง SPI Bus ส่วนสมองกลฝังตัวอาดูอินจะใช้พอร์ตสื่อสาร UART ร่วมกับโมดูลแปลงสัญญาณจาก UART ไปเป็น RS485 เพื่อให้สามารถสื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอกได้ในระยะไกล อุปกรณ์ทั้งหมดใช้ไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 VDC เพียงแหล่งเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3 ไดอะแกรมของระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับ

ส่วนรูปที่ 4 จะแสดงอุปกรณ์ทั้งหมดเมื่อนำมาประกอบกันของระบบวิชชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้น



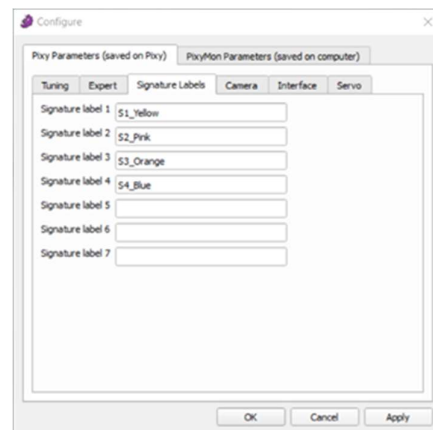
รูปที่ 4 ระบบวิชชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับ

2.2 การตั้งค่าสำหรับโมดูลกล้องพิกซี่ 2

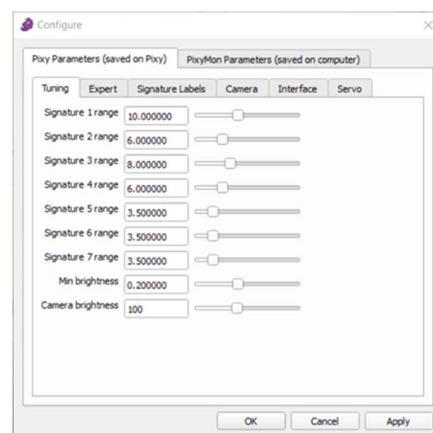
ก่อนการนำโมดูลกล้องพิกซี่ 2 ไปใช้งานได้นั้นจะต้องมีการตั้งค่าการทำงานรวมถึงการสอนให้โมดูลกล้องรู้จักชิ้นงานที่จะใช้ตรวจจับเสียก่อน โดยใช้โปรแกรมชื่อ PixyMon ในการตั้งค่าการทำงาน ในงานวิจัยนี้จะให้โมดูลกล้องพิกซี่ 2 ทำหน้าที่แยกแยะสีของชิ้นงานที่แตกต่างกันจำนวน 4 สี คือ สีเหลือง สีชมพู สีส้ม และสีฟ้า ซึ่งทั้งสี่สีนี้เป็นสีแบบพาสเทล มีความยากในการตรวจจับ และเฉดสีของสีส้มและสีเหลืองก็ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของกล้องไปด้วยในตัว รวมถึงการแยกแยะสีของชิ้นงานก็จะเจอได้บ่อยในอุตสาหกรรม 4.0 โดยเริ่มต้นจะกำหนดป้ายชื่อ (Signature label) ให้กับชิ้นงานแต่ละสีเพื่อใช้อ้างอิงดังรูปที่ 5

จากนั้นนำชิ้นงานมาวางไว้หน้ากล้องโดยมีระยะห่างเท่ากับ 40 mm ซึ่งเป็นระยะใกล้สุดที่ใช้ในการทดลองใช้โปรแกรม PixyMon ทำการติกรอบรอบบริเวณสีของชิ้นงานที่ต้องการตรวจจับเพื่อสอนให้โมดูลกล้องรู้จักสีและจับคู่กับป้ายชื่อที่ได้กำหนดไว้ตามรูปที่ 5 แล้วทำการปรับค่าช่วงของป้ายชื่อ (Signature range) เพื่อให้กรอบที่ติไว้ตอนแรกครอบคลุมพื้นที่สีของชิ้นงานให้มากที่สุด

ทำซ้ำทีละชิ้นงานจนกระทั่งครบทั้งหมด จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดมาวางไว้หน้ากล้องโดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 120 mm เพื่อให้เห็นชิ้นงานทั้งหมดแล้วตรวจสอบว่าโมดูลกล้องยังสามารถแยกแยะสีชิ้นงานได้ถูกต้องทั้งหมดหรือไม่ หากไม่สามารถแยกแยะได้ถูกต้องให้กลับไปทำขั้นตอนแรกใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งสามารถแยกแยะสีทั้งหมดได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองตั้งค่าการทำงานของโมดูลกล้องทั้งกรณีปิดและเปิดหลอดไฟแอลอีดีที่อยู่บนโมดูลกล้อง โดยกรณีปิดหลอดไฟแอลอีดี ผลการตั้งค่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และผลการแยกแยะสีชิ้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 7 ส่วนกรณีเปิดหลอดไฟแอลอีดี ผลการตั้งค่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และผลการแยกแยะสีชิ้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 9



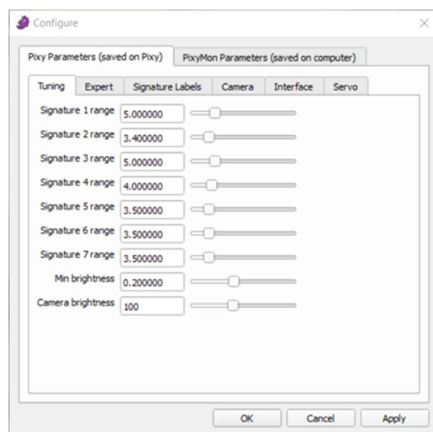
รูปที่ 5 การกำหนดกำหนดป้ายชื่อให้กับชิ้นงาน



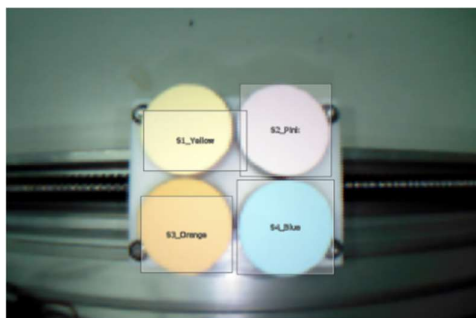
รูปที่ 6 ผลการตั้งค่าโมดูลกล้องกรณีปิดหลอดไฟ



รูปที่ 7 ผลการแยกแยะสีชิ้นงานกรณีปิดหลอดไฟ



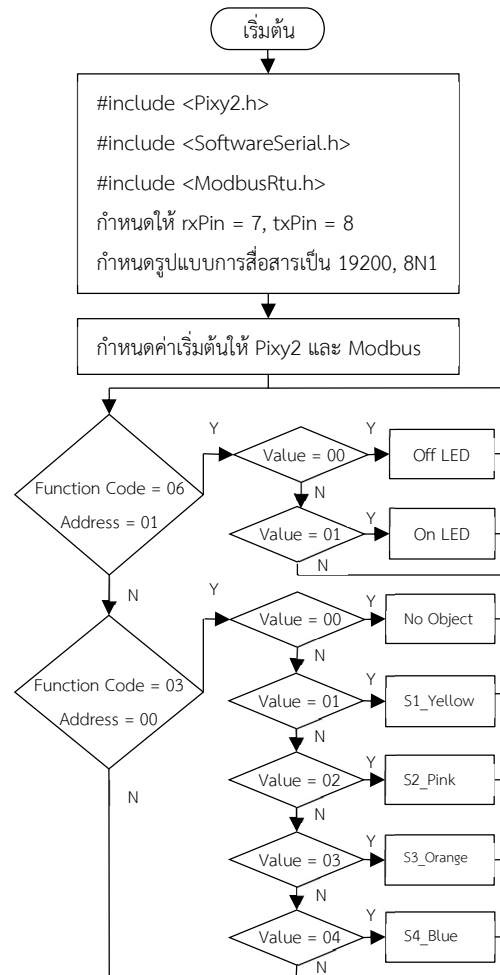
รูปที่ 8 ผลการตั้งค่าโมดูลกล้องกรณีเปิดหลอดไฟ



รูปที่ 9 ผลการแยกแยะสีชิ้นงานกรณีเปิดหลอดไฟ

2.3 การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัวอาดูโน
จากรูปที่ 3 สมองกลฝังตัวอาดูโนใช้พอร์ต SPI Bus
สื่อสารกับโมดูลกล้องพิกซี่ 2 และใช้พอร์ต UART ร่วมกับ
โมดูลแปลงสัญญาณจาก UART ไปเป็น RS485 เพื่อให้
สามารถสื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอกได้ใน
ระยะไกลโดยใช้โปรโตคอลมอดบัส (Modbus Protocol)

[12] ซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้
กันอย่างแพร่หลาย โดยกำหนดรูปแบบการสื่อสารเป็น
19200 bps, 8N1 และค่าตัวแปรในโปรโตคอลมอดบัส
แสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยการตรวจจับสีและภาพจะใช้
ฟังก์ชันโค้ด (Function Code) เป็น 03 Hex ที่ตำแหน่ง
หน่วยความจำ 00 Hex ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเท่ากับ 00 Hex
– 04 Hex ซึ่งแทนสีที่ตรวจพบ ส่วนการสั่งเปิด-ปิด
หลอดไฟ แอล อี ดี จะใช้ฟังก์ชันโค้ดเป็น 06 Hex ที่
ตำแหน่งหน่วยความจำ 01 Hex โดยเมื่อส่งค่า 00 Hex
หลอดไฟจะดับ แต่ถ้าส่งค่า 01 Hex หลอดไฟจะติด ส่วน
ผังงานโปรแกรม (Flowchart) แสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผังงานโปรแกรมของอาดูโน

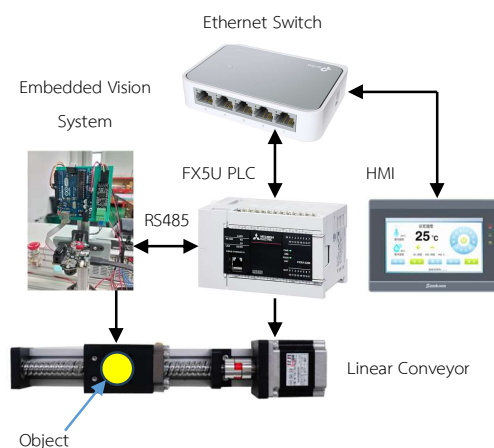
ตารางที่ 1 คำตัวแปรที่ใช้ในโปรโตคอลมอดบัส

Function Code (Hex)	Address (Hex)	Value (Hex)
03	00	00 = No Object
		01 = S1_Yellow
		02 = S2_Pink
		03 = S3_Orange
		04 = S4_Blue
06	01	00 = Off LED
		01 = On LED

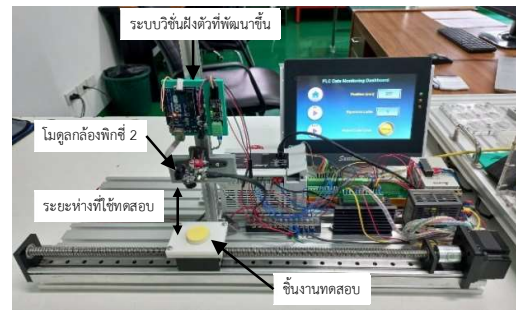
3. ผลการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ทดลอง

ในการทดลองจะนำระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับไปติดตั้งร่วมกับชุดทดลองสำหรับการศึกษากระบวนการอุตสาหกรรม 4.0 ที่ถูกพัฒนาขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งไดอะแกรมของชุดทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 11 และชุดทดลองจริงที่ใช้ในงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ไดอะแกรมชุดทดลอง



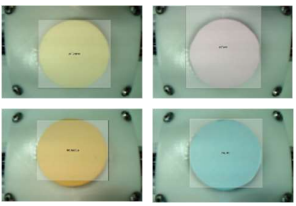
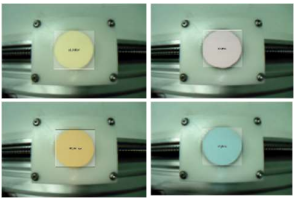
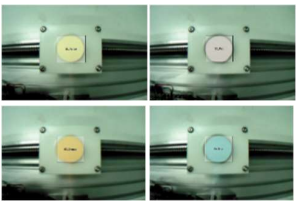
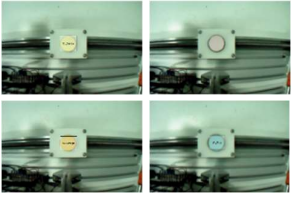
รูปที่ 12 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

ชุดทดลองสำหรับงานวิจัยนี้สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานที่มีสีต่างกันของระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นภายใต้ระยะห่างจากโมดูลกล้องและสถานะแสงต่างๆ รวมถึงทดสอบความเข้ากันได้กับตัวควบคุมที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 จากไดอะแกรมในรูปที่ 11 ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับจะทำหน้าที่ตรวจจับสีของชิ้นงานทรงกลม ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 โดยระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับจะถูกส่งงานจากตัวควบคุมอุตสาหกรรม พี แอล ซี ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX5U ผ่านทางพอร์ต RS485 ด้วยโปรโตคอลมอดบัส และใช้หน้าจอสัมผัสทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface: HMI) ยี่ห้อ SAMKOON ขนาด 10 นิ้ว ในการแสดงผลและรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน โดย พี แอล ซี และหน้าจอสัมผัส จะสื่อสารกันผ่านทางพอร์ตอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ด้วยอุปกรณ์อีเทอร์เน็ตสวิตช์ (Ethernet Switch) โดยเมื่อเริ่มทดลองผู้ใช้งานจะกดปุ่มเริ่มที่หน้าจอสัมผัส จากนั้น พี แอล ซี จะส่งสัญญาณไปให้มอเตอร์ที่อยู่บนชุดขนส่งเชิงเส้นแบบบอลสกรู (Linear Conveyor) เคลื่อนที่ พาชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่ เมื่อถึงแล้ว พี แอล ซี จะสั่งให้ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับทำการตรวจจับสี เมื่อตรวจจับสีเสร็จแล้วระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับจะส่งข้อมูลสีที่ตรวจจับได้กลับไปให้ พี แอล ซี เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบผ่านทางหน้าจอสัมผัส

3.2 ระยะห่างจากชิ้นงานกับความถูกต้องในการตรวจจับสี

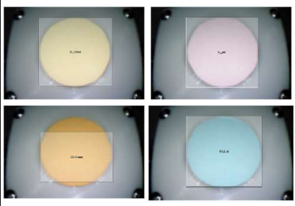
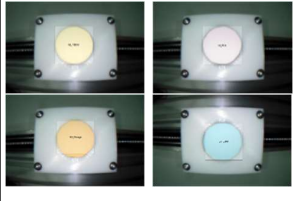
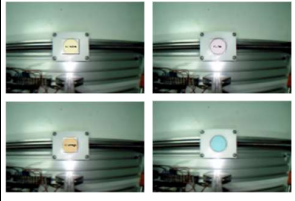
ในการทดลองนี้จะปรับระยะห่างจากชิ้นงานถึงโมดูลกล้องเป็น 4 ระยะ คือ 40 mm, 80 mm, 120 mm และ 160 mm เพื่อทดสอบความถูกต้องในการตรวจจับสีที่ระยะต่างๆ โดยจะทดลองทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง ผลการทดลองกรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี แสดงได้ดังตารางที่ 2 และผลการทดลองกรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี แสดงได้ดังตารางที่ 3 จากตารางที่ 2 พบว่าที่ระยะห่าง 40 – 120 mm นั้น

ตารางที่ 2 ผลกระทบของระยะห่างจากชิ้นงาน กรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

ระยะห่าง (mm)	ภาพที่ได้จากกล้อง	ผลการตรวจจับสี
40		ตรวจจับได้ ทุกสี
80		ตรวจจับได้ ทุกสี
120		ตรวจจับได้ ทุกสี
160		ไม่สามารถ ตรวจจับสี ชมพูได้

สามารถตรวจจับสีได้อย่างถูกต้อง ส่วนที่ระยะ 160 mm ไม่สามารถตรวจจับสีชมพู จากตารางที่ 3 พบว่าที่ระยะห่าง 40 – 120 mm นั้นสามารถตรวจจับสีได้อย่างถูกต้อง แต่ที่ระยะ 120 mm ถึงแม้จะตรวจจับสีได้ถูกต้องแต่ขอบเขตการตรวจจับจะไม่เต็มหน้าพื้นที่ ส่วนที่ระยะ 160 mm ไม่สามารถตรวจจับสีฟ้า จากการทดลองนี้จะพบว่าที่ระยะห่าง 80 mm จะให้ผลการตรวจจับสีดีที่สุดทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี เพราะสามารถตรวจจับสีได้เร็วและขอบเขตการตรวจจับเต็มหน้าพื้นที่สีมากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลกระทบของระยะห่างจากชิ้นงาน กรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

ระยะห่าง (mm)	ภาพที่ได้จากกล้อง	ผลการตรวจจับสี
40		ตรวจจับได้ ทุกสี
80		ตรวจจับได้ ทุกสี
120		ตรวจจับได้ ทุกสีแต่ ตรวจจับได้ ไม่เต็ม พื้นที่
160		ไม่สามารถ ตรวจจับสี ฟ้าได้

3.3 การตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม อุตสาหกรรม พี แอล ซี

หัวข้อนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับสนี และความเข้ากันได้กับตัวควบคุมอุตสาหกรรม พี แอล ซี โดยจะใช้ระยะห่างจากชิ้นงานเท่ากับ 80 mm ในการทดสอบเนื่องจากเป็นระยะห่างที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองในหัวข้อ 3.2 โดยในการทดลองจะให้ผู้ใช้งานวางชิ้นงานทดสอบลงบนถาดรับชิ้นงานที่ติดตั้งบนชุดขนส่งเชิงเส้น แล้วกดปุ่มเริ่มที่หน้าจอสัมผัสจากนั้นตัวควบคุม พี แอล ซี จะสั่งให้ชุดขนส่งเชิงเส้นเคลื่อนที่พาชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่ระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่ เมื่อถึงแล้ว พี แอล ซี จะสั่งให้ระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดทำการตรวจจับสนี เมื่อตรวจจับสนีเสร็จแล้วระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับจะส่งข้อมูลสปีที่ตรวจจับสนีได้กลับไปให้ พี แอล ซี เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบผ่านทางหน้าจอสัมผัส ทำซ้ำจำนวนชิ้นงานละ 10 ครั้ง ทดสอบทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม พี แอล ซี กรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

สปี	เหลือง		ชมพู		ส้ม		ฟ้า	
	/	×	/	×	/	×	/	×
จำนวน ครั้ง	10	0	10	0	10	0	10	0

หมายเหตุ: (/) หมายถึงสามารถตรวจจับสนีได้ และ (×) หมายถึงไม่สามารถตรวจจับสนี

ตารางที่ 5 ผลการตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม พี แอล ซี กรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

สปี	เหลือง		ชมพู		ส้ม		ฟ้า	
	/	×	/	×	/	×	/	×
จำนวน ครั้ง	10	0	10	0	10	0	10	0

หมายเหตุ: (/) หมายถึงสามารถตรวจจับสนีได้ และ (×) หมายถึงไม่สามารถตรวจจับสนี

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่าที่หน้าจอสัมผัสสามารถสั่งงานและแสดงผลการตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง ทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี รวมถึงสามารถตรวจจับสนีได้อย่างทันทีเมื่อวัตถุมาถึงตำแหน่งที่ระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่โดยไม่มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับตัวควบคุม พี แอล ซี ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม 4.0

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่มีต้นทุนต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง รวมถึงเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับตัวควบคุมในอุตสาหกรรม 4.0 ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การคัดแยกชิ้นงานตามสีหรือความเข้มของสี เพื่อคัดแยกสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานออกจากสายการผลิตโดยอัตโนมัติ หรือแยกผลผลิตเกษตร เช่น พริกหรือมะเขือเทศ ตามสีความสุกเป็นต้น และนำเสนอแนวทางในการตั้งค่าสำหรับโมดูลกล้องพิกซี 2 จากผลการทดลองจะพบว่าระบบวิชั่นฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสามารถตรวจจับสนีชิ้นงานได้อย่างถูกต้องทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง โดยระยะห่างมากที่สุดจากชิ้นงานที่ให้ผลการตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้องคือ 80 mm ส่วนกรณีที่ระยะห่างมากกว่า 80 mm โมดูลกล้องพิกซี 2 จะเริ่มตรวจจับสนีได้ไม่แน่นอนสังเกตได้จากพื้นที่ในการตรวจจับสนีจะเริ่มไม่เต็มหน้าชิ้นงาน หรือบางชิ้นงานจะตรวจจับสนีไม่ได้เลย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2566 หมายเลขโครงการ 198/2566

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. A. M. S. Lemstra and M. A. de Mesquita, "Industry 4.0: a tertiary literature review," *Technol. Forecast. Soc. Change.*, vol. 186, pp. 122204, Jan. 2023.
- [2] D. P. Penumuru, S. Muthuswamy and P. Karumbu, "Identification and classification of materials using machine vision and machine learning in the context of industry 4.0," *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, pp. 1229-1241, June. 2020.
- [3] R. L. Silva, O. Canciglieri Junior and M. Rudek, "A road map for planning-deploying machine vision artifacts in the context of industry 4.0," *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 39, pp. 167-180, Aug. 2021.
- [4] M. Javaid, A. Haleem, R.P. Singh, S. Rab and R. Suman, "Exploring impact and features of machine vision for progressive industry 4.0 culture," *Sensor. Int.*, vol. 3, pp. 100132, Jan. 2022.
- [5] E. Zancul, H. O. Martins, F. P. Lopes, F. A.T.V. da Silva Neto, "Machine Vision applications in a Learning Factory," *Pro. Manufacturing*, vol. 45, pp. 516-521, April. 2020.
- [6] S. Răileanu, T. Borangiu, F. Anton and S. Anton, "Open source machine vision platform for manufacturing and robotics," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, pp. 522-527, Nov. 2021.
- [7] H. Benyezza, M. Bouhedda, I. Kratbi, A. Boukhtache, R. Kara and Y. Aniba, "Automated Fruits Inspection and Sorting Smart System for Industry 4.0 Based on OpenCV and PLC," in *The 2nd International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM)*, Medea, Algeria, 2023, pp. 1-4.
- [8] S. B. Lee, T. H. Park and K. S. Han, "Development of Machine Vision System based on PLC," *J. of Institute of Control Robotics and Systems*, vol. 20, pp. 741-749, July. 2014.
- [9] J. Hrbček and E. Bubeníková, "Embedded image processing on Raspberry Pi connected to the industrial control system," *J. Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, vol. 2, pp. 62-71, 2019.
- [10] Pixy Documentation. (2023, May. 11). [Online], Available: <https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v2:star>
- [11] Arduino Uno Documentation.(2024, Sept. 25) [Online], Available: <https://www.arduino.cc/>
- [12] Modbus Documentation. (2024, Sept. 23). [Online], Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>