

การพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ Development of an Automatic Bottle Sorting Machine Using object detection Technology

วสุพล จันทรแรม¹

E-mail: dokutahoak@gmail.com

นัทธพงศ์ แจ็งอิม²

E-mail: Nutp42547@gmail.com

จตุรงค์ ธงชัย³

E-mail: jaturong.kmutnb@gmail.com

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม/เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม/เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม/เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติ ด้วยเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุจากกล้องเว็บแคม ด้วยโมเดล YOLOv5 บนบอร์ด Raspberry Pi และใช้บอร์ด Arduino ในการควบคุมเซ็นเซอร์อินฟราเรด และเซอร์โวมอเตอร์สำหรับการคัดแยกขวดชนิดต่าง ๆ ให้ลงในจุดคัดแยก โดยแบ่งประเภทคลาสออกเป็น 3 คลาส ได้แก่ 1.ขวดแก้ว 2.ขวดพลาสติก 3.กระป๋องอลูมิเนียม

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถคัดแยก ขวดทั้ง 3 คลาส จำนวนคลาสละ 50 ตัวอย่าง พบว่าระบบสามารถจำแนกประเภทขวดได้อย่างถูกต้อง 131 ตัวอย่าง คลาสที่ 1 ค่า F-1Score = 0.8041, คลาสที่ 2 ค่า F-1Score = 0.8155 และ คลาสที่ 3 ค่า F-1Score = 1.0000 จากผลการทดลองพบว่าตรวจจับวัตถุได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะคลาสที่ 3 เป็นกระป๋องอลูมิเนียมที่มีรูปแบบไม่ซับซ้อนสามารถตรวจจับได้ง่าย

คำสำคัญ: การตรวจจับวัตถุ, การคัดแยกขวด, YOLOv5, Raspberry Pi

Abstract

This research aims to design and develop an automatic bottle sorting machine using image processing techniques with a webcam and the YOLOv5 model on a Raspberry Pi board. An Arduino board is used to control infrared sensors and servo motors for sorting bottles into designated bins. The system classifies bottles into three types: 1) glass bottles, 2) plastic bottles, and 3) aluminum cans.

The system was tested with 50 samples per class, totaling 150 items. It correctly classified 131 items. The F1-scores were 0.8041 for glass bottles, 0.8155 for plastic bottles, and 1.0000 for aluminum cans. The results show high detection accuracy, with aluminum cans achieving the best performance due to their simple and consistent appearance.

Keywords: Object Detection, Bottle Sorting, YOLOv5, Raspberry Pi

บทนำ

ปัจจุบัน ปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยและขยะรีไซเคิลเป็นประเด็นสำคัญทั้งในระดับประเทศและระดับโลก โดยเฉพาะประเทศไทยที่ขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี จากรายงานกรมควบคุมมลพิษ (2566) ระบุว่า ประเทศไทยเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยกว่า 27.8 ล้านตันต่อปี ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นขยะรีไซเคิล เช่น ขวดพลาสติก ขวดแก้ว และกระป๋องอลูมิเนียม (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

เทคโนโลยี Object Detection ใช้ระบุตำแหน่งและประเภทของวัตถุในภาพหรือวิดีโอ แตกต่างจาก Image Classification ที่สามารถบอกชนิดของวัตถุแต่ไม่บอกตำแหน่ง (Redmon & Farhadi, 2018) งานวิจัยจำนวนมากได้นำ YOLOv5 มาประยุกต์ใช้ในการจัดการขยะ เช่น การตรวจจับขวดพลาสติกและกระป๋องในระบบ real-time โดยให้ผลแม่นยำสูง (Hassadiqin & Utaminigrum, 2025; Usha & Mahesh, 2022; Abo-Zahhad & Abo-Zahhad, 2025)

Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียวที่รองรับระบบปฏิบัติการและประมวลผลภาพได้เหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป เหมาะกับการใช้งานกับโมเดล YOLOv5 บน Embedded Systems และ IoT (Cuarto et al., 2023; Wanasinghe et al., 2020) ในขณะที่ Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์ส ใช้ควบคุมเซ็นเซอร์ เซอร์โวมอเตอร์ หรืออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ในระบบอัตโนมัติ เช่น ระบบจัดการขยะหรือเครื่องคัดแยกขวด (Cuarto et al., 2023; Das et al., 2023)

จากบริบทดังกล่าว ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบคัดแยกขวดอัตโนมัติโดยนำ YOLOv5 มาช่วยตรวจจับ ใช้ Raspberry Pi สำหรับประมวลผลภาพ และ Arduino เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์คัดแยกขวดเข้าสู่ช่องที่กำหนด พร้อมแสดงผลผ่านจอ LCD และไฟ LED เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการจัดการขยะรีไซเคิลภาคสนาม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติ

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับวัตถุอัตโนมัติ (Automated Object Detection System) สำหรับการแยกประเภทขวดน้ำ โดยเฉพาะขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋อง ในกระบวนการคัดแยกเบื้องต้น ระบบนี้มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการคัดแยกวัสดุรีไซเคิล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนและการจัดการขยะอย่างยั่งยืน

1. ขอบเขตด้านปัญหา (Problem Domain Scope):

1.1 ประเภทของวัตถุเป้าหมาย: งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการตรวจจับและจำแนกวัตถุ 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ขวดแก้ว (Glass Bottles), ขวดพลาสติก (Plastic Bottles) และกระป๋อง (Cans) ซึ่งเป็นประเภทขยะรีไซเคิลที่พบได้บ่อยและมีความสำคัญในการคัดแยก

1.2 สถานการณ์การตรวจจับ: การวิจัยจะจำลองสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงในสายพานลำเลียง (Conveyor Belt) หรือจุดรวบรวมเบื้องต้น โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น การทับซ้อนกัน

ของวัตถุ (Object Occlusion), การเปลี่ยนแปลงของแสง (Varying Lighting Conditions), และมุมมองของกล้อง (Camera Viewpoints) ที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของการตรวจจับ

2. ขอบเขตด้านเทคโนโลยีและวิธีการ (Technological and Methodological Scope):

2.1 เทคนิคการตรวจจับวัตถุ: งานวิจัยจะสำรวจและประยุกต์ใช้ Object Detection ได้แก่ YOLO V5

2.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation):

2.2.1 การรวบรวมข้อมูล: จะมีการรวบรวมชุดข้อมูลรูปภาพของขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋อง ภายใต้เงื่อนไขที่หลากหลาย (เช่น ขนาด, สี, รูปร่าง, สภาพการวางตัว, แสง) เพื่อให้โมเดลมีความสามารถในการวางนัยทั่วไป (Generalization) ที่ดี

2.2.2 การติดป้ายกำกับข้อมูล (Data Annotation): รูปภาพที่รวบรวมได้จะถูกติดป้ายกำกับ (Bounding Box Annotation) เพื่อระบุตำแหน่งและประเภทของวัตถุอย่างถูกต้องสำหรับการฝึกฝนโมเดล

3. ขอบเขตด้านการประเมินผล (Evaluation Scope):

3.1 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Performance Metrics): ประสิทธิภาพของระบบจะถูกประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดมาตรฐานในงาน Object Detection ซึ่งรวมถึง:

3.1.1 Precision (ความแม่นยำ): สัดส่วนของวัตถุที่ระบบทำนายว่าเป็นคลาส X ได้อย่างถูกต้อง จากจำนวนวัตถุทั้งหมดที่ระบบทำนายว่าเป็นคลาส X

3.1.2 Recall (ความระลึก/ความครอบคลุม): สัดส่วนของวัตถุคลาส X ที่ระบบสามารถตรวจจับได้ถูกต้อง จากจำนวนวัตถุคลาส X ทั้งหมดที่มีอยู่จริง

3.1.3 F1-Score: ค่าเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิกของ Precision และ Recall ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ให้ความสำคัญกับการประนีประนอมระหว่างความแม่นยำและความครอบคลุม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของ YOLOv5 สถาปัตยกรรมและกลไกการทำงานของโมเดล YOLOv5 เป็นเทคนิคการตรวจจับวัตถุที่มีความแม่นยำและรวดเร็ว เหมาะสำหรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ โดยมุ่งเน้นการเรียนรู้ขั้นตอนการฝึกโมเดล และการนำโมเดลไปประยุกต์ใช้กับระบบฝังตัว

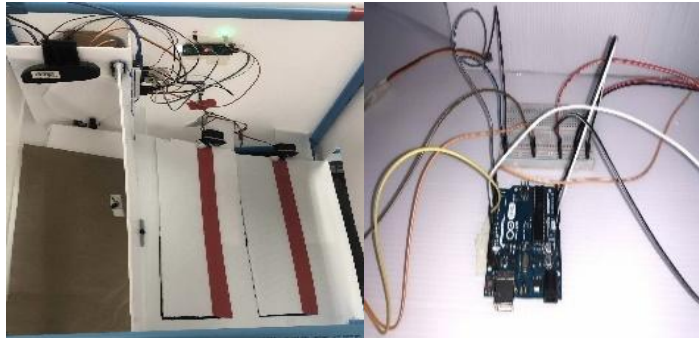
2. ออกแบบระบบฮาร์ดแวร์



ภาพที่ 1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์

ประกอบตัวโครงสร้างหลักที่สามารถรองรับวัตถุ 3 คลาส พร้อมการติดตั้งกล่อง USB กับไฟ LED ส่องสว่างเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุ โดยตัวโครงสร้างประดิษฐ์มาจากวัสดุ PVC ร่วมกับ Future Board

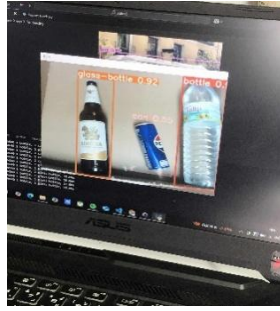
3. พัฒนาฮาร์ดแวร์ร่วมกับYOLOv5



ภาพที่ 2 ต่อวงจร

ดำเนินการออกแบบและติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์เพื่อทำงานร่วมกับโมเดล YOLOv5 โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi เป็นหน่วยประมวลผลหลักสำหรับการรันโมเดลตรวจจับวัตถุ และใช้บอร์ด Arduino สำหรับควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์อินฟราเรด, เซอร์โวมอเตอร์และจอ LCD

4. เทรนโมเดล YOLOv5



ภาพที่ 3 โมเดลขวด

ด้วยชุดข้อมูลภาพที่จัดเตรียมไว้ โดยทำการจัด Annotate ข้อมูลด้วยเครื่องมือสำหรับกำหนดกรอบวัตถุ (Bounding Box) และแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดสำหรับฝึก (Training Set) และทดสอบ (Validation Set) จากนั้นปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น Learning Rate, Batch Size และจำนวน Epoch

5. ทดลองระบบการคัดแยกขวด



ภาพที่ 4 ระบบต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

ทำการทดลองระบบคัดแยกขวดอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น โดยทดสอบกับวัตถุ 3 คลาส ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม อย่างละ 50 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 150 ตัวอย่าง เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการตรวจจับและคัดแยกวัตถุโดยอิงจากผลลัพธ์ของโมเดล YOLOv5 และการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ที่ควบคุมด้วย Arduino

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ และเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โมเดล YOLOv5 สำหรับตรวจจับและจำแนกประเภทขวด 3 ประเภท ได้แก่ ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกระป๋องอลูมิเนียม ซึ่งทำงานร่วมกับระบบฮาร์ดแวร์ที่ประกอบด้วยบอร์ด Raspberry Pi และ Arduino สำหรับควบคุมกลไกการคัดแยก ภายหลังจากการพัฒนาได้ดำเนินการทดสอบด้วยวัตถุรวม 150 ตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงไว้ใน ตารางที่ 1 (Confusion

Matrix) ซึ่งแสดงจำนวนตัวอย่างที่จำแนกถูกและผิดของแต่ละประเภท และ ตารางที่ 2 ที่แสดงค่า Precision, Recall และ F1-Score ของแต่ละคลาส ซึ่งใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบโดยรวม

Confusion Matrix เป็นเครื่องมือสำคัญใน Machine Learning สำหรับวัดผลลัพธ์ของโมเดลจำแนกประเภท และสามารถนำมาเชื่อมโยงกับโครงการ “การพัฒนาเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ” ได้อย่างชัดเจนในหลายด้าน ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 Confusion Matrix

ค่าจริง / ค่าทำนาย	ขวดแก้ว	ขวดพลาสติก	กระป๋องอลูมิเนียม
ขวดแก้ว	39	11	0
ขวดพลาสติก	8	42	0
กระป๋องอลูมิเนียม	0	0	50

จากข้อมูลในตารางพบว่า โมเดลสามารถจำแนกวัตถุได้ถูกต้องรวม 131 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 150 ตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv5 ในการจำแนกประเภทขวดด้วย Precision, Recall และ F1-Score

ประเภทวัตถุ	Precision	Recall	F1-Score
ขวดแก้ว	0.8298	0.7800	0.8041
ขวดพลาสติก	0.7924	0.8400	0.8155
กระป๋องอลูมิเนียม	1.0000	1.0000	1.0000

ตารางแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv5 ในการจำแนกวัตถุแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากค่า Precision, Recall และ F1-Score พบว่าโมเดลสามารถจำแนก “กระป๋องอลูมิเนียม” ได้อย่างแม่นยำที่สุด ด้วยค่า Precision, Recall และ F1-Score เท่ากับ 1.0000 ในทุกตัวชี้วัด ขณะที่ “ขวดพลาสติก” และ “ขวดแก้ว” มีค่าประสิทธิภาพอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยขวดพลาสติกมีค่า Recall สูงกว่าขวดแก้ว สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการตรวจจับตัวอย่างขวดพลาสติกได้มากกว่า แต่ค่าความแม่นยำ (Precision) ของขวดแก้วยังอยู่ในระดับที่ใกล้เคียง ซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดของโมเดลในการจำแนกวัตถุที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

คลาสที่ 1 ขวดแก้ว	ได้ค่า	Precision 0.8298, Recall 0.7800, F-1Score 0.8041
คลาสที่ 2 ขวดพลาสติก	ได้ค่า	Precision 0.7924, Recall 0.8400, F-1Score 0.8155
คลาสที่ 3 กระป๋องอลูมิเนียม	ได้ค่า	Precision 1.0000, Recall 1.0000, F-1Score 1.0000

อภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่าโมเดลสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพแสดงให้เห็นว่า ขวดแก้ว (คลาสที่ 1) มีค่า F1-Score ต่ำที่สุด คือ 0.8041 เนื่องจากลักษณะของขวดแก้วมีความคล้ายคลึงกับขวดพลาสติก (คลาสที่ 2) โดยเฉพาะในกรณีที่ถอดฉลากออก อาจทำให้ระบบประมวลผล

ภาพแยกแยะไม่ชัดเจน ประกอบกับปัจจัยด้านแสงสว่างและมุมกล้องที่อาจส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุ ขณะที่ระบองอคูมึเนียม (คลาสที่ 3) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะทางกายภาพเด่นชัด และมีตัวอย่างจำนวนมากในชุดข้อมูลฝึก ทำให้จำแนกได้อย่างแม่นยำสูงสุด ด้วยค่า F1-Score เท่ากับ 1.0000

อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มความแม่นยำของโมเดลในอนาคต ควรเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของข้อมูลฝึก โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน รวมถึงปรับปรุงการจัดแสงและมุมกล้องในการเก็บภาพให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถพัฒนาโมเดล YOLOv5 ต่อเนื่องโดยการปรับค่าพารามิเตอร์หรือเพิ่มจำนวนรอบการฝึก (Epochs) เพื่อให้โมเดลสามารถแยกแยะวัตถุที่มีความคล้ายคลึงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

- 1) ระบบคัดแยกขวดอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในจุดรับซื้อของเก่า โรงเรียน หรือชุมชนที่ส่งเสริมการรีไซเคิล เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดภาระในการแยกขวด และส่งเสริมการคัดแยกตั้งแต่ต้นทาง อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ด้าน IoT และระบบอัตโนมัติในระดับอุดมศึกษา
- 2) ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต
 - 2.1 พัฒนาระบบให้รองรับการคัดแยกหลายชิ้นพร้อมกัน
 - 2.2 เพิ่มการเชื่อมต่อ IoT หรือแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลแบบเรียลไทม์
 - 2.3 ปรับปรุงโครงสร้างให้รองรับขนาดวัตถุที่หลากหลาย และเพิ่มความทนทานต่อการใช้งานต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- Department of Pollution Control. (2023). *Thailand pollution situation report 2023*.
<https://www.pcd.go.th>
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2018). *Satisfaction survey summary of event activities*. <https://www.iamathailand.org/2018/06/05/สรุปแบบสำรวจความพึงพอใจในการจัดงานกิจกรรม/>
- Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. (2024). *Research and development policy in science and technology*. [Add URL if available]
- Project Development Team. (2024). *Prototype image of automatic bottle sorting machine and control circuit* [Photograph]. Prepared for field testing in prototype laboratory.
- Project Owner. (2024). *User satisfaction evaluation form for the prototype automatic bottle sorting system* [Microsoft Excel file].
- Rajaprajanugroh School 54, Amnat Charoen Province. (2024). *AI-powered smart waste sorting project*. Princess IT Foundation. <https://www.princess-it.org/wp-content/uploads/2024/12/67-jc01-2.pdf>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. *arXiv Preprint, arXiv:1804.02767*. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>



Sakulkittiyut, R. (2022). *Development of a waste sorting system using AI and IoT technology for urban communities* [Master's thesis, Name of University]. (Add university name if known)

Wanasinghe, T. R., Weligampola, R., & Wimalasiri, D. C. (2020). Smart waste management system using deep learning for classification and Arduino for automation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(6), 586–593. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110675>