

บทความวิจัย (Research Article)

ถังขยะอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล^{1,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการสื่อสารและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th โทรศัพท์: 090-5640990

(รับบทความ: 18 กุมภาพันธ์ 2568; แก้ไขบทความ: 14 มีนาคม 2568; ตอรับบทความ: 21 มีนาคม 2568)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาถังขยะอัตโนมัติ ที่สามารถคัดแยกขยะโดยใช้ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ ระบบใช้ ESP32-CAM เป็นอุปกรณ์หลักในการจับภาพขยะและส่งข้อมูลไปยังโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine โมเดลนี้สามารถจำแนกขยะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล เมื่อทำการจำแนกแล้ว ESP32-CAM จะส่งผลลัพธ์ไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการแยกขยะโดยใช้มอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ พร้อมทั้งมีการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรด เพื่อตรวจสอบสถานะของถังขยะและแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็ม การประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการโดยการทดสอบจำแนกขยะ คลาสละ 50 ชิ้น และวัดผลใน 4 เงื่อนไข ได้แก่ (1) ความแม่นยำของการจำแนกประเภทขยะ (2) ความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะ (3) ความสามารถในการหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถจำแนกขยะได้อย่างแม่นยำสูงสุดที่ร้อยละ 99.56 สำหรับขยะอินทรีย์ เนื่องจากมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างชัดเจน ในขณะที่ขยะทั่วไปมีความแม่นยำต่ำสุดที่ร้อยละ 96.00 เนื่องจากความคล้ายคลึงกับขยะรีไซเคิลบางประเภท นอกจากนี้ระบบสามารถเคลื่อนที่กล่องรับขยะไปยังถังขยะที่ถูกต้องได้แม่นยำ มากกว่าร้อยละ 90 ในทุกคลาส และมีความแม่นยำสูงสุดร้อยละ 100 ในคลาสขยะอันตราย ระบบยังคงทำงานได้อย่างเสถียรในการแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็มโดยใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด ผลการทดสอบโดยรวมแสดงให้เห็นว่าระบบถังขยะอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการคัดแยกขยะและปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ถังขยะอัตโนมัติ ปัญญาประดิษฐ์ Teachable Machine, ESP32-CAM, Arduino Uno R3

การอ้างอิงบทความ: วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล, "ถังขยะอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 1-15, 2568.

บทความวิจัย (Research Article)

Automatic Trash Can with Artificial Intelligence Technology

Wadeenat Wannasawaskul^{1,*}

¹ Department of Communication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding Author: wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th, Tel: 090-5640990

(Received: February 18, 2025; Revised: March 14, 2025; Accepted: March 21, 2025)

Abstract

This research aims to develop an automated waste bin capable of waste classification using automation and artificial intelligence (AI) technology to enhance waste management efficiency. The system employs an ESP32-CAM as the primary device to capture waste images and transmit data to an AI model developed using a convolutional neural network (CNN) on the Teachable Machine platform. This model classifies waste into four categories: general waste, hazardous waste, organic waste, and recyclable waste. Upon classification, the ESP32-CAM transmits the results to an Arduino Uno R3, which controls the waste sorting mechanism using motors and servo motors. Additionally, an infrared (IR) sensor is installed to monitor the waste bin's status and trigger an alert when the bin is full. The system's performance was evaluated by classifying 50 waste samples per category and assessing four key criteria: (1) classification accuracy, (2) accuracy of the waste container movement, (3) ability to halt operation when the waste bin is full, and (4) LED notification functionality. Experimental results showed that the system achieved a maximum classification accuracy of 99.56% for organic waste due to its distinct characteristics, while general waste had the lowest accuracy of 96.00% due to similarities with certain recyclable waste types. Furthermore, the system demonstrated an accuracy of over 90% in directing the waste container to the correct bin across all categories, with a 100% accuracy in the hazardous waste category. The system also consistently performed stably in alerting when the waste bin was full using the infrared sensor. Overall, the test results indicate that the developed automated waste bin system effectively reduces waste classification errors and significantly improves waste management efficiency.

Keywords: Waste Bin, Artificial Intelligence, Teachable Machine, ESP32-CAM, Arduino Uno R3

Please cite this article as: W. Wannasawaskul, "Automatic Trash Can with Artificial Intelligence Technology," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 2, pp. 1-15, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ปัญหาการจัดการขยะ เป็นความท้าทายสำคัญของสังคม โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีอัตราการบริโภคสูง ส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การคัดแยกขยะที่ไม่ถูกต้องเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ ขยะที่ควรรีไซเคิลไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเพิ่มภาระในการกำจัด ส่งผลกระทบทั้งด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุนการจัดการขยะ และสุขภาพของประชาชน ปัญหาหลักได้แก่ ปริมาณขยะที่เกินขีดความสามารถในการกำจัด ทำให้เกิดการสะสมของขยะในพื้นที่สาธารณะ ส่งผลต่อสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม การปะปนของขยะประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะขยะรีไซเคิลที่ปะปนกับขยะทั่วไปหรือขยะอันตราย ทำให้การรีไซเคิลไม่มีประสิทธิภาพ ภาระด้านต้นทุนในการจัดการขยะทั้งในกระบวนการคัดแยก ขนส่ง และกำจัด เช่น การฝังกลบและการเผาขยะที่เพิ่มมลพิษ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ เช่น การรั่วไหลของสารพิษจากขยะอันตราย มลภาวะจากการเผาขยะ การปนเปื้อนของแหล่งน้ำ และดินจากขยะที่ไม่ได้รับการคัดแยกอย่างถูกต้อง

การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการคัดแยกขยะจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหา โดยช่วยลดภาระการคัดแยกขยะด้วยแรงงานคน เพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภทขยะ และเพิ่มอัตราการนำขยะกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ มีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาการใช้ AI ในการคัดแยกขยะ เช่น Olawade et al. [1] ระบุว่า AI สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจัดการขยะผ่านการบูรณาการกับ Internet of Things (IoT) พร้อมทั้งเน้นย้ำถึง

ประเด็นด้านคุณภาพข้อมูล ความเป็นส่วนตัว และ ความคุ้มค่า Fahmi & Lubis [2] ได้พัฒนาโมเดล Convolutional Neural Network (CNN) บน TensorFlow เพื่อจำแนกขยะประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ มีความแม่นยำสูงสุดถึงร้อยละ 99 ในขณะที่ Fang et al. [3] ได้ศึกษาการใช้ AI ในการบริหารจัดการขยะในเมืองอัจฉริยะ พบว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งขยะได้ถึงร้อยละ 36.8 และลดต้นทุนได้มากถึงร้อยละ 13.35 ในขณะที่ Son & Ahn [4] ได้เปรียบเทียบโมเดล Mask R-CNN และ YOLO v8 ในการคัดแยกขยะพลาสติก โดยพบว่า Mask R-CNN มีความแม่นยำ 0.912 เหมาะกับงานที่ต้องการการแบ่งส่วนภาพที่ละเอียด ส่วน YOLO v8 มีความแม่นยำ 0.867 แต่สามารถทำงานแบบเรียลไทม์ได้ดีขึ้น Zubair et al. [5] ได้เสนอระบบคัดแยกขยะอัจฉริยะที่รวม AI กับการประมวลผลภาพและกลไกทางกลเพื่อลดปัญหาขยะที่ต้นทาง งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ AI ในการปรับปรุงกระบวนการจัดการขยะให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น

ชุดิธารรัฐ อุตมะสิริเสนี และคณะ[6] ได้พัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ แสดงผลแบบ Dashboard ผ่าน Cloud Server สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบ Real Time ธนโชติ ภาชนะน้อย และคณะ [7] ใช้การจำแนกขยะด้วยโมเดลของ YOLOv5 สามารถคัดแยกขยะได้ถูกต้องร้อยละ 98.33 ธานิล ม่วงพูล และวริยา เย็นเปิง [8] ได้ทำการพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล [9] พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการคัดแยกขยะโดยใช้

บทความวิจัย (Research Article)

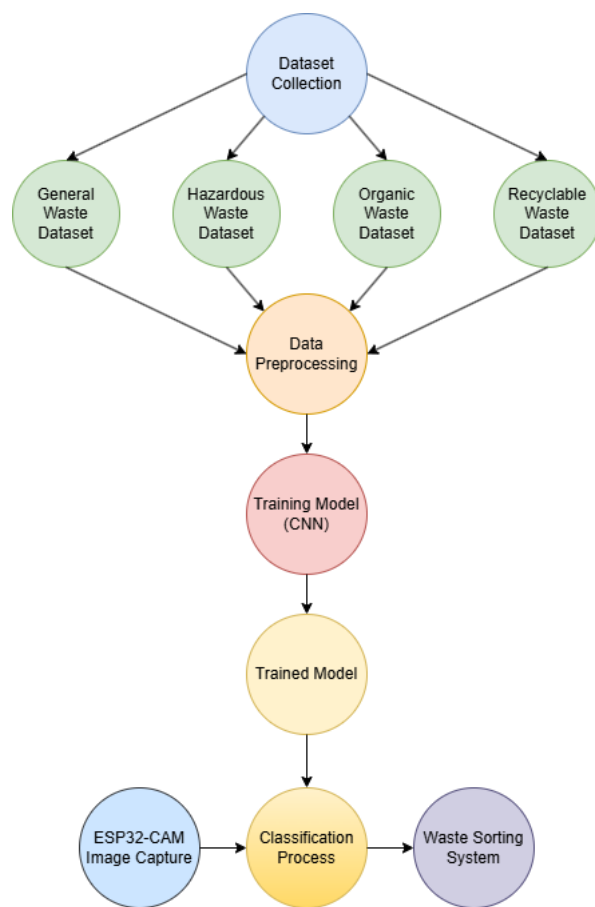
Teachable Machine ซึ่งให้ผลความแม่นยำร้อยละ 85.33 นอกจากนี้ บริษัท Recycleye [10] ยังได้พัฒนา AI ที่สามารถจำแนกขยะโดยใช้การวิเคราะห์ภาพกว่า 3 ล้านภาพ และมีความเร็วประมวลผลถึง 60 เฟรมต่อวินาที งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ AI ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการคัดแยกขยะ ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มโอกาสในการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอัตโนมัติที่ใช้ระบบ AI และระบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะโดยการนำ ESP32-CAM มาจับภาพขยะและส่งไปยัง โมเดล AI บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine เพื่อจำแนกประเภทขยะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล จากนั้น ESP32-CAM จะส่งข้อมูลประเภทขยะไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการคัดแยกขยะให้ขยะแต่ละประเภทตกลงไปยังถังที่ต้องการ ระบบยังใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด เพื่อตรวจสอบสถานะของถังขยะ เช่น ตรวจจกระดับความจุของขยะและแจ้งเตือนเมื่อถังขยะเต็ม

2. ระบบจำแนกขยะอัตโนมัติด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

ระบบจำแนกขยะอัตโนมัติ เริ่มจาก การเก็บรวบรวมชุดข้อมูล (Dataset Collection) โดยแบ่งขยะออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ขยะทั่วไป (GW) ขยะอันตราย (HW) ขยะอินทรีย์ (OW) และขยะรีไซเคิล (RW) ภาพขยะแต่ละประเภทจะถูกนำเข้าสู่

การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) ซึ่งรวมถึงการปรับขนาดภาพ การเพิ่มข้อมูลเทียม (Data Augmentation) และการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Framework ของระบบ

จากนั้นข้อมูลจะถูกใช้ในการฝึกโมเดล (Model Training) ด้วย โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บน Teachable Machine เมื่อฝึกเสร็จสิ้น โมเดลที่ได้จะถูกบันทึกเป็น Trained Model เพื่อเตรียมใช้งานจริง ในขั้นตอนการทำงาน ESP32-CAM จะจับภาพขยะ (ESP32-CAM Capture) และส่งภาพ

บทความวิจัย (Research Article)

ไปยังโมเดล เพื่อทำการจำแนกประเภทขยะ (Classification Process) เมื่อได้รับผลลัพธ์ ระบบจะส่งคำสั่งไปยังระบบแยกขยะ (Waste Sorting System) เพื่อควบคุมกลไกอัตโนมัติ Framework ของระบบ

2.1 การเก็บรวบรวมชุดข้อมูล

รวบรวมภาพขยะทั้งหมดจำนวน 9,561 ภาพ ทำการปรับขนาดภาพให้เป็นขนาด 224x224 พิกเซล

แบ่งออกเป็น Training Set (80%) เพื่อใช้ในการกระบวนการฝึก และ Test Set (20%) สำหรับทดสอบโมเดล ชุดข้อมูลที่ใช้ นำมาจากฐานข้อมูล Kaggle.com ในหมวด Garbage Classification โดยทำการแบ่งออกเป็น 9 คลาส ชุดข้อมูลนี้ใช้สำหรับฝึกอบรมและประเมินโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการจำแนกขยะ รายละเอียดของชุดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของชุดข้อมูล

ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพ	Training Set	Test Set
1	Battery	แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย (AA, AAA, C, D, PP3)	945	756	189
2	Biological	เศษอาหาร ผลไม้	985	788	197
3	Glass	ขวดแก้ว จานแก้ว	1382	1,106	276
4	Cardboard	กล่องกระดาษแข็ง กระดาษแข็ง	891	713	178
5	Metal	กระป๋องอลูมิเนียม ภาชนะฟอยล์	769	615	154
6	Paper	กระดาษ นิตยสาร หนังสือพิมพ์	1050	840	210
7	Plastic	ขวดพลาสติก ภาชนะพลาสติก พลาสติก ถ้วย	865	692	173
8	Trash	ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย หน้ากากอนามัย	697	558	139
9	Shoes	รองเท้า	1977	1,582	395

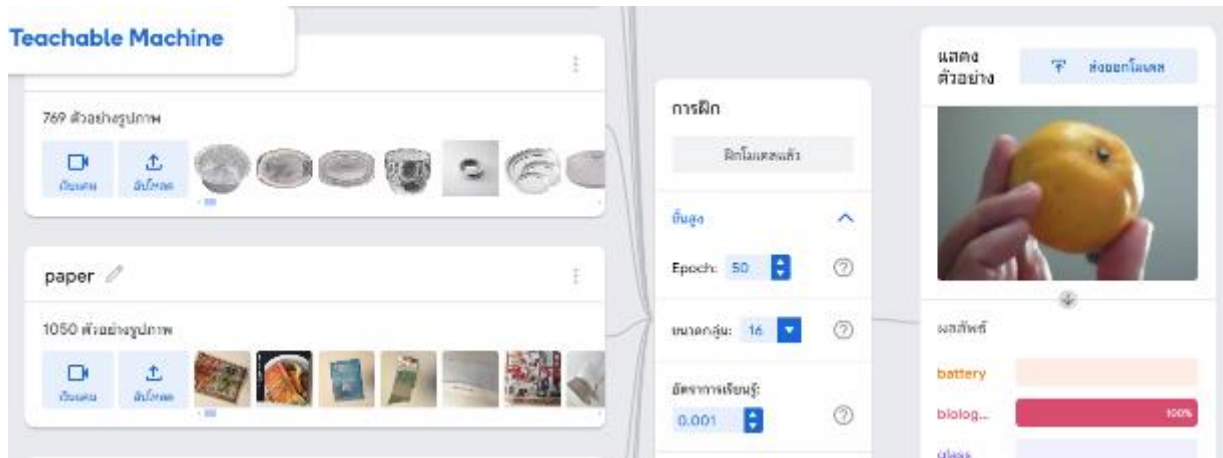
2.2 การพัฒนาและฝึกสอนโมเดล AI

โมเดลถูกฝึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บนแพลตฟอร์ม Teachable Machine โดยมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ (1) จำนวนรอบการฝึก (Epochs) = 50 กำหนดให้โมเดลเรียนรู้ข้อมูลซ้ำ 50 รอบ ซึ่งเพียงพอสำหรับการเรียนรู้โดยไม่ทำให้เกิดปัญหา Overfitting (การจดจำข้อมูลมากเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อนำไปใช้งานจริง) (2) ขนาดแบตช์ (Batch Size) = 16 ในแต่ละรอบของการอัปเดตพารามิเตอร์ โมเดลจะ

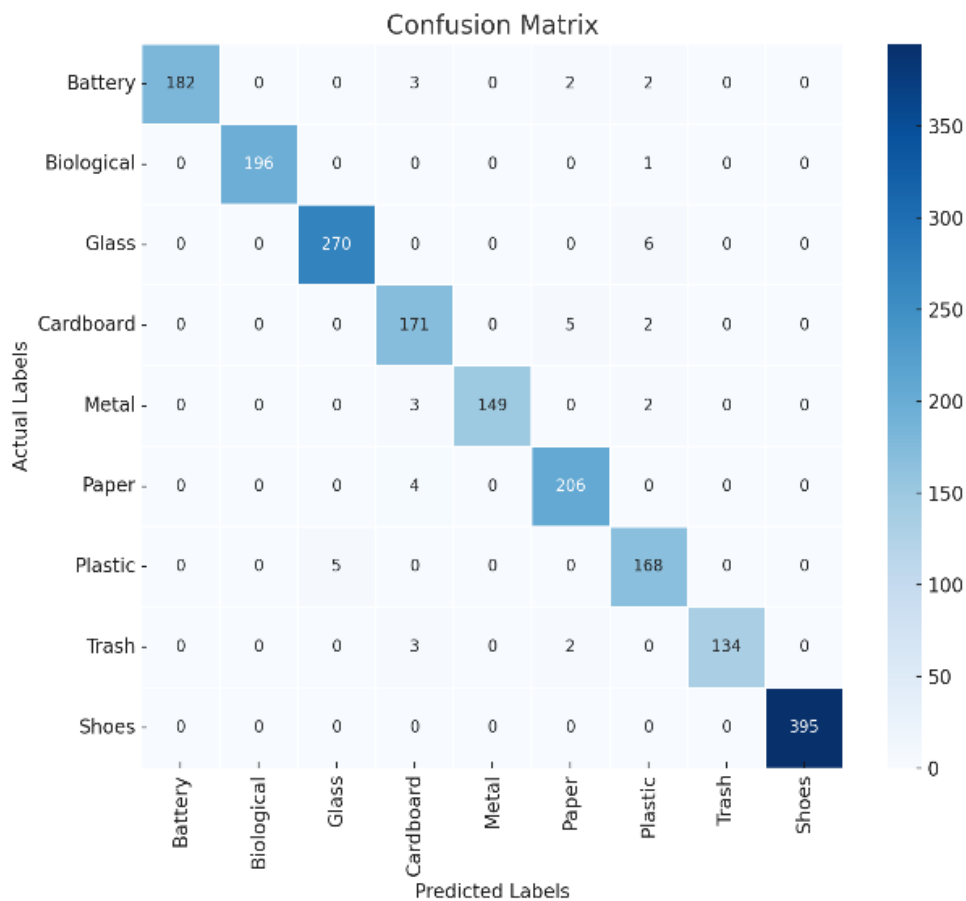
เรียนรู้จากชุดข้อมูลย่อยที่มีขนาด 16 ภาพ ซึ่งช่วยลดภาระหน่วยความจำและทำให้กระบวนการฝึกมีประสิทธิภาพมากขึ้น

(3) อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) = 0.01 ค่านี้กำหนดอัตราการปรับค่าของโมเดลในแต่ละรอบการฝึก ถ้าสูงเกินไปโมเดลอาจไม่สามารถลดค่า Loss ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าต่ำเกินไปอาจทำให้การเรียนรู้ช้าเกินไป ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ถูกปรับให้เหมาะสมกับระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 2 การฝึกโมเดล AI



รูปที่ 3 ผลการทำ Confusion Matrix

บทความวิจัย (Research Article)

2.3 การทดสอบและปรับปรุงโมเดล

หลังจากฝึกโมเดลเสร็จสิ้น ได้ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยใช้ในการฝึก เพื่อวิเคราะห์ผลการจำแนกขยะโดยใช้ Confusion Matrix ดังรูปที่ 3 ผลการทำนายพบว่า คลาส Shoes มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยไม่มีข้อผิดพลาด เนื่องจากมีจำนวนภาพฝึกมากที่สุด (395 ตัวอย่าง) และมีลักษณะที่แตกต่างจากขยะประเภทอื่น ในขณะที่ คลาส Cardboard มีข้อผิดพลาดสูงสุด (7 ตัวอย่างจาก 171 ตัวอย่าง)

จำนวนตัวอย่างที่แตกต่างกันในแต่ละคลาส เช่น Metal (154 ตัวอย่าง) และ Trash (139 ตัวอย่าง) ทำให้ข้อมูลมีความไม่สมดุล (Imbalanced Data) ซึ่งการใช้ Average Precision Score หรือ Precision-Recall Curve อาจเป็นวิธีที่ดีกว่าในการประเมินโมเดล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาถังขยะอัตโนมัติ จึงใช้ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score เป็นเกณฑ์วัดประสิทธิภาพของโมเดล ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล

คลาส	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
1	99.63	100.00	96.30	98.11
2	99.95	100.00	99.49	99.75
3	99.42	98.18	97.83	98.00
4	98.95	92.93	96.07	94.48
5	99.74	100.00	96.75	98.35
6	99.32	95.81	98.10	96.94
7	99.06	92.82	97.11	94.92
8	99.74	100.00	96.40	98.17
9	100.00	100.00	100.00	100.00

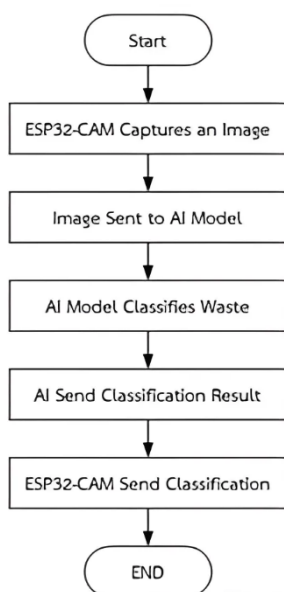
ผลจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าระบบมีความแม่นยำสูงในทุกคลาส โดยคลาส Shoes ทำงานได้ดีที่สุดด้วย Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score ที่ 100% เต็ม แสดงถึงการจำแนกที่สมบูรณ์แบบ ไม่มีข้อผิดพลาด ส่วนคลาส Biological, Metal และ Trash มี Accuracy สูงกว่า 99.7% และมี Precision และ Recall ใกล้เคียง 100% แสดงถึงการทำงานที่เสถียรและแม่นยำมาก คลาส Cardboard และ Plastic มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในด้าน Precision ที่ 92.93% และ 92.82% ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงข้อผิดพลาดในเชิงบวกที่มากกว่าคลาสอื่น อย่างไรก็ตาม Recall ของทุกคลาสนี้ยังคงสูงกว่า 96% บ่งชี้ว่าระบบสามารถตรวจจับตัวอย่างในคลาสต่างๆ ได้ดีโดยรวม ในภาพรวมระบบมีประสิทธิภาพสูงด้วย Accuracy เฉลี่ยใกล้ 99%

3. ถังขยะอัตโนมัติ

3.1 ฟังก์ชันโมเดล AI ลงใน ESP32-CAM

หลังจากการฝึกฝนเสร็จสิ้น โมเดลจะถูกส่งออกในรูปแบบ TensorFlow Lite (.tflite) สำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ IoT และ TensorFlow.js สำหรับการใช้งานในเว็บเบราว์เซอร์ จากนั้นเขียนโปรแกรมฝังโมเดล AI บน ESP32-CAM เพื่อควบคุมการจับภาพและประมวลผลภาพ และสร้างระบบที่เชื่อมต่อ ESP32-CAM กับเซิร์ฟเวอร์เพื่ออัปเดตโมเดลหรือบันทึกข้อมูลผลการจำแนก และพัฒนาโปรแกรมให้ ESP32-CAM สามารถสื่อสารกับ Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมกลไกการคัดแยกขยะ แสดงแผนภาพดังรูปที่ 4

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 4 แผนภาพการทำงานของ ESP32-CAM

3.2 ระบบควบคุมถังขยะอัตโนมัติ

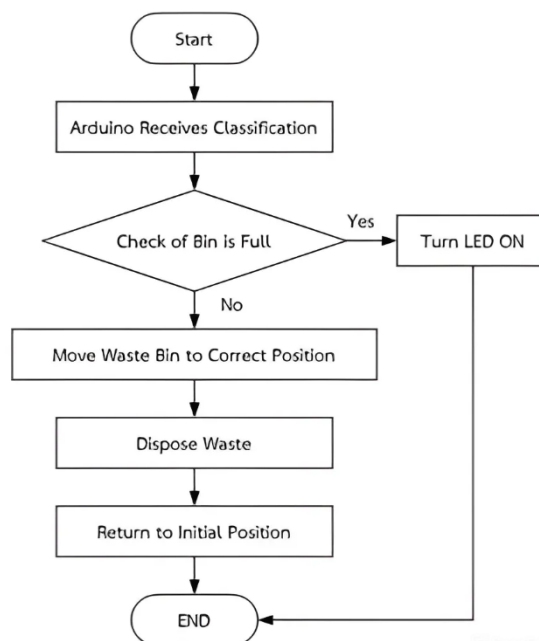
การทำงานของถังขยะอัตโนมัติหลังจากรับค่าการจำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท (การแยกคลาสเป็น 4 ประเภท ดังตารางที่ 3) จาก ESP32-CAM มายัง Arduino Uno R3 ระบบเริ่มทำการตรวจสอบปริมาณขยะในถังขยะทั้ง 4 ประเภทก่อนที่กล่องรับขยะจะเคลื่อนที่ไปที่ถังขยะยังถังที่สอดคล้องกับขยะที่จำแนก และทำการหมุนถาดรับขยะเพื่อทิ้งขยะและเคลื่อนที่กลับมายังจุดรับขยะ ในกรณีที่ถังขยะที่ต้องการทิ้งเต็มระบบจะแจ้งเตือนด้วยไฟ LED เพื่อให้ผู้ใช้งานนำขยะออกหรือเปลี่ยนขยะประเภทอื่นแทน แผนภาพการทำงานแสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3 จำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท

ประเภทขยะ	คลาส
ขยะทั่วไป (General Waste: GW)	Cardboard
	Paper
	Shoes

ตารางที่ 3 จำแนกประเภทขยะ 4 ประเภท (ต่อ)

ประเภทขยะ	คลาส
ขยะอันตราย (Hazardous Waste: HW)	Battery
	Trash
ขยะอินทรีย์ (Organic Waste: OW)	Biological
ขยะรีไซเคิล (Recyclable Waste: RW)	Glass
	Metal
	Plastic



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของถังขยะอัตโนมัติ

ระบบถังขยะอัตโนมัติ ใช้ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 เป็นแกนหลักในการทำงาน โดยระบบสามารถตรวจจับและจำแนกขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ฝึกด้วย Teachable Machine เพื่อแยกประเภทขยะเป็น ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอินทรีย์ และขยะรีไซเคิล กระบวนการทำงานเริ่ม

บทความวิจัย (Research Article)

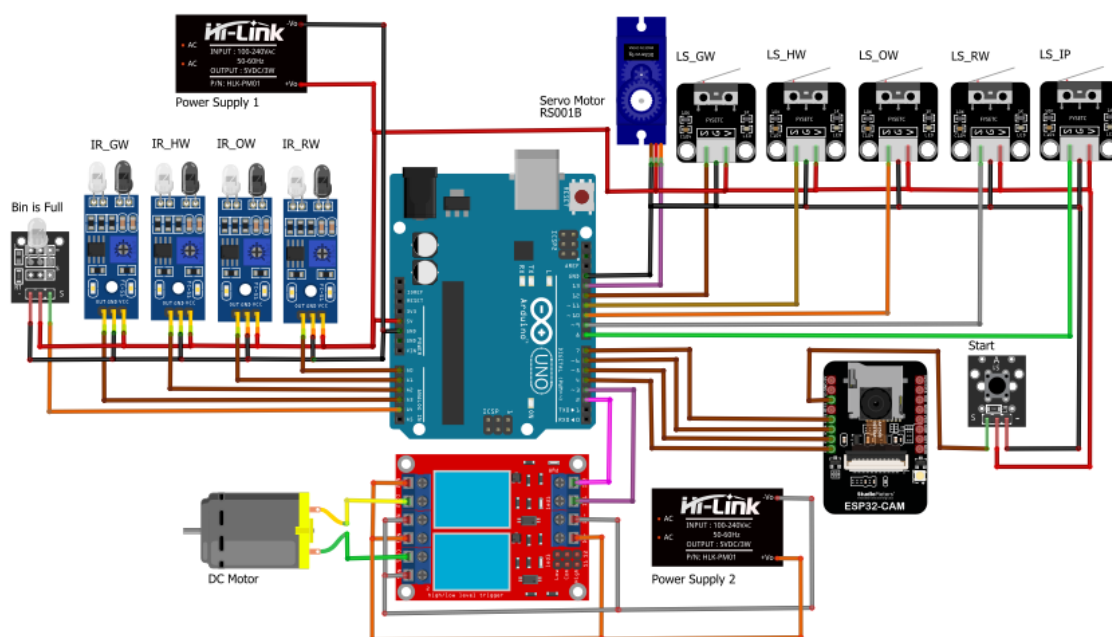
จาก ESP32-CAM ซึ่งใช้กล้อง OV2640 จับภาพขยะและส่งไปยังโมเดล AI เพื่อจำแนกประเภท โดยตั้งค่าความละเอียดที่ 320x240 (QVGA) หรือ 640x480 (VGA) เพื่อให้ได้สมดุลระหว่างความเร็วในการประมวลผลและคุณภาพของภาพ หลังจากการจำแนกขยะสำเร็จ ESP32-CAM จะส่งผลลัพธ์ไปยัง Arduino Uno R3 เพื่อควบคุมการทำงานของถังขยะอัตโนมัติ และการจัดการขยะให้ลงถังที่ถูกต้อง ตัวแปรและรายละเอียดอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 4 วงจรของระบบแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ตัวแปรและรายละเอียดของอุปกรณ์

ตัวแปร	คำอธิบายความหมาย
Start	ปุ่มเริ่มทำงาน
IR_GW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะทั่วไปเต็ม
IR_HW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะอันตรายเต็ม
IR_OW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะอินทรีย์เต็ม

ตารางที่ 4 ตัวแปรและรายละเอียดของอุปกรณ์ (ต่อ)

ตัวแปร	คำอธิบายความหมาย
IR_RW	เซ็นเซอร์ตรวจจับถังขยะรีไซเคิลเต็ม
Bin is Full	แจ้งเตือนถึงขยะเต็ม
LS_GW	ตำแหน่งถังขยะทั่วไป
LS_HW	ตำแหน่งถังขยะอันตราย
LS_OW	ตำแหน่งถังขยะอินทรีย์
LS_RW	ตำแหน่งถังขยะรีไซเคิล
LS_IP	ตำแหน่งเริ่มต้น
CW	การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะตามเข็มนาฬิกา
CCW	การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะทวนเข็มนาฬิกา
Servo	ปล่อยขยะลงในถัง
Power Supply 1	แหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ระบบหลัก
Power Supply 2	แหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ Relay Module และ DC Motor



รูปที่ 6 วงจรของระบบถังขยะอัตโนมัติ

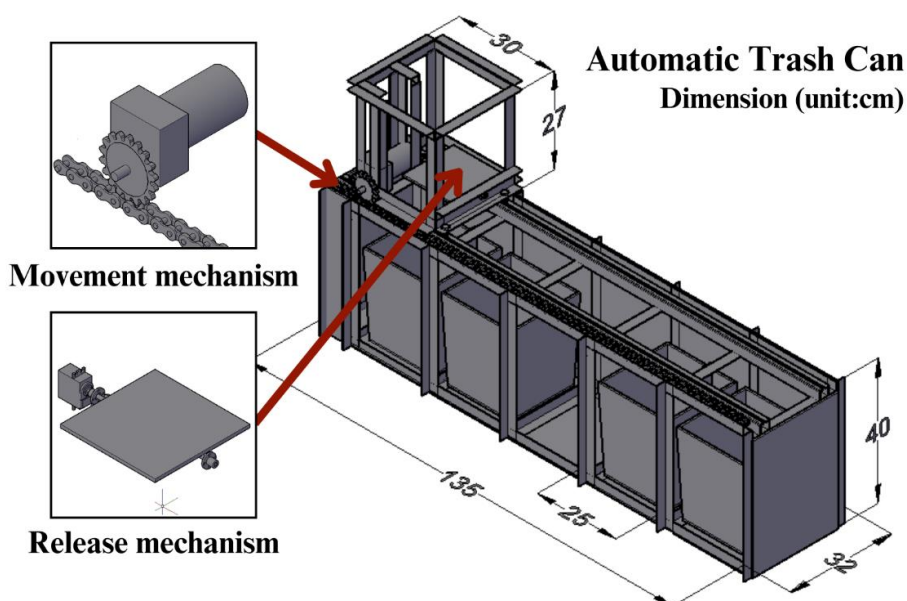
บทความวิจัย (Research Article)

จากรูปที่ 6 แสดงการออกแบบระบบควบคุมของระบบถังขยะอัตโนมัติโดยใช้ Arduino Uno R3 ควบคุมการทำงานของระบบโดยรับข้อมูลจาก Infrared Sensors (IR Sensor) 4 ตัว ที่ใช้ตรวจสอบว่าสถานะของถังขยะแต่ละประเภทเต็มหรือไม่ (IR_GW, IR_HW, IR_OW และ IR_RW) หากพบว่าถังขยะเต็ม LED จะติดขึ้นเพื่อแจ้งเตือน และระบบจะหยุดทำงานจนกว่าผู้ใช้งานจะนำขยะออกจากถัง นอกจากนี้ ระบบยังมี Limit Switch 5 ตัว ได้แก่ LS_GW, LS_HW, LS_OW, LS_RW และ LS_IP ซึ่งทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของกล่องรับขยะและควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบสำหรับกำหนดตำแหน่งของถังขยะในแต่ละประเภท

การเคลื่อนที่ของกล่องรับขยะถูกควบคุมโดย DC Motor ที่สามารถหมุนได้ทั้งตามเข็มนาฬิกา (CW) และทวนเข็มนาฬิกา (CCW) โดยใช้ Relay Module 2 ช่อง ซึ่งมี Opto-Isolation เพื่อลดสัญญาณรบกวน

และป้องกันแรงดันย้อนกลับจากมอเตอร์ที่อาจส่งผลกระทบต่อ Arduino Uno R3 เมื่อกล่องรับขยะเคลื่อนที่ไปถึงถังขยะที่ต้องการ Servo Motor จะหมุนเพื่อปล่อยขยะลงในถัง และจากนั้นกล่องรับขยะจะกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น (LS_IP) เพื่อรอการทำงานรอบถัดไป

ระบบใช้ Power Supply 2 ในการให้พลังงานแก่ Relay Module ที่มี Opto-Isolation ซึ่งช่วยแยกระบบควบคุมแรงดันต่ำ (Low Voltage) ของ Arduino Uno R3 ออกจากระบบควบคุมมอเตอร์ที่ใช้แรงดันสูงกว่า (High Voltage) สิ่งนี้ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงของการรบกวนทางไฟฟ้า นอกจากนี้ Power Supply 1 จะถูกใช้สำหรับ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 เพื่อให้แน่ใจว่าแรงดันไฟฟ้าคงที่และเพียงพอสำหรับการประมวลผลข้อมูลและการสื่อสารกับ AI โครงสร้างของถังขยะอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โครงสร้างของถังขยะอัตโนมัติ

บทความวิจัย (Research Article)

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

หลังจากการสร้างระบบถังขยะอัตโนมัติเสร็จสิ้นแล้ว ได้ทำการนำขยะทั้ง 9 คลาส ๆ ละ 50 ชิ้น มาทำการทดลองแยกขยะ 4 ประเภท ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการจำแนกขยะ

คลาส	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
GW	96.00	92.86	95.33	94.08
HW	98.67	97.96	96.00	96.97
OW	99.56	100.00	96.00	97.96
RW	97.78	96.67	96.67	96.67

ผลการทดสอบการจำแนกขยะจากตารางที่ 5 พบว่าระบบมีความแม่นยำในการจำแนกประเภทของขยะในระดับที่น่าพอใจ โดย OW มีค่า Accuracy สูงสุดอยู่ที่ 99.56% เนื่องจากตัวอย่างของขยะที่นำมาทดสอบมีรูปทรงที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ส่วน GW ค่า Accuracy ต่ำสุดอยู่ที่ 96.00% เนื่องจากขยะที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมถูกมองเป็นกระดาษซึ่งอยู่ในประเภท GW ระบบจำแนกขยะ OW ได้แม่นยำที่สุด (Precision 100.00%)

การทดสอบระบบถังขยะอัตโนมัติถูกออกแบบให้ตรวจสอบ 4 คลาสของขยะ ได้แก่ GW, HW, OW และ RW โดยสุ่มขยะแต่ละคลาสมาทดสอบคลาสละ 50 ชิ้น การทดสอบประกอบด้วยการประเมิน 4 เงื่อนไขหลัก ได้แก่ (1) ความถูกต้องในการเคลื่อนกล่องรับขยะไปยังตำแหน่งถังขยะและกลับมาจุดเริ่มต้น (2) ความถูกต้องในการปล่อยขยะลงถัง (3) ความสามารถของระบบในการหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม 10 ครั้ง

และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED เมื่อถังขยะเต็ม ผลการทดสอบแต่ละเงื่อนไขจะถูกบันทึกและคำนวณความแม่นยำในรูปแบบเปอร์เซ็นต์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบในแต่ละคลาส ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการทำงานของถังขยะ

คลาส	ความถูกต้อง (%)			
	ตำแหน่งถังขยะ	ปล่อยขยะ	สถานะถังขยะเต็ม	LED แจ้งเตือน
GW	92.00	98.00	80.00	100.00
HW	98.00	100.00	100.00	100.00
OW	100.00	98.00	100.00	100.00
RW	90.00	96.00	90.00	90.00

ผลการทดสอบพบว่า กระบวนการคัดแยกขยะใช้เวลาเฉลี่ย 3.5 วินาทีต่อชิ้น และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพความถูกต้องรายคลาส พบว่า คลาส HW มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีความแม่นยำในการเคลื่อนกล่องรับขยะไปยังตำแหน่งและการปล่อยขยะ 100% และระบบทำงานถูกต้องเมื่อถังขยะเต็มทุกครั้งสำหรับคลาส GW และ OW ความแม่นยำยังคงค่อนข้างสูง แต่พบปัญหาในกรณีที่ถังขยะเต็ม ระบบยังคงทำงานในบางครั้ง (GW: 20%, OW: 0%) อย่างไรก็ตาม LED แจ้งเตือนถูกต้องทุกครั้ง สำหรับคลาส RW พบปัญหาในการเคลื่อนตำแหน่ง (ความแม่นยำ 90%) และการแจ้งเตือนผ่าน LED มีข้อผิดพลาด 1 ครั้งเนื่องจากสายไฟหลวม (ความแม่นยำ 90%) โดยรวมระบบมีความแม่นยำในแต่ละเงื่อนไขสูงกว่า 90% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการใช้งานจริง แต่ยังสามารถปรับปรุงในบางจุดเพื่อเพิ่มความเสถียรและ

บทความวิจัย (Research Article)

ความแม่นยำได้มากขึ้น การทดสอบการทำงาน แสดง
ดังรูปที่ 8 – 9



(ก) ผู้ใช้วางขยะลงบนถาดรับขยะและกดสวิตช์
เพื่อเริ่มการทำงาน



(ข) ระบบจะเลื่อนกล่องรับขยะไปยังถังขยะที่ถูกต้อง
และทำการปล่อยขยะลงถังโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 8 การทดสอบถังขยะอัตโนมัติ



(ก) ถังขยะ GW เต็ม ทำให้ ไฟ LED ของโมดูล IR ติด
สว่าง ในขณะที่ถังขยะ HW ยังไม่เต็ม ทำให้ ไฟ LED
ของโมดูล IR ดับ



(ข) AI จำแนกแก้วกระดาษเป็นขยะ GW แต่ถังขยะ
ประเภทนี้เต็มแล้ว ระบบจะหยุดทำงาน และไฟ LED
จะแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้ทำการนำขยะออก

รูปที่ 9 การทดสอบถังขยะอัตโนมัติในกรณีถังขยะเต็ม

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบถังขยะ
อัตโนมัติที่สามารถตรวจจับและจำแนกประเภทขยะ
โดยใช้ ESP32-CAM และ Arduino Uno R3 ควบคู่
กับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่พัฒนาโดยใช้
โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) บน
แพลตฟอร์ม Teachable Machine ระบบสามารถ

จำแนกขยะเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป (GW)
ขยะอันตราย (HW) ขยะอินทรีย์ (OW) และขยะรี
ไซเคิล (RW) โดย ESP32-CAM จับภาพและส่งไปยัง
โมเดล AI เพื่อวิเคราะห์ประเภทขยะ จากนั้น Arduino
Uno R3 ควบคุมกลไกแยกขยะอัตโนมัติ

การทดสอบระบบใช้ขยะประเภทละ 50 ชิ้น และ
ประเมิน 4 เงื่อนไข ได้แก่ (1) ความแม่นยำในการ

บทความวิจัย (Research Article)

จำแนกขยะ (2) ความถูกต้องของการเลือนกล่องรับขยะ (3) การหยุดทำงานเมื่อถังขยะเต็ม และ (4) การแจ้งเตือนผ่าน LED ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจำแนกขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า Accuracy สูงกว่า 96% ในทุกประเภทของขยะ โดยขยะอินทรีย์ (OW) มี Accuracy สูงสุดที่ 99.56% เนื่องจากมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ขณะที่ขยะทั่วไป (GW) มี Accuracy ต่ำสุดที่ 96.00% เนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับขยะรีไซเคิล เช่น กระดาษ สำหรับ Precision พบว่า ขยะอินทรีย์ (OW) มีค่าความแม่นยำสูงสุดถึง 100% ส่วนคลาส HW ทำงานได้ดีที่สุด โดยมีความแม่นยำ 100% ในการเลือนกล่องรับขยะ การปล่อยขยะ และการหยุดทำงานเมื่อถังเต็ม เวลาที่ใช้ในกระบวนการแยกขยะ อยู่ที่ 3 - 4 วินาทีต่อชิ้น อย่างไรก็ตาม พบข้อผิดพลาดบางประการในคลาส GW และ OW เมื่อถังขยะเต็ม โดย GW มีโอกาส 20% ที่ระบบยังทำงานต่อแม้ถังจะเต็ม ส่วน RW มีปัญหาเกี่ยวกับการเลือนตำแหน่ง (ความแม่นยำ 90%) และเกิดข้อผิดพลาดในการแจ้งเตือน LED 1 ครั้ง แม้ว่าระบบโดยรวมจะมีความแม่นยำสูงกว่า 90% แต่ยังสามารถปรับปรุงให้มีเสถียรภาพมากขึ้น

ระบบนี้ช่วยลดข้อผิดพลาดในการคัดแยกขยะของมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพการรีไซเคิล รวมถึงช่วยลดต้นทุนด้านแรงงานและเป็นต้นแบบสำหรับ Smart City อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัด เช่น ความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ตรวจจับระดับขยะ และข้อจำกัดของ ESP32-CAM ในการประมวลผลภาพ การพัฒนาในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่ การใช้เซ็นเซอร์หลายตัวร่วมกัน การใช้ Deep Learning แทน

Teachable Machine และการอัปเดตฮาร์ดแวร์ เช่น Raspberry Pi เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพการทำงาน แบบเรียลไทม์ พร้อมปรับปรุงกลไกแยกขยะให้มีเสถียรภาพมากขึ้นสำหรับการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Fahmi and B. P. Lubis, "Identification and sorting of waste using artificial intelligence based on convolutional neural network," in *Proceedings of the 2022 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 2022, pp. 222–226. DOI: 10.1109/ELTICOM57747.2022.10038044.
- [2] B. Fang, et al., "Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 1959–1989, 2023. DOI: 10.1007/s10311-023-01604-3.
- [3] D. B. Olawade, et al., "Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence," *Waste Management Bulletin*, vol. 2, no. 2, pp. 244–263, 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.05.001.
- [4] J. Son and Y. Ahn, "AI-based plastic waste sorting method utilizing object detection models for enhanced

บทความวิจัย (Research Article)

- classification," *Waste Management*, vol. 193, pp. 273–282, 2025. DOI: 10.1016/j.wasman.2024.12.014.
- [5] M. Zubair, et al., "Smart Waste Bin: Mechanical and AI Based Waste Segregation," in *Proceedings of the 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 2022, pp. 63–66. DOI: 10.1109/ICAIS53314.2022.9742806.
- [6] ณิชนันท์ ธัญพรหิรัญย์ และ ชุตติธารัฐ อุตมะสิริ เสนี, "การพัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ของนักเรียนในโรงเรียนระดับประถมศึกษา," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, หน้า 54–63, ม.ค.–มิ.ย. 2565.
- [7] ธนโชติ ภาชนะนัย และคณะ, "เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 242–253, พ.ค.–ส.ค. 2565.
- [8] ธานิล ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง, "การพัฒนาแบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที," *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, หน้า 7–16, ก.ค.–ธ.ค. 2563.
- [9] วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล, "การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์," *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 23, หน้า 51–65, ม.ค.–มิ.ย. 2567.
- [10] Recycleye, "Norse Environmental Waste Services invests in AI-powered robotic automation from Recycleye," [online]. Available: <https://recycleye.com/news-buys-recycleye-qualibot/>. [Accessed: 31 January 2025].
- [11] D. Zhaojie, et al., "Garbage Classification System Based on AI and IoT," in *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, Delft, Netherlands, 2020, pp. 349–352.
- [12] G. Yang, et al., "Garbage Classification System with YOLOV5 Based on Image Recognition," in *Proceedings of IEEE 6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, Nanjing, China, 2021, pp. 11–18.
- [13] G. Yu and B. Shao, "Garbage Classification and Detection Based on Improved YOLOv7 Network," in *Proceedings of International Conference on Pattern Recognition, Machine Vision and Intelligent Algorithms (PRMVA)*, Beihai, China, 2023, pp. 103–107.

บทความวิจัย (Research Article)

- [14] S. Kunwar, "Garbage Classification,"
[online]. Available:
<https://www.kaggle.com/datasets/sumn2u/garbage-classification-v2/data?select=garbage-dataset>.
[Accessed: 25 January 2025].
- [15] X. Yi, Y. Liang and H. Peng, "Garbage classification system based on artificial intelligence and Internet of Things," in *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT)*, Yichang, China, 2022, pp. 1–5. DOI: 10.1109/AICIT55386.2022.9930306.