

## การคัดแยกประเภทขยะโดยใช้อัลกอริทึม YOLOv5 Waste Classification Based on YOLOv5 Algorithm

ธนัท ธนอศวพล<sup>1\*</sup>, ธนาภรณ์ เพ็ชรรัตน์<sup>1</sup>, รัชนิกร รอดเสน<sup>1</sup> และ เรืองศักดิ์ ชูเชิด<sup>1</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000  
\*ติดต่อ: tanat.t@rmutsv.ac.th

### บทคัดย่อ

ปัญหาขยะล้นเมืองในประเทศไทยเป็นปัญหาในสังคมไทยที่สั่งสมมานานซึ่งส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของผู้คนและการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเกิดจากพฤติกรรมทิ้งขยะที่ขาดการคัดแยกขยะในชีวิตประจำวัน ดังนั้นจุดมุ่งหมายของบทความนี้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการคัดแยกขยะโดยใช้แบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะซึ่งพัฒนาด้วยอัลกอริทึม YOLOv5 ที่มีการใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยทำให้สามารถคัดแยกขยะได้แบบตามเวลาจริง (Real time) ประมวลผลด้วยระบบสมองกลฝังตัว Raspberry pi 4 model B การศึกษานี้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะเพื่อคัดแยกขยะ 3 ประเภท ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และโลหะ และการประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะด้วยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ผลการทดลองประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการประมวลผลรูปภาพสำหรับการคัดแยกประเภทขยะที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและแม่นยำ มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ บ่งชี้ให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถคัดแยกประเภทขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการพัฒนาต่อยอดในการประยุกต์ใช้งานร่วมกับโครงสร้างสถานีทิ้งขยะต่อไป  
คำหลัก: การคัดแยกขยะ การรู้จำวัตถุ ระบบสมองกลฝังตัว

### Abstract

The problem of overflowing garbage in Thailand is a long-standing problem in Thai society that affects people's livelihoods and sustainable development caused by garbage disposal behavior that lack waste segregation in daily life. The aim of this paper is therefore to develop an efficient algorithm for waste segregation using a model developed with the YOLOv5 algorithm that uses low compute resources for further development of real-time waste separation on the Raspberry pi 4 Model B embedded system. The model was used to classify three types of waste: paper, plastic, and metal. By using the confusion matrix to evaluate the proposed model, experimental results illustrated that the performance of the proposed method can be accepted for further developments in waste segregation applications.

Keywords: waste segregation, object recognition, embedded system

## DRC-0005

### 1 บทนำ

การจัดการขยะมูลฝอยในหลายพื้นที่ยังประสบปัญหาไม่สามารถจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง โดยเกิดจากปัจจัยแวดล้อมในหลากหลายด้าน ซึ่งปัจจัยด้านหนึ่งส่งผลให้ปริมาณขยะภายในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสาเหตุเกิดจากพฤติกรรมทิ้งขยะโดยละเลยการคัดแยกขยะในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดความรู้ในเรื่องประเภทของขยะ ความไม่สะดวกสบายในการแยกขยะก่อนที่ความไม่พร้อมของสถานที่ในการทิ้งขยะ ตลอดจนการขาดจิตสำนึกในการทิ้งขยะ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีหลากหลายงานวิจัยที่ศึกษาและหาแนวทางในการจัดการขยะ เช่น การศึกษาของพรรณณีและคณะ [1] ในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอย การศึกษาของกาญจนาและคณะ [2] ในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบการจัดการขยะมูลฝอยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพสวนพยอม เป็นต้น ซึ่งผลการศึกษพบว่าวิธีการทำน้ำเสนอสามารถช่วยลดปริมาณขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นเป็นการจัดการขยะซึ่งต้องอาศัยกลไกการทำงานร่วมกับพฤติกรรมทิ้งขยะของมนุษย์ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถแก้ปัญหาการคัดแยกขยะก่อนทิ้งได้ในระยะยาว

ดังนั้นในบทความนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ (Object detection) สำหรับการคัดแยกขยะโดยการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกขยะด้วยแบบจำลองต้นแบบ YOLOv5 ซึ่งมีหลักการทำงานด้วยอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network : CNN) ตลอดจนประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะด้วยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) สำหรับการคัดแยกขยะ 3 ประเภท ได้แก่ กระจาด พลาสติก และโลหะ ซึ่งเป็นขยะประเภทที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้

### 2 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นกระบวนการจัดการและวิเคราะห์ รูปภาพให้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ สำหรับการนำข้อมูลไปวิเคราะห์และประยุกต์ใช้งานเพื่อพัฒนาระบบใดๆ โดยการประมวลผลรูปภาพมีการประยุกต์ใช้ในงานหลากหลายด้าน ซึ่งเทคนิคที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพมีขั้นตอนดังนี้

- ปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) เป็นกระบวนการในการแปลง ข้อมูลภาพตัวเลข เพื่อที่จะสร้างภาพที่เน้นรายละเอียดที่ต้องการ หรือปรับสีของโทนแสงที่

ต้องการของภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลหรือรายละเอียดอื่น ๆ ของภาพ

- การกรองภาพหรือการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ (Image Filters) คือการนำภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมาภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (enhance) หรือ ลดทอน (attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

- การซ้อนทับภาพ (Image Registration) เป็นวิธีการนำข้อมูลของสองภาพหรือมากกว่ามารวมกันเพื่อให้เกิดภาพใหม่ที่มีข้อมูลภาพสมบูรณ์มากขึ้น โดยภาพใหม่ที่ได้นี้ จะเป็นการรวมตัวกันของข้อมูลหรือรายละเอียดในแต่ละภาพที่นำมาผสมกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดและข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้

- การคืนสภาพของภาพ (Image Restoration) การทำให้ภาพคืนสู่สภาพเดิมหรือการ ปรับปรุงภาพให้เหมาะสมกับการมองเห็น

- การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เป็นขั้นตอนการแบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่สนใจออกมาจากภาพทั้งหมด ซึ่งวิธีการนี้โดยส่วนมากมีการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ เนื่องจากภาพถ่ายทางการแพทย์ที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพแบบต่างๆ นั้น โดยส่วนมากมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับอวัยวะที่ทำถ่ายภาพมา เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก อวัยวะข้างเคียง หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ขึ้นในขณะถ่ายภาพ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์เฉพาะอวัยวะที่ต้องการ

- การหาขอบภาพในวัตถุ (Image Segmentation and Edge Detection) การหาขอบภาพ เราจะใช้หลักการหาความชันของความเข้มสี หรือ intensity เนื่องจากที่ขอบรูปจะเป็นบริเวณมีความแตกต่างของสีมาก ซึ่งหากเราหาความชันของค่า intensity ก็จะได้ความชันมาก

- การบีบอัดภาพ (Image Compression)

- การบีบอัดแบบไม่มีการสูญเสียรายละเอียดข้อมูล (Lossless compression) ค่าความ สว่างของแต่ละจุดภาพ จะยังคงอยู่เหมือนเดิมทุกประการ หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละ จุดภาพ ซึ่งการบีบอัดวิธีนี้จะอาศัยเทคนิค การจัดเก็บข้อมูลเชิงเลขในการลดขนาดของข้อมูล

- การบีบอัดแบบสูญเสียรายละเอียดข้อมูล (Lossy compression) วิธีการนี้จะมีการ เปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของจุดภาพนั้นหมายความว่า วิธีการนี้ไม่เหมาะสมสำหรับ ข้อมูลภาพที่ ต้องมีการจำแนกข้อมูล (Classification)

- การสร้างภาพ 3 มิติ (3D Image Reconstruction) การวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ โดยใช้ภาพ 3 มิติ กำลังได้รับความต้องการอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากภาพ 3 มิติสามารถ แสดงให้เห็นถึงภาพรวมหรือรายละเอียดในมุมมองต่าง ๆ ของอวัยวะได้ จึงมีประโยชน์อย่างมาก ในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ โดยอวัยวะหรือส่วนของร่างกายที่ได้มีการวิเคราะห์ในรูปแบบ 3 มิติ ตัวอย่าง เช่น สมอง หัวใจ กระดูก ฟัน และขากรรไกร เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีส่วนเทคนิคประกอบโดยรวมอื่น ๆ อีกมากมาย ที่สำคัญซึ่งกระบวนการประมวลผลรูปภาพมีการประยุกต์ใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องทั้งด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย และเป็นผลประโยชน์ในหลากหลายด้าน [3]

## 2.2 ระบบตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

ระบบตรวจจับวัตถุ (Object detection) เป็นหนึ่งในคุณลักษณะของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) ประยุกต์ใช้ร่วมกับภาพถ่ายหรือวิดีโอเพื่อค้นหาวัตถุภายในองค์ประกอบของรูปภาพ เรียกว่า การมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) เพื่อตรวจจับหมวดหมู่ของวัตถุและตำแหน่งของวัตถุข้างต้นที่อยู่ในรูปหรือวิดีโอ เช่น มนุษย์ สัตว์ สิ่งของ รถยนต์ อาคาร เป็นต้น [4-6] โดยระบบตรวจจับวัตถุมีรูปแบบการทำงานใกล้เคียงกับการจัดหมวดหมู่ของวัตถุ (Object Classification) แต่แตกต่างกันที่การจัดหมวดหมู่ของวัตถุเป็นวิธีการบ่งบอกให้เห็นว่าวัตถุซึ่งเป็นองค์ประกอบในรูปภาพนั้นๆ อยู่ในหมวดหมู่อะไรเท่านั้นไม่สามารถบ่งบอกตำแหน่งของวัตถุภายในรูป โดยขั้นตอนสำหรับการสร้างแบบจำลองการประมวลผลรูปภาพสำหรับการคัดแยกขยะอาศัยการใช้งานระบบตรวจจับวัตถุเพื่อระบุวัตถุที่ปรากฏในวิดีโอหรือภาพนิ่ง ระบบตรวจจับวัตถุสามารถจำแนกวัตถุโดยอาศัยการสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกทำให้ระบบสามารถคาดเดาวัตถุที่ต้องการได้ และใช้ชุดข้อมูลทดสอบสำหรับประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องและแม่นยำของระบบตรวจจับวัตถุ ซึ่งกระบวนการเพื่อสร้างแบบจำลองมีรายละเอียดดังนี้

- การนำเข้าข้อมูล (Image acquisition) เป็นกระบวนการรับภาพถ่ายจากอุปกรณ์ถ่ายภาพเข้าสู่ส่วนประมวลผล
- การประมวลผลรูปภาพ (Image processing) คือกระบวนการจัดการและวิเคราะห์รูปภาพให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้มาซึ่งภาพใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่นำไปใช้งานทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เช่น การเพิ่มความคมชัด การบีบอัดข้อมูลภาพ เป็นต้น โดยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการนำเทคนิคการประมวลผลรูปภาพไปใช้ในงานหลากหลายด้าน เช่น ระบบ

นับจำนวนรถยนต์บนท้องถนน ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนระบบตรวจจับใบหน้า เป็นต้น

- การสกัดคุณลักษณะของข้อมูล (Feature extraction) เป็นการสกัดเอาข้อมูลคุณสมบัติสำคัญของภาพมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้ขั้นตอนวิธีการประมวลผลรูปภาพ (Image processing) ซึ่งลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ สี รูปร่าง และพื้นผิว

- การเลือกคุณลักษณะของข้อมูล (Feature selection) เป็นกระบวนการลดมิติของข้อมูลโดยการเลือกใช้คุณลักษณะเฉพาะที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกเท่านั้น ซึ่งจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรของระบบคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลขณะที่ ประสิทธิภาพความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกยังคงใกล้เคียงเดิม

- การแบ่งข้อมูล (Data separation) เป็นกระบวนการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกและชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ โดยชุดข้อมูลสำหรับฝึกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองในขั้นตอนการเรียนรู้ของแบบจำลอง และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้น

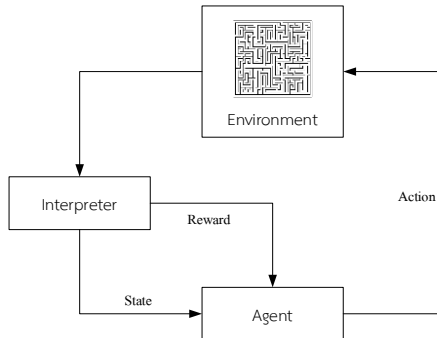
- การสร้างแบบจำลอง (Model establishment) ปัจจุบันอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นมีจำนวนมาก โดยจะแบ่งอัลกอริทึมออกเป็น 3 ประเภท [7] ได้แก่

- การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นรูปแบบการสร้างแบบจำลองโดย ชุดข้อมูลสำหรับฝึก (Training Data) มีการกำหนดประเภทหรือผลลัพธ์ (Label) ที่ถูกต้องไว้สำหรับสอนให้อัลกอริทึมรู้จักผลลัพธ์ที่มนุษย์ต้องการอย่างแน่ชัด

- การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) เป็นรูปแบบการสร้างแบบจำลองโดย ชุดข้อมูลสำหรับฝึก (Training Data) ไม่มีการกำหนดประเภทหรือผลลัพธ์ (Label) ดังนั้นอัลกอริทึมจะไม่รู้คำตอบที่แน่ชัด ดังนั้นอัลกอริทึมต้องประมวลผลเพื่อตรวจสอบโครงสร้างข้อมูลที่ไม่มีรู้จัก (Unknown Structure) เพื่อจำแนกประเภทจากข้อมูลคุณลักษณะที่มีเท่านั้น

- การเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning) เป็นวิธีการเรียนรู้ที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างผู้เรียนรู้ (agent) กับสิ่งแวดล้อม (environment) โดยหลักการทำงานของการเรียนรู้แบบเสริมแรง แสดงดังรูปที่ 5 คือการเรียนรู้ผู้เรียนรู้เกิดการเรียนรู้จากปฏิสัมพันธ์แบบลองผิดลองถูกระหว่างเรียนรู้กับสิ่งแวดล้อม โดยผู้เรียนรู้สามารถรับรู้สถานการณ์ของสิ่งแวดล้อม ผ่านสถานะ (State) และเลือกการกระทำ

(Action) ที่ส่งผลต่อ สิ่งแวดล้อม โดยหวังว่าจะได้ผลลัพธ์  
คะแนน (Reward) ที่ดีที่สุด รวมทั้งเรียนรู้ผ่านข้อผิดพลาดใน  
อดีตที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงหลักการทำงานการเรียนรู้แบบเสริมแรง

### 2.3 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองการประมวลผลรูปภาพ

การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง  
(Testing and Evaluation) เป็นการประเมินหาประสิทธิภาพ  
ความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้ชุดข้อมูล  
สำหรับทดสอบ ผลลัพธ์ที่ได้ใช้เพื่อสร้างตารางเมทริกซ์ความ  
สับสน (Confusion Matrix) [8] ซึ่งค่าในตารางประกอบด้วย  
4 รูปแบบ ดังนี้

- True Positive (TP) คือ สิ่งที่ทำนาย ตรงกับสิ่งที่  
เกิดขึ้นจริง ในกรณี ทำนายว่าจริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือจริง

- True Negative (TN) คือ สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่  
เกิดขึ้น ในกรณี ทำนายว่า ไม่จริง และสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ ไม่  
จริง

- False Positive (FP) คือ สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่  
เกิดขึ้น คือทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง

- False Negative (FN) คือ สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่  
เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

โดยค่าในตารางเมทริกซ์ความสับสนแสดงด้วยความถี่ที่  
TP, TN, FP, FN เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2

	เกิดขึ้นเป็นจริง (1)	เกิดขึ้นเป็นเท็จ (0)
ทำนายเป็นจริง (1)	True Positives (TPs)	False Positives (FPs)
ทำนายเป็นเท็จ (0)	False Negatives (FNs)	True Negatives (TNs)

รูปที่ 2 แสดงตารางเมทริกซ์ความสับสน

ค่าที่ได้จากตารางเมทริกซ์ความสับสนสามารถนำไปใช้  
เพื่อคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- ความถูกต้อง (Accuracy) เป็นการวัดความถูกต้อง  
ของแบบจำลองโดยพิจารณาจากผลรวมทุกผลลัพธ์ โดยคำนวณได้  
จากสมการที่ 1

$$\frac{TPs + TNs}{TPs + TNs + FPs + FNs} \quad (1)$$

- ความแม่นยำ (Precision) เป็นการวัดความแม่นยำ  
ของแบบจำลอง โดยพิจารณาแยกที่ผลลัพธ์ โดยคำนวณได้  
จากสมการที่ 2

$$\frac{TPs}{TPs + FPs} \quad (2)$$

- ความไว (Recall) เป็นการวัดความถูกต้องของ  
แบบจำลอง โดยพิจารณาแยกที่ผลลัพธ์ โดยคำนวณได้จาก  
สมการที่ 3

$$\frac{TPs}{TPs + FNs} \quad (3)$$

- ค่า F1-Score เป็นค่าเฉลี่ยแบบค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก  
(Harmonic average) ระหว่าง ความแม่นยำ และความไว  
เพื่อเป็นเมตริกซ์เชิงเดียวที่วัดความสามารถของแบบจำลอง  
โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

## 3 วิธีการทดลอง

### 3.1 การออกแบบวงจรควบคุมแบบจำลองสำหรับคัดแยก ประเภทขยะ

#### • ส่วนแหล่งจ่ายพลังงาน

○ วงจรเรียงกระแส (AC/DC converters) ใช้สำหรับ  
แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับส่งกำลัง  
ไฟเลี้ยงไปยังบอร์ดควบคุม โดยในงานวิจัยนี้ใช้บอร์ดวงจร  
Raspberry Pi Power Supply Adapter รองรับการส่งไฟฟ้า  
กระแสตรง ขนาดแรงดันไฟฟ้า 5V และกระแสไฟฟ้า 3A

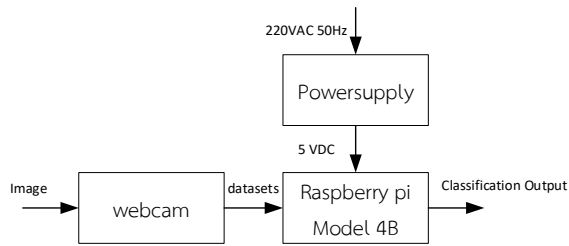
#### • ส่วนควบคุม

○ บอร์ดควบคุมระบบสมองกลฝังตัวรุ่น ราสเบอร์รี่พาย  
4 โมเดล B (Raspberry Pi 4 Model B) ใช้สำหรับประมวลผล  
ในการควบคุมการทำงานทั้งหมด ได้แก่ การรับค่าจากอุปกรณ์  
อินพุต การกำหนดเงื่อนไขควบคุม และการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

#### • ส่วนอินพุต

○ กล้อง (Webcam) ใช้สำหรับรับภาพถ่ายหรือวิดีโอ  
จากภายนอกเพื่อเป็นชุดข้อมูลส่งต่อไปยังส่วนควบคุมสำหรับ  
การคัดแยกประเภทขยะ

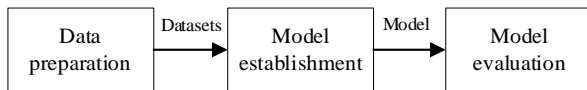
โดยภาพรวมการออกแบบวงจรควบคุมเพื่อพัฒนา  
แบบจำลองสำหรับคัดแยกประเภทขยะแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพรวมการเชื่อมต่อวงจรรควบคุมแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ

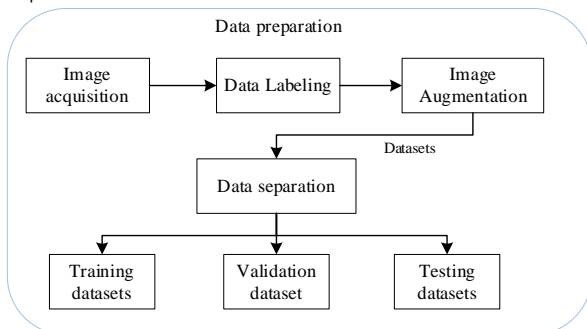
### 3.2 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ มีกระบวนการสำคัญ 3 ส่วนได้แก่ การเตรียมชุดข้อมูล (Data preparation) การสร้างแบบจำลอง (Model establishment) การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Evaluation) โดยกระบวนการทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4 ภาพรวมขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ

- การเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการจัดการข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อปรับเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล โดยกระบวนการเตรียมข้อมูลแสดงดังรูปที่ 5 มีขั้นตอน ได้แก่ การนำเข้าข้อมูลภาพถ่าย (Image acquisition) การกำหนดผลลัพธ์ (Data Labeling) การเพิ่มความหลากหลายของรูปภาพ (Image Augmentation) และการแบ่งข้อมูล (Data separation) ตามลำดับ



รูปที่ 5 ภาพรวมขั้นตอนการเตรียมข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ

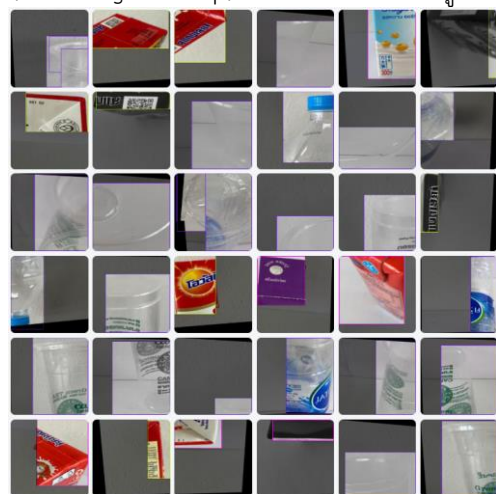
กระบวนการเตรียมข้อมูลทั้งหมดดำเนินการผ่านแพลตฟอร์มสำเร็จรูปซึ่งเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการพัฒนาระบบตรวจจำวัตถุ ซึ่งแพลตฟอร์มสามารถเลือกใช้ได้หลากหลายแพลตฟอร์ม ในงานวิจัยนี้ใช้แพลตฟอร์ม Roboflow ในกระบวนการเตรียมข้อมูลทั้งหมด โดยชุดข้อมูล

ภาพถ่ายซึ่งบันทึกจากกล้องเว็บแคม (Webcam) รุ่น OKER HD-629 ทั้งหมดจำนวน 1,600 รูป ประกอบด้วยรูปภาพขยะประเภทโลหะจำนวน 500 รูป รูปภาพขยะประเภทกระดาษจำนวน 450 รูป รูปภาพขยะพลาสติกจำนวน 550 รูป และรูปภาพพื้นหลัง จำนวน 100 รูป โดยชุดข้อมูลภาพถ่ายข้างต้นถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการกำหนดผลลัพธ์ (Data Labeling) เพื่อป้องกันประเภทของขยะสำหรับแต่ละภาพถ่าย ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดข้อมูลภาพถ่ายซึ่งผ่านขั้นตอนการกำหนดผลลัพธ์ (Data Labeling)

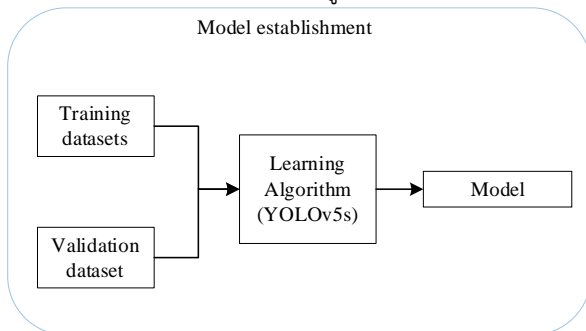
ทั้งนี้เพื่อให้การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการคัดแยกประเภทขยะมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการคัดแยกมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูลโดยนำชุดข้อมูลภาพถ่ายเข้าสู่ขั้นตอนการเพิ่มความหลากหลายของรูปภาพ (Image Augmentation) ได้แก่ การปรับทิศทางภาพถ่ายอัตโนมัติ (Auto-Orient) การแบ่งรูปภาพออกเป็นส่วนๆ (Tile) การปรับขนาดภาพทั้งหมดให้มีขนาด 416x416 pixels การปรับภาพขาวดำ (Grayscale) และการพลิกกรอบภาพ (Bounding Box: Flip) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดข้อมูลภาพถ่ายซึ่งผ่านขั้นตอนการเพิ่มความหลากหลายของรูปภาพ (Image Augmentation)

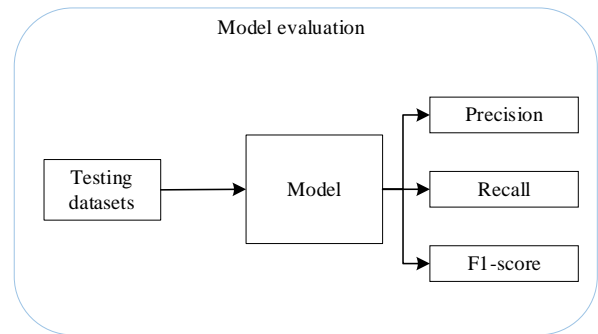
จากนั้นจึงนำเข้าสู่ขั้นตอนการแบ่งข้อมูล (Data separation) โดยชุดข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ชุดข้อมูลฝึก (Training datasets) สัดส่วนร้อยละ 70 ของข้อมูลทั้งหมด ชุดข้อมูลตรวจสอบ (Validation datasets) ร้อยละ 20 ของข้อมูลทั้งหมด และชุดข้อมูลทดสอบ ร้อยละ 10 ของข้อมูลทั้งหมด

- การสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการพัฒนาแบบจำลองโดยอาศัยชุดข้อมูลฝึกในการฝึกสอนอัลกอริทึม (Training model) โดยมีรูปแบบเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นรูปแบบการสร้างแบบจำลองโดยชุดข้อมูลสำหรับฝึก มีการกำหนดประเภทหรือผลลัพธ์ (Label) ที่ถูกต้องไว้สำหรับสอนให้อัลกอริทึมเรียนรู้ถึงรูปแบบของชุดข้อมูลต้นแบบเพื่อให้สามารถตรวจจบบรรยากาศที่คล้ายคลึงสำหรับการตัดแยกประเภทของวัตถุจากภาพถ่ายได้ โดยอัลกอริทึมในการพัฒนาแบบจำลองสามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึม YOLOv5s ซึ่งมีลักษณะเด่นในแง่ของความเร็วในการประมวลผลและสามารถประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลที่กำหนดเองได้ (Custom datasets) แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ภาพรวมขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสำหรับการตัดแยกประเภทขยะ

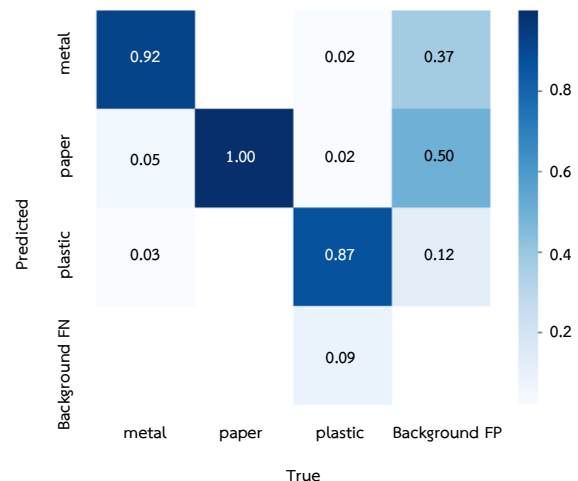
- การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองเป็นกระบวนการตรวจวัดผลลัพธ์ของแบบจำลอง โดยในงานวิจัยนี้มีการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองแบบออฟไลน์ (Off-line Algorithm) โดยใช้ตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ซึ่งได้จากการนำเข้าสู่ชุดข้อมูลทดสอบไปยังแบบจำลองสำหรับการตัดแยกขยะเพื่อนำผลลัพธ์ประเภทขยะจากการตัดแยกใช้คำนวณค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพในแง่ต่างๆ ได้แก่ ความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) ความไว (Recall) ค่า F1-Score แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพรวมขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการตัดแยกประเภทขยะ

#### 4 ผลการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการตัดแยกประเภทขยะแบบออฟไลน์ใช้วิธีการคำนวณค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) ความไว (Recall) ค่าF1-Scoreจากตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ซึ่งได้จากการนำเข้าสู่ชุดข้อมูลทดสอบเข้าสู่แบบจำลองสำหรับการตัดแยกขยะแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตารางเมทริกซ์ความสับสนการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการตัดแยกประเภทขยะ

ตารางเมทริกซ์ความสับสนระบุค่าร้อยละความถี่ของประเภทขยะที่ทำนายเทียบกับประเภทของขยะจริงในแต่ละภาพถ่าย ซึ่งสามารถนำค่าร้อยละความถี่ข้างต้นใช้ในการคำนวณเพื่อแบ่งประเภทของความถี่ออกเป็น 4 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1 ได้แก่ True Positive (TP) ความถี่ของประเภทขยะที่ทำนายได้ถูกต้องตามประเภทที่ของขยะนั้น True Negative (TN) ความถี่ของประเภทขยะที่ทำนายได้ถูกต้องนอกเหนือจากประเภทของขยะนั้น False Positive (FP) ความถี่ของประเภทขยะที่ทำนายได้ไม่ถูกต้อง นอกเหนือจากประเภทของขยะนั้น False Negative (FN) ความถี่ของประเภทขยะที่ทำนายได้ไม่ถูกต้องจากประเภทของขยะนั้น

## DRC-0005

ตารางที่ 1 แสดงค่า True Positive(TP), True Negative(TN), False Positive(FP), False Negative(FN)

	metal	paper	plastic
TP	0.92	1	0.87
TN	1.89	1.82	1.97
FP	0.02	0.07	0.03
FN	0.08	0	0.04

จากตารางที่ 1 นำผลลัพธ์แสดงสัดส่วนความถูกต้องในการคัดแยกขยะจากแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะแต่ละประเภท ได้แก่ True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), และ False Negative (FN) คำนวณหาค่าที่เกี่ยวข้องสำหรับการบ่งบอกประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับการคัดแยกขยะ ได้แก่ ความแม่นยำ (Precision) ความไว (Recall) และค่า F1-Score ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแม่นยำ (Precision) ความไว (Recall) และค่า F1-Score

Class	Precision	Recall	F1-score
metal	0.9787	0.92	0.9484
paper	0.9346	1	0.9662
plastic	0.9667	0.9560	0.9613
Macro F1			0.9586

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะแบบออฟไลน์ด้วยวิธีตารางเมทริกซ์ความสับสน (Confusion matrix) มีค่า F1-score ของแบบจำลองในการคัดแยกขยะประเภทโลหะมีค่าเท่ากับ 0.9901 ค่า F1-score ของแบบจำลองในการคัดแยกขยะประเภทกระดาษมีค่าเท่ากับ 0.9901 และค่า F1-score ของแบบจำลองในการคัดแยกขยะประเภทพลาสติก มีค่าเท่ากับ 0.97826 ดังนั้นสามารถนำค่า F1-score ข้างต้นเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ย Macro F1 เท่ากับ 0.98615 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพความแม่นยำในการคัดแยกประเภทขยะของแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะ

### 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการตรวจจับวัตถุ (Object detection) สำหรับการคัดแยกขยะ 3 ประเภท ได้แก่ กระดาษ พลาสติก และโลหะโดยการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคัดแยกขยะด้วยอัลกอริทึม YOLOv5 โดยใช้ชุดข้อมูลตัวอย่างซึ่งบันทึกภาพจากขยะและสภาพแวดล้อม ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

จำนวน 1600 รูปภาพ สำหรับการสร้างและทดสอบแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น รูปภาพขยะประเภทโลหะจำนวน 500 รูป รูปภาพขยะประเภทกระดาษจำนวน 450 รูป รูปภาพขยะประเภทพลาสติกจำนวน 550 รูป และรูปภาพพื้นหลังหรือสิ่งแวดล้อมจำนวน 100 รูป จากผลการทดลองประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองสำหรับการคัดแยกประเภทขยะแบบออฟไลน์ด้วยวิธีการเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) พบว่าค่าเฉลี่ย F1-score ซึ่งบ่งบอกถึงค่าเฉลี่ยแบบ harmonic mean ระหว่าง precision และ recall ในการคัดแยกขยะ 3 ประเภท มีค่า 0.9586 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองการประมวลผลรูปภาพสำหรับการคัดแยกประเภทขยะที่พัฒนาขึ้น มีความถูกต้อง และแม่นยำมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

### 6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการคัดแยกประเภทขยะโดยใช้อัลกอริทึม YOLOv5 เกิดขึ้นจากการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

### 7 เอกสารอ้างอิง

- [1]. พรณี เลาเวเกียรติ. (2562). การพัฒนาการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะมูลฝอยภายในหอพักนักศึกษา วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดขอนแก่น. วารสารทันตภิบาล, 30(1). สืบค้นจาก <https://he02.tcithaijo.org/index.php/TDNJ/article/download/182591/129181/>
- [2]. กาญจนา โทหา. (2563). การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพสวนพยอมสาขาโรงพยาบาลร้อยเอ็ด. วารสารสภาการสาธารณสุขชุมชน, 2(1). สืบค้นจาก <https://he01.tcithaijo.org/index.php/JCCPH/article/view/240192>
- [3]. กรมควบคุมมลพิษ. (2563). โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2564 , จาก <https://thaimsw.pcd.go.th/provincdetail.php?id=90>
- [4]. Ren, J. and Wang, Y. (2022) Overview of Object Detection Algorithms Using Convolutional Neural Networks. Journal of Computer and Communications. 10. 115-132.

- [5]. Cyganek, Boguslaw. (2013). Object Detection and Recognition in Digital Images: Theory and Practice. 10.1002/9781118618387.
- [6]. Sunli, Gagandeep. (2019). Study of Object Detection Methods and Applications on Digital Images. 4(5). 491-497.
- [7]. Milhem, Wajdi & Abushamsieh, Khalil & Aróstegui, Maria. (2014). Training strategies, theories and types. Journal of Accounting, Business & Management. 21. 12-26.
- [8]. Visa, Sofia & Ramsay, Brian & Ralescu, Anca & Knaap, Esther. (2011). Confusion Matrix-based Feature Selection. CEUR Workshop Proceedings. 710. 120-127.