

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ The Development of Web Application for Waste Separation with Artificial Intelligence Technology

วดีนาถ วรณสวัสดิ์กุล
Wadeenat Wannasawaskul

สาขาวิชาวิศวกรรมสื่อสารและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Communication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการให้ข้อมูลคัดแยกขยะซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน โดยได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ มาใช้วิเคราะห์ภาพขยะเพื่อให้ได้ประเภทขยะที่ถูกต้อง และจะแสดงผลที่หน้าจออุปกรณ์ โครงการวิจัยนี้ได้นำ Teachable Machine มาใช้เป็นแบบจำลองของปัญญาประดิษฐ์ของขยะจำนวน 4 ประเภท โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 12 คลาส โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ได้มีความถูกต้องร้อยละ 85.33 จากนั้นใช้เอชทีเอ็มแอล ร่วมกับจาวาสคริปต์ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน เว็บไซต์ที่พัฒนาสามารถใช้งานแสดงประเภทขยะได้อย่างถูกต้องร้อยละ 84.67

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์ เว็บแอปพลิเคชัน การแยกขยะ

Abstract

This research project involves creating a web application for waste segregation information, which can be used on both computers and smartphones. It utilizes artificial intelligence technology to analyze waste images and provide accurate waste categorization. The results will be displayed on the device's screen. The research project utilizes Teachable Machine as a model for artificial intelligence in classifying 4 type of waste, with data divided into 12 classes. The accuracy of the AI model is 85.33%. HTML and JavaScript are used to develop the web application. The developed website can accurately display waste categorization with 84.67% accuracy.

Keywords: Artificial Intelligence, Web Application, Waste Separation

* Corresponding author : wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th

1. บทนำ

ปัญหาของขยะที่เกิดจากการอุปโภค บริโภค หรือกิจกรรมที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ เช่น พื้นที่ชุมชน ตลาด ร้านค้าและโรงงาน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สาเหตุหนึ่งเกิดจากการจัดการขยะที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดให้เกิดมลพิษ ปริมาณขยะกว่าครึ่งยังถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี ประเด็นสำคัญของปัญหานี้คือการแยกขยะที่ไม่ถูกต้อง

การจัดการขยะเป็นปัญหาหลักของชุมชน หน่วยงานภาครัฐมีการจัดโครงการต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางที่ดีในการจัดการขยะ ซึ่งมีการร่วมมือกันของฝ่ายบริหารและฝ่ายวิชาการ โดยมีงานวิจัยด้านการจัดการขยะในองค์การบริหารส่วนตำบล เช่น การพัฒนาระบบคัดแยกมูลฝอยในชุมชนแบบมีส่วนร่วมเขตเทศบาล ตำบลเมืองสรวง อำเภอเมืองสรวง จังหวัดร้อยเอ็ด (อารีย์, 2560) การบริหารจัดการด้านการจัดเก็บขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล ขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองแขน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา (สุพรรณษา, 2561) แนวทางการจัดการขยะชุมชนแบบมีส่วนร่วมของประชาชน: กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลตาโกน อำเภอเมืองจันทร์ จังหวัดศรีสะเกษ (ประเสริฐ, 2561) การจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลโนนผึ้ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี (สุวิทย์, 2563) และบทบาทขององค์การบริหารส่วนตำบลต่อการบริหารจัดการขยะชุมชนสู่ความสำเร็จอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลคูเมือง อำเภอหนองบัวแดง จังหวัดชัยภูมิ (สมศักดิ์, 2563) ซึ่งทั้งหมดจะเป็นการวิจัยถึงการจัดการขยะแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน เพื่อหาแนวทางปฏิบัติที่ดีให้เหมาะสมกับบริบทของชุมชน ในส่วนของงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีมาช่วยในการบริหารจัดการขยะ เช่น งานวิจัยของชุดิธารัฐ อุดมะสิริเสณี และคณะ (ชุดิธารัฐ, 2564) ได้พัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ ระบบจะติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อเล่นเสียงแนะนำการทิ้งขยะและระบบเก็บข้อมูลปริมาณและช่วงเวลาในการทิ้งขยะ การจัดเก็บข้อมูลจะแยกเป็นประเภทของขยะ ทั้ง 4 ประเภทตามชนิดของถัง ซึ่งระบบที่จัดเก็บข้อมูลจะเป็นการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นสถิติการทิ้งขยะแยกตามประเภทของถังขยะ และช่วงเวลาในการทิ้งในแต่ละวัน แสดงผลแบบ Dashboard ผ่าน Cloud Server สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบ Real Time ทุกที่ทุกเวลา ทุกอุปกรณ์ ส่วนของธนโชติ ภาชนะนัย และคณะ (ธนโชติ, 2565) พัฒนาเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์โมเดล YOLOv5 ที่ผ่านการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลภาพ 1,321 ภาพ 250 รอบ ระบบประกอบด้วยกล้อง IMILAB Webcam รับภาพวัตถุแบบเรียลไทม์เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi4 Model B โดยเชื่อมต่อกับ Module L298N ในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ไปยังถังขยะเอาต์พุตและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในการเทขยะลงถังขยะแต่ละประเภท งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกขยะด้วยภาพถ่ายโดยใช้โมเดล YOLO มีนำเสนอในบทความของ G. Yang (G. Yang, 2021) โดยมีการนำ YOLOv5 มาปรับปรุง ส่วนบทความของ G. Yu (G. Yu, 2023) ได้นำเสนอการคัดแยกขยะด้วยภาพถ่ายผ่านโมเดล YOLOv7 มาปรับปรุงร่วมกับเครือข่าย HorNet นอกจากนี้ งานวิจัยของ D. Zhaojie (D. Zhaojie, 2020) มีการนำเสนอการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งในการคัดแยกขยะ โดยมีเป้าหมายเพื่อเสริมสร้างความตระหนักของคนต่อการปกป้องสิ่งแวดล้อม

เผยแพร่ความรู้ให้คนรู้จักการจัดการจัดหมวดหมู่ขยะ ซึ่งเช่นเดียวกับ X. Yi (X. Yi, 2022) ที่มีการประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งผ่านทางเครือข่าย MobileNet V2 และระบบคลาวด์

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะ โดยจะพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งานทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และไอโอเอส ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำไปทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพในพื้นที่ชุมชนที่มีโครงการบริหารจัดการขยะของภาครัฐ เพื่อใช้ในการให้ความรู้แก่ชุมชนในเขตพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงานท้องถิ่น

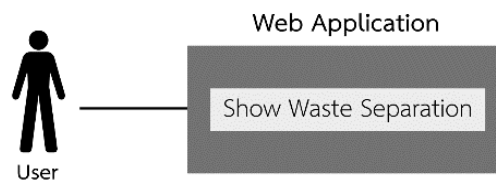
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ในการแยกประเภทขยะ
- 2.2 เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถแยกประเภทขยะได้ 4 ประเภท คือ
 1. ขยะอินทรีย์ ขยะเปียก
 2. ขยะทั่วไป
 3. ขยะรีไซเคิล
 4. ขยะอันตราย ติดเชื้อ
- 2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

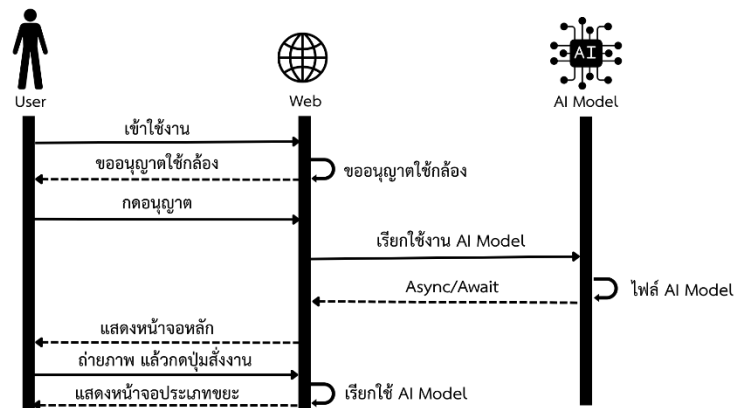
3.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ระบบที่พัฒนาจะถูกออกแบบตามหลักการของยูเอ็มแอล (Unified Modeling Language : UML) เพื่อแสดงให้เห็นผู้พัฒนาและผู้ใช้ระบบได้เห็น รายละเอียดของงานทั้งหมดในรูปแบบแผนภาพไดอะแกรม จากนั้นจะเป็นการออกแบบหน้าจอสำหรับผู้ใช้งานและแผนภาพยูสเคสของระบบแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคสการทำงานของผู้ใช้งาน

ยูสเคสแยกประเภทขยะ เป็นยูสเคสผู้ใช้งาน มีการทำงานที่เรียบง่ายเพียงกดปุ่ม แอปพลิเคชันจะทำการแยกประเภทขยะให้ และแสดงคำแนะนำในการกำจัดขยะที่ถูกต้อง โดยยูสเคสในภาพที่ 1 สามารถแสดงแผนภาพ ซีควেনซ์ แยกขยะ ผู้ใช้งานกดปุ่มแยกขยะ แล้วแอปพลิเคชันจะโหลดไฟล์โมเดลปัญญาประดิษฐ์เพื่อนำมาพิจารณาประเภทขยะจากภาพถ่ายแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพซีควเอนซ์ของยูสเคส แยกประเภทยยะ

จากภาพที่ 2 แสดงลำดับการทำงานของยูสเคส แยกประเภทยยะ โดยมีส่วนงานที่ทำงานสัมพันธ์กัน คือ User, Web และ AI Model การทำงานจะเริ่มจาก User เรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชันแล้วจะขออนุญาตใช้กล้องผ่านกล่องข้อความโต้ตอบกับผู้ใช้งาน เมื่อทำการอนุญาตแล้วเว็บแอปพลิเคชันจะเรียกใช้งาน AI Model ที่ผ่านการฝึกแยกประเภทยยะ พร้อมกับเปิดใช้งานกล้องและแสดงปุ่มส่งงาน เมื่อ User นำกล้องไปถ่ายภาพยะ และกดปุ่มส่งงานแล้ว เว็บแอปพลิเคชันจะเรียกใช้ AI Model เพื่อจำแนกประเภทยยะ แล้วส่งผลลัพธ์กลับมายังหน้าจอ

3.2 การออกแบบหน้าจอ

การออกแบบหน้าจอเพื่อรับและแสดงผล ให้ผู้ใช้งานสามารถทำการใช้งานระบบงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยมีการออกแบบดังนี้

หน้าจอเริ่มต้นแอปพลิเคชัน จะเป็นหน้าจอหลัก มีการออกแบบที่เรียบง่าย โดยมีส่วนประกอบเพียงสองอย่าง คือ ส่วนแสดงรูปภาพ และส่วนปุ่มกดการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก) ในการแสดงรูปภาพจะเป็นส่วนที่แอปพลิเคชันดำเนินการเอง โดยใช้กล้องจากสมาร์ทโฟน ให้ผู้ใช้งานนำไปถ่ายภาพยะที่ต้องการแยกประเภท เมื่อได้ภาพตามต้องการแล้วจะทำการส่งงานแอปพลิเคชันโดยการกดปุ่ม เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มคำสั่งแล้ว หน้าจอจะเปลี่ยนไป โดยจะหยุดการถ่ายภาพจากวิดีโอ จะได้เป็นภาพนิ่ง พร้อมกับมีคำบรรยายประเภทของยะ และคำแนะนำการกำจัดขยะ ดังแสดงในภาพที่ 3 (ข)



(ก) หน้าจอเริ่มต้นแอปพลิเคชัน

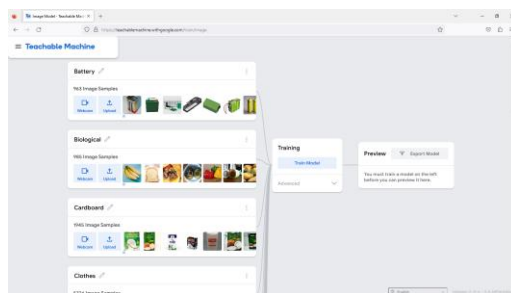


(ข) หน้าจอแสดงผลการแยกขยะ

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบหน้าจอแอปพลิเคชัน

3.3 การฝึกปัญญาประดิษฐ์

ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ จะใช้ Teachable Machine ของ Google ในการฝึกจำแนกขยะ โดย Teachable Machine สามารถสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถนำมาใช้บนเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา JavaScript ได้ การพัฒนาจะเริ่มจากการสร้างคลาส (Class) ของขยะแต่ละชนิด แล้วใช้โมเดลทางปัญญาประดิษฐ์ฝึก (train) ให้มีการแยกประเภทขยะตามคลาสที่สร้างขึ้นได้ Teachable Machine มีหน้าต่างการใช้งานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เว็บแอปพลิเคชัน Teachable Machine

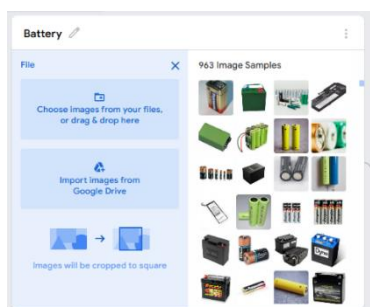
คลาสต่างๆ จะมีรายละเอียดแตกต่างกัน เช่น คลาสแบตเตอรี่ จะเป็นการรวบรวมภาพขยะที่เกี่ยวข้องกับถ่านไฟฟ้า แบตเตอรี่ก้อน ภาพขยะที่ใกล้เคียงกันจะถูกนำมาเป็นชุดภาพสำหรับฝึกปัญญาประดิษฐ์ เรียกว่า training set และจะแยกภาพอีกชุดไว้สำหรับทดสอบความถูกต้องของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เรียกว่า test set ชุดข้อมูลที่ใช้นำมาจากรฐานข้อมูล Kaggle.com ในหมวด Garbage Classification (Mostafa, 2021) โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน (training set และ test set) แบบสุ่มตัวอย่างข้อมูลจากรฐานข้อมูล ในการพัฒนาแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะจะสร้างคลาสทั้งหมด 12 คลาส รายละเอียดของแต่ละคลาสแสดงได้ในตารางที่ 1 โดยแต่ละคลาสมี training set ดังแสดงภาพที่ 5

ตารางที่ 1 ข้อมูลคลาสที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์

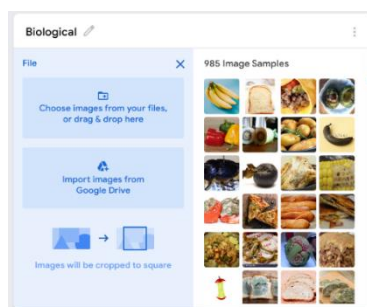
ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพฝึก	ประเภทขยะ
1	Battery	ถ่านไฟฟ้าแบบก้อน แบตเตอรี่	963	ขยะอันตราย
2	Biological	ขยะชีวภาพ เศษอาหาร	985	ขยะอินทรีย์
3	Cardboard	กระดาษแข็ง กระดาษลัง กล่องบรรจุภัณฑ์	1945	ขยะทั่วไป
4	Clothes	เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม	5326	ขยะทั่วไป
5	Glass	แก้วน้ำ ขวดแก้ว	3737	ขยะรีไซเคิล
6	Metal	โลหะ กระป๋องเครื่องดื่ม	2009	ขยะรีไซเคิล
7	Paper	กระดาษ กระดาษสี	2099	ขยะทั่วไป

ตารางที่ 1 ข้อมูลคลาสที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์ (ต่อ)

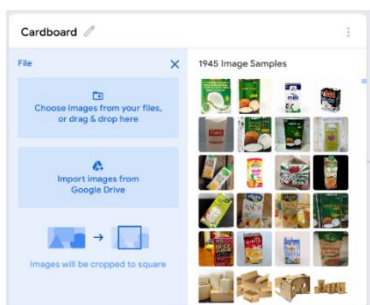
ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพฝึก	ประเภทขยะ
8	Plastic	พลาสติก ขวดน้ำพลาสติก	2332	ขยะรีไซเคิล
9	Shoes	รองเท้า	1977	ขยะทั่วไป
10	Diaper	ผ้าอนามัย	93	ขยะอันตราย
11	Mask	หน้ากากอนามัย	319	ขยะอันตราย
12	Toothbrush	แปรงสีฟัน	285	ขยะทั่วไป



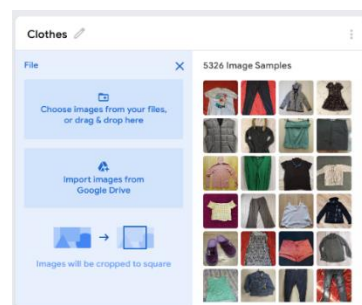
(ก) Battery



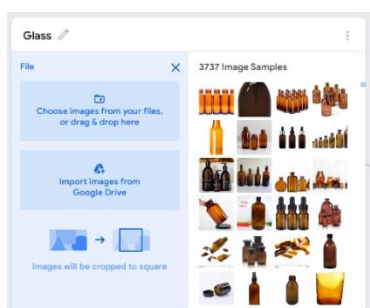
(ข) Biological



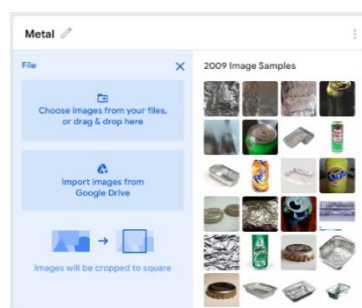
(ค) Cardboard



(ง) Clothes

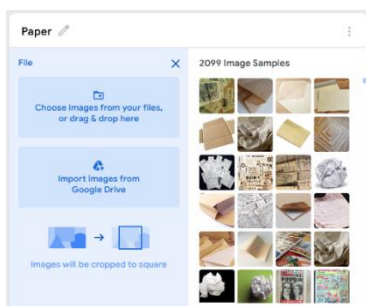


(จ) Glass

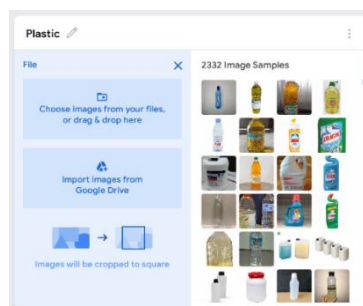


(ฉ) Metal

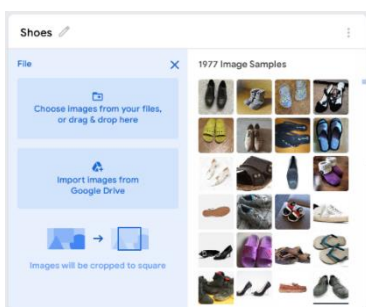
ภาพที่ 5 ชุดคลาสต่าง ๆ ที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์



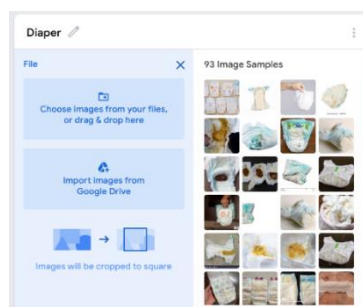
(ช) Paper



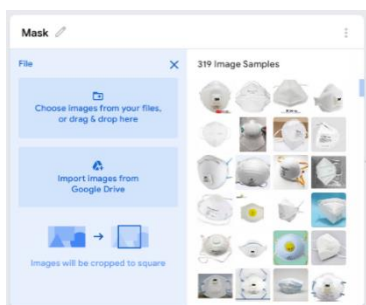
(ซ) Plastic



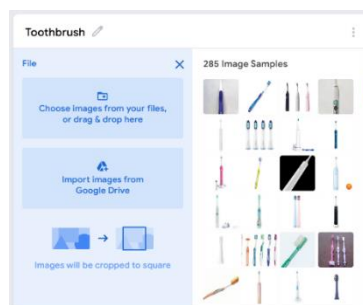
(ฅ) Shoes



(ญ) Diaper



(ฎ) Mask



(ฏ) Toothbrush

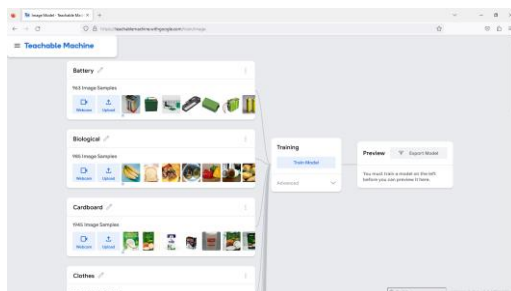
ภาพที่ 5 ชุดคลาสต่าง ๆ ที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์ (ต่อ)

เมื่อกำหนดคลาสได้ครบตามต้องการแล้ว จะทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์ด้วยโมเดลของ Teachable Machine โดยกดปุ่ม Train Model ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก) หลังจากนั้นรอจนกว่าระบบจะทำการฝึกโมเดลเสร็จสมบูรณ์ โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

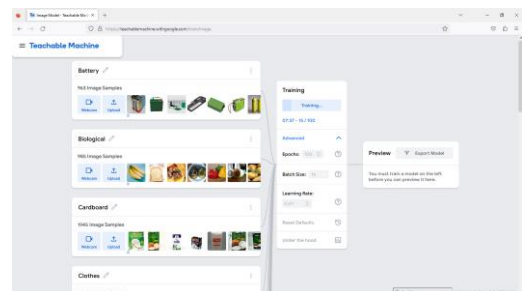
Epochs	100
Batch Size	16
Learning Rate	0.01

ระบบจะทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์จนกว่าจะได้ค่าตามที่กำหนดไว้ดังแสดงในภาพที่ 6 (ข) ระบบจะใช้เวลาน้อยตามจำนวนภาพในแต่ละคลาส ถ้าภาพที่ต้องการใช้ฝึกมีมากจะทำให้ใช้เวลาฝึกมากขึ้นตามไปด้วย และถ้ากำหนดค่า Learning Rate น้อยจะเป็นการตั้งค่าแบบละเอียด จะทำให้ใช้เวลาฝึกมากขึ้นไปอีกด้วย

เมื่อการฝึกโมเดลเสร็จเรียบร้อยแล้วดังแสดงในภาพที่ 7 หน้าเว็บจะปรากฏส่วน Preview เพื่อทำการ Export Model นำโมเดลไปใช้งาน หรือทำการทดสอบความถูกต้องของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ในการทดสอบสามารถทำได้สองวิธี คือ ใช้กล้อง หรืออัปโหลดภาพ ซึ่งในการเตรียมข้อมูลรูปภาพได้จัดภาพสำหรับทดสอบ (test set) คลาสละ 50 ภาพ ตัวอย่างการทดสอบแสดงได้ดังภาพที่ 8 และผลการทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์ด้วย test set แต่ละคลาสแสดงได้ดังตารางที่ 2

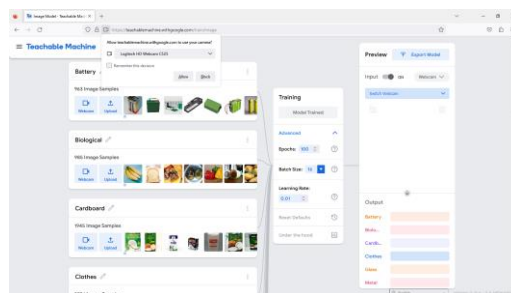


(ก) การสร้างชุดฝึกปัญญาประดิษฐ์

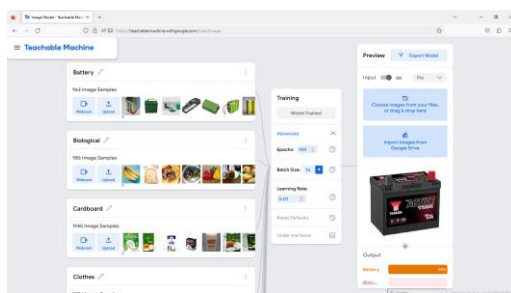


(ข) การฝึกปัญญาประดิษฐ์

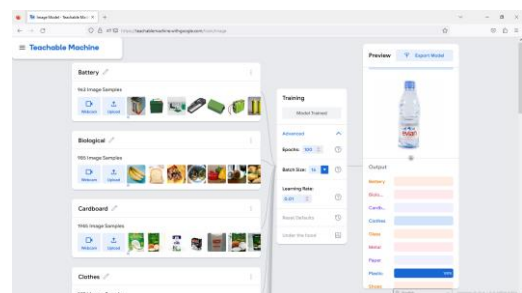
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์



ภาพที่ 7 โมเดลปัญญาประดิษฐ์

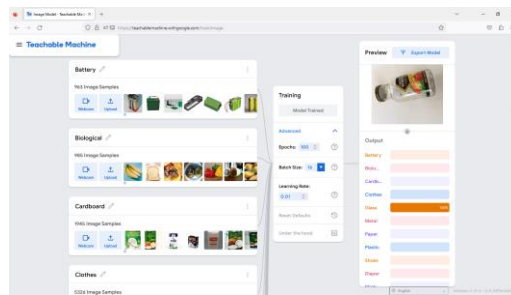


(ก) การทดสอบขยะกลุ่มแบตเตอรี่ (Battery)



(ข) การทดสอบขยะกลุ่มพลาสติก (Plastic)

ภาพที่ 8 การทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์



(ค) การทดสอบขยะกลุ่มแก้ว (Glass)

ภาพที่ 8 การทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์ (ต่อ)

ตารางที่ 2 ผลทดสอบโมเดลปัญญาประดิษฐ์

ลำดับที่	ชื่อคลาส	ความถูกต้อง (ร้อยละ)
1	Battery	92.00
2	Biological	90.00
3	Cardboard	88.00
4	Clothes	84.00
5	Glass	80.00
6	Metal	86.00
7	Paper	88.00
8	Plastic	82.00
9	Shoes	82.00
10	Diaper	80.00
11	Mask	84.00
12	Toothbrush	88.00
เฉลี่ย		85.33

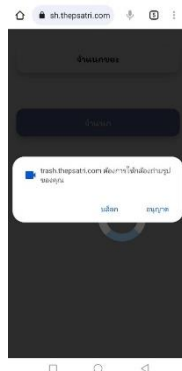
จากตารางที่ 2 พบว่า กลุ่ม Battery มีความถูกต้องสูงสุด เนื่องจากรูปร่างของแบตเตอรี่มักจะมีลักษณะที่คล้ายกัน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดที่น้อย ในขณะที่กลุ่ม Glass และ Diaper มีความถูกต้องน้อยที่สุด เนื่องจากรูปร่างของทั้ง 2 กลุ่มนี้ มีความแตกต่างกันมาก จึงเกิดความผิดพลาดสูงไปด้วย

4. ผลการวิจัย

แอปพลิเคชันแยกประเภทขยะพัฒนาด้วย HTML และ JavaScript ทำให้เรียกใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ โดยไม่ต้องติดตั้งแอปพลิเคชันเพิ่มเติม มีผลการทดลองดังนี้

4.1 การทดสอบกล้อง

เว็บแอปพลิเคชันถูกสร้างขึ้นที่ <https://trash.thepsatri.com> ซึ่งจำเป็นต้องใช้โปรโตคอล https เนื่องจากต้องการ permission ในการใช้กล้องจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เมื่อเข้าสู่เว็บแอปพลิเคชันจะทำการขออนุญาตใช้กล้องจากผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นกล่องข้อความโต้ตอบจากเว็บเบราว์เซอร์ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การขออนุญาตใช้กล้องของอุปกรณ์

ภาพที่ 9 แสดงให้เห็นกล่องโต้ตอบการขออนุญาตใช้กล้อง “trash.thepsatri.com ต้องการใช้กล้องถ่ายรูป” ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ 2 เส้นทางคือ “บล็อก” ถ้าไม่ต้องการให้เข้าใช้กล้อง จะทำให้ไม่สามารถใช้เว็บแอปพลิเคชันได้ และ “อนุญาต” จะเป็นการอนุญาตให้ใช้กล้องได้ จะทำให้สามารถใช้เว็บแอปพลิเคชันต่อไปในขั้นตอนอื่นได้

4.2 การทดสอบเชื่อมต่อโมเดลปัญญาประดิษฐ์

เมื่อทำการขออนุญาตใช้กล้องได้แล้ว เว็บแอปพลิเคชันจะทำการเชื่อมต่อโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เพื่อใช้แยกประเภทขยะ โดยจะทำการเรียกใช้แบบลำดับขั้นก่อนหลัง จึงทำให้ใช้การเขียน JavaScript เป็นแบบ async / await ดังแสดงในภาพที่ 10

```
async function loop() {
    webcam.update(); // update the webcam frame
    await predict();
    window.requestAnimationFrame(loop);
}

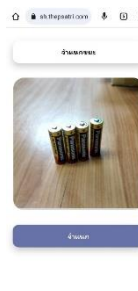
// run the webcam image through the image model
async function predict() {
    // predict can take in an image, video or canvas html element
    const prediction = await model.predict(webcam.canvas);
    for (let i = 0; i < maxPredictions; i++) {
        const classPrediction =
            prediction[i].className + ": " + prediction[i].probability.toFixed(2);
        labelContainer.childNodes[i].innerHTML = classPrediction;
    }
}
```

ภาพที่ 10 การเรียกใช้ async / await

จากภาพที่ 10 จะเป็นการสร้างฟังก์ชันแบบ async และเรียกใช้ฟังก์ชันแบบ await ซึ่งจะเป็นการเรียกใช้ฟังก์ชันตามลำดับก่อนหลัง เมื่อทำฟังก์ชันที่เรียกเสร็จแล้วจึงจะทำฟังก์ชันถัดไป ดังนั้นเมื่อเรียกใช้ไฟล์โมเดลปัญญาประดิษฐ์จึงต้องดึงไฟล์ให้เรียบร้อยก่อน แล้วทำงานลำดับถัดไป การใช้งานจะมีการแสดงหน้าจอให้ผู้ใช้งานรอ ดังแสดงในภาพที่ 11



(ก) หน้าจอรอไฟล์โมเดล



(ข) หน้าจอเรียกใช้งานกล้อง

ภาพที่ 11 หน้าจอการรอเรียกไฟล์โมเดลปัญญาประดิษฐ์

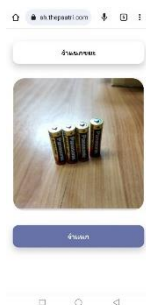
จากภาพที่ 11 (ก) แสดงหน้าจอรอไฟล์โมเดล หลังจากทำการอนุญาตใช้กล้องจะเข้าสู่ขั้นตอนการเรียกใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ หน้าจอจะแสดงภาพเคลื่อนไหวจนกว่าจะทำการโหลดไฟล์โมเดลได้ครบ เมื่อโหลดไฟล์โมเดลเสร็จแล้ว หน้าจอจะแสดงภาพจากกล้อง ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข)

4.3 การทดสอบแยกประเภทขยะ

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบแยกประเภทขยะทั้ง 4 ประเภทซึ่งขยะที่เตรียมไว้ทดสอบมีทั้งหมด 150 ชิ้น จากทุกคลาส ด้วยสมาร์ตโฟน Huawei P30 Pro ระบบปฏิบัติการ Android 10 และเว็บเบราว์เซอร์ Chrome เวอร์ชัน 110.0.5481.65 ดังแสดงในตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ตโฟนรุ่นต่าง ๆ ผลการทดสอบแสดงได้ดังภาพที่ 12

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะ

สมาร์ตโฟน	ระบบปฏิบัติการ	เว็บเบราว์เซอร์	ผลการทดสอบ
RedMi Note9	Android 11	Chrome110.0.5481.154	สามารถเรียกใช้งานได้
Huawei P30 Pro	Android 10	Chrome110.0.5481.65	สามารถเรียกใช้งานได้
Huawei P30 Pro	Android 10	Huawei Browser 13.0.0.312	สามารถเรียกใช้งานได้
RedMi Note9	Android1 1	Edge 110.0.1587.54	สามารถเรียกใช้งานได้



(ก) หน้าจอถ่ายภาพ



(ข) ผลลัพธ์การจำแนกขยะ

ภาพที่ 12 การทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 12 เมื่อโหลดโมเดลปัญญาประดิษฐ์เรียบร้อยแล้ว กล้องของสมาร์ทโฟนจะทำการถ่ายภาพขยะ ภาพที่ 12 (ก) เป็นการทดสอบถ่านขนาด AA จำนวน 4 ก้อน เมื่อต้องการแยกประเภทขยะ ผู้ใช้งานจะต้องทำการกดปุ่ม “จำแนก” แล้วเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงประเภทขยะ และวิธีการกำจัด แสดงได้ดังภาพที่ 12 (ข) ถ่านขนาด AA จำนวน 4 ก้อน จัดเป็นขยะประเภท “ขยะอันตราย คัดแยกให้โรงงานกำจัดอย่างถูกวิธี” นอกจากนี้ ภาพที่ 13 แสดงขยะอื่นๆ ที่ทำการทดสอบ



(ก) หน้าจอถ่ายภาพ



(ข) ผลลัพธ์การจำแนกขยะเป็น ประเภทขยะรีไซเคิล



(ค) หน้าจอถ่ายภาพ



(ง) ผลลัพธ์การจำแนกขยะเป็น ประเภทขยะอันตราย

ภาพที่ 13 การทดสอบแยกประเภทขยะ

เมื่อทำการทดสอบขยะทั้ง 150 ชิ้น พบว่าสามารถแยกประเภทขยะได้อย่างถูกต้อง 127 ชิ้น ดังนั้นเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะจึงมีความถูกต้องร้อยละ 84.67 โดยประเภทขยะรีไซเคิลมีความถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือประเภทขยะทั่วไป ส่วนประเภทขยะอันตรายมีความผิดพลาดมากที่สุด เช่น ถ่านไฟฟ้า ถูกจัดเป็นประเภทขยะรีไซเคิล (แอปพลิเคชันแสดงผลเป็นขวดพลาสติกซึ่งมีรูปทรงคล้ายกัน) หน้ากากอนามัย ถูกจัดเป็นประเภทขยะรีไซเคิล (แอปพลิเคชันแสดงผลเป็นกระดาษซึ่งมีรูปทรงคล้ายกัน) และประเภทขยะอินทรีย์ไม่สามารถแยกประเภทได้ เนื่องจากตัวอย่างขยะที่นำมาทดสอบไม่มีในโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากขอบเขตของขยะประเภทนี้กว้างมาก จึงไม่สามารถนำตัวอย่างมาฝึกปัญญาประดิษฐ์ได้ครอบคลุม

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะ โดยผู้ทดสอบเป็นประชาชนใน อบจ.บางกระปือ ต.บางกระปือ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี จำนวน 20 คน ผู้วิจัยได้จัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้งานแสดงดังภาพที่ 14 และเก็บผลทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานแสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 14 การลงพื้นที่เก็บผลการทดสอบ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันแยกประเภทขยะจากผู้ใช้งาน

ลำดับ	ประเด็นที่ประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
1	เว็บแอปพลิเคชันเข้าถึงได้สะดวก	4.70	0.47	มากที่สุด
2	ขั้นตอนการใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน	4.45	0.51	มาก
3	ความถูกต้องของการจำแนกขยะ	4.30	0.47	มาก
4	ข้อเสนอแนะในการกำจัดขยะ	4.30	0.57	มาก
5	สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.50	0.51	มากที่สุด
เฉลี่ย		4.45	0.51	มาก

จากตารางที่ 4 ผลประเมินโดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.70$, S.D. = 0.47) เมื่อพิจารณาแยกประเด็นที่ประเมินจะพบว่า ด้านเว็บแอปพลิเคชันเข้าถึงได้สะดวกได้รับการประเมินมากที่สุดในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.39$, S.D. = 0.71) รองลงมาคือ สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ ($\bar{X} = 4.50$, S.D. = 0.51) ลำดับที่สามคือ ขั้นตอนการใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน ($\bar{X} = 4.45$, S.D. = 0.51) และสองประเด็นสุดท้ายมีผลประเมินเท่ากันคือ ความถูกต้องของการจำแนกขยะ ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.47) และข้อเสนอแนะในการกำจัดขยะ ($\bar{X} = 4.30$, S.D. = 0.57)

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชันเพื่อช่วยแนะนำการแยกขยะ ทำให้เกิดความสะดวก ไม่ต้องทำการติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม แอปพลิเคชันใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ของแพลตฟอร์ม Teachable Machine แล้วเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ด้วย JavaScript การทำงานของแอปพลิเคชันพบว่าสามารถแยกขยะทั้ง 4 ประเภทได้ถูกต้องร้อยละ 84.67

การพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ด้วย Teachable Machine จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ json เมื่อมีการใส่ชุดข้อมูลที่มีรูปภาพและคลาสจำนวนมาก จะทำให้เสียเวลาในการดาวน์โหลดจากเครื่องแม่ข่าย ซึ่งบางคลาสอาจจะไม่มีการเรียกใช้งาน ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองหน่วยความจำ จึงควรพัฒนาต่อในรูปแบบการส่งข้อมูลไปตรวจสอบที่เครื่องแม่ข่ายแล้วส่งผลลัพธ์กลับมาแสดงผลที่หน้าจอผู้ใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัย นวัตกรรม เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและนำไปใช้ประโยชน์ ประจำปีงบประมาณ 2566 ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

7. เอกสารอ้างอิง

- ชุตติธารัฐ อุดมะสิริเสนี และ นิษิตินัย ธัญพรหิรัญญ์. (2564). การพัฒนาต้นแบบระบบถังขยะไอโอทีและระบบจัดเก็บข้อมูลการทิ้งขยะแบบออนไลน์ของนักเรียนในโรงเรียนระดับประถมศึกษา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 7(1) , 54–63. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/scihcu/article/view/243892/165781>
- ชนโชติ ภาชนะนัย, จักรกริช ปานเงิน, กรรณิการ์ คนงาม, วรชัย ศรีสมุดคำ และวาสนา วงศ์ษา. (2565). เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 4(2), 242–253. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/article/view/247342/168017>
- ประเสริฐ บัวจันอัฐ. (2561). แนวทางการจัดการขยะชุมชนแบบมีส่วนร่วมของประชาชน: กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลตาโกน อำเภอเมืองจันทร์ จังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 20(2), 211–222. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jhssrru/article/view/165794/119960>
- สมศักดิ์ ศรีสันติสุข, สุกัญญา เอมอัมธรรม, มัทนา บัวศรี, เปาชี วานอง, อัญชนา แสงแก้ว, เว่ย หยาง, ปัญญา ศักดิ์ แสงอ่อนแก้ว และสุภาพงษ์ ญาณไพศาล. (2563). บทบาทขององค์การบริหารส่วนตำบลต่อการบริหารจัดการขยะชุมชนสู่ความสำเร็จอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา องค์การบริหารส่วนตำบลคูเมือง อำเภอหนองบัวแดง จังหวัดชัยภูมิ. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่*, 21(2), 112–127. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/cmruresearch/article/view/238054/167559>

- สุพรรณา พาหาสิงห์ และ สัมพันธ์ พลภักดิ์. (2561). การบริหารจัดการด้านการจัดเก็บขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองแห่น อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 8(1), 132-142. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHSocSci/article/view/116223/90272>
- สุวิทย์ เรืองอร่าม, สิริภาพรรณ ถีภัยเจริญ และปรีดี ทูมเมฆ. (2563). การจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลโนนผึ้ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสาร มจร อุบลปริทรรศน์*, 5(3), 455-472. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/mcjou/article/view/245468/167173>
- อารีย์ พลภูเมือง, กัลยา หาญพิชาญชัย และเสฐียรพงษ์ ศิวินา. (2560). การพัฒนาระบบคัดแยกมูลฝอยในชุมชนแบบมีส่วนร่วมเขตเทศบาล ต.เมืองสรวง อ.เมืองสรวง จ.ร้อยเอ็ด. *วารสารเครือข่ายวิทยาลัยพยาบาลและสาธารณสุขสุทนต์*, 4(2), 147-161. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/scnet/article/view/84868/67587>
- Zhaojie, D., Chenjie, Z., Jiajie, W., Yifan, Q., & Gang, C. (2020). Garbage Classification System Based on AI and IoT. In IEEE, *15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)* (pp. 349-352). Delft, Netherlands. <https://doi: 10.1109/ICCSE49874.2020.9201690>
- Yang, G., Jin, J., Lei, Q., Wang, Y., Zhou, J., Sun, Z., Li, X. & Wang, W. (2021). Garbage Classification System with YOLOV5 Based on Image Recognition. In IEEE, *6th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)* (pp. 11-18). Nanjing, China. <https://doi: 10.1109/ICSIP52628.2021.9688725>
- G. Yu, G. & Shao, B. (2023). Garbage Classification and Detection Based on Improved YOLOV7 Network. *International Conference on Pattern Recognition, Machine Vision and Intelligent Algorithms (PRMVA)* (pp. 103-107). Beihai, China. <https://doi: 10.1109/PRMVA58252.2023.00024>
- Mohamed., M. (2021). Garbage Classification. <http://www.waggle.com/datasetmostafaabla/garbage-classification.htm>
- Yi, X., Liang, Y. & Peng, H. (2022). Garbage classification system based on artificial intelligence and Internet of Things. *International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT)* (pp. 1-5). Yichang, China. <https://doi:10.1109/AICIT55386.2022.9930306>.