การประยุกต์ใช้ Teachable Machine สำหรับระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติ

Application of Teachable Machine for Automatic Bottle Sorting

บพิตร ไชยนอก* และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์
สาขาวิชานวัตกรรมควบคุมอัจฉริยะ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
85 ถนนมาลัยแมน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
Bopit Chainok* and Ruchanon Srirawong
Department of Intelligent Control Innovation, Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University
85 Malaiman Road, Mueang District, Nakhon Pathom, 73000, Thailand
*Corresponding author Email: bopitch@npru.ac.th
(Received: August 31, 2024 / Revised: December 04, 2024 / Accepted: December 07, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบคัดแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อแก้ปัญหาการใช้แรงงานคนในการคัดแยกขยะ ใช้เทคนิค Teachable machine ในการจำแนกประเภทของขวดน้ำ ได้แก่ ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ และกระป๋องอะลูมิเนียม รองรับขวดขนาดไม่เกิน 1.5 ลิตร เก็บข้อมูลการคัดแยกและแสดงสถิติบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ ผลการทดลองพบว่าสามารถคัดแยกประเภทขวดน้ำสามารถจำแนกประเภทของขวดน้ำได้อย่างแม่นยำ โดยมีอัตราความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 95% ระบบสามารถประมวลผลภาพและจำแนกประเภทขวดน้ำได้ภายในเวลาไม่ถึง 1 วินาทีต่อขวด ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การเรียนรู้ของเครื่อง, ขวดน้ำ, จำแนก, การทำนาย

Abstract

This research developed an automatic water bottle classification system using image processing and machine learning technologies to address the issue of manual labor in waste sorting. The system employs the Teachable Machine technique to classify water bottles into categories such as plastic bottles, glass bottles, paper cartons, and aluminum cans. Supporting bottles up to 1.5 liters, the system stores sorting data and displays statistics on a web server. Experimental results showed an average accuracy rate of approximately 95%, with processing times under 1 second per bottle, indicating high efficiency.

Keywords: Image Processing, Machine Learning, Classification, Prediction

1. บทนำ

ปัจจุบัน ปัญหาขยะพลาสติกในประเทศไทยได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง โดยจากสถิติของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในปี พ.ศ. 2566 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12 ของขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตันต่อปี โดยมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียงประมาณ 0.5 ล้านตัน (ร้อยละ 25) ขณะที่ส่วนที่เหลืออีก 1.5 ล้านตัน (ร้อยละ 75) เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) ที่ไม่ได้รับการนำกลับมาใช้ใหม่ และถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] นอกจากนี้ ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ประชาชนมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการสั่งซื้อสินค้าและอาหารผ่านระบบออนไลน์มากขึ้น ทำให้การคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำไปรีไซเคิลลดลง ซึ่งส่งผลให้ปัญหาขยะยังคงไม่ได้รับการแก้ไขอย่างมั่นคงและยั่งยืน สำหรับประเทศไทย โรงงานแยกขยะหลายแห่ง โดยเฉพาะขยะประเภทขวดน้ำ กำลังเผชิญกับความท้าทายในการแยกประเภทขวดน้ำที่ยังคงต้องพึ่งพาแรงงานคน แม้ว่าวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการแยกขวดน้ำตามประเภทต่างๆ เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการย่อยขยะ แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดและปัญหา เช่น เวลาที่ใช้ในกระบวนการมากเกินไป ประสิทธิภาพไม่เสถียร และความเป็นไปได้ในการเกิดความผิดพลาดในกระบวนการแยกขยะเหล่านี้

เพื่อแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกในประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง การวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง [2] มาใช้เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถจดจำและแยกขวดพลาสติก, ขวดแก้ว, กระป๋องอลูมิเนียม และกล่องกระดาษออกจากกันได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เพื่อลดภาระงานของคนงานและส่งเสริมประสิทธิภาพการจัดการขยะและพัฒนากระบวนการทำงาน [3] งานวิจัยของ ณัฐภาส และคณะ ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพโรงงานรีไซเคิลและเสนอว่าเทคโนโลยีการมองเห็นสามารถช่วยแยกขยะได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [4] สมเกียรติ และคณะ ได้พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรกลการเรียนรู้เพื่อการจำแนกประเภทพลาสติกที่แม่นยำยิ่งขึ้น [5] ความสำเร็จในการปรับปรุงกระบวนการแยกขยะมีผลให้กระบวนการรีไซเคิลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [6]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อพัฒนาระบบคัดแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติด้วยการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อนำไปสู่การสร้างเครื่องคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถแก้ปัญหาการใช้แรงงานคนในโรงงานคัดแยกขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขอบเขตของโครงงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างระบบแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถแยกได้ทีละขวด ซึ่งสามารถช่วยแยกประเภทของขวดน้ำ เช่น ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ และกระป๋องอะลูมิเนียม ขนาดไม่เกิน 1.5 ลิตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 แพลตฟอร์มและโปรแกรม

1) Teachable Machine แพลตฟอร์มนี้มีความสามารถหลากหลายในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ เช่น แบบจำลองจำแนกประเภทภาพ (Image Classification) ซึ่งสามารถสอนแบบจำลองให้แยกแยะวัตถุต่าง ๆ ตามประเภทที่กำหนด โดยใช้ภาพถ่ายหรือวิดีโอเป็นข้อมูลนำเข้า [7] นอกจากนี้ยังสามารถสร้างแบบจำลองตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ซึ่งสอนแบบจำลองให้ค้นหาและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพถ่ายหรือวิดีโอได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถสร้างแบบจำลองเสียง (Audio Recognition) ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับและจำแนกเสียงต่าง ๆ อีกด้วย

แพลตฟอร์มนี้เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับ Machine Learning โดยไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางด้านการเขียนโปรแกรมหรือความรู้ทางเทคนิคใด ๆ การออกแบบที่ใช้งานง่ายและเป็นมิตรต่อผู้ใช้ทำให้ผู้ใช้ทุกคนสามารถสร้างและฝึกฝนแบบจำลอง Machine Learning ได้ในเวลาอันสั้น รวมถึงสามารถปรับแต่งและนำแบบจำลองไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8-9] ดังนั้น แพลตฟอร์มนี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องการเข้าสู่โลกของ Machine Learning [10] และนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

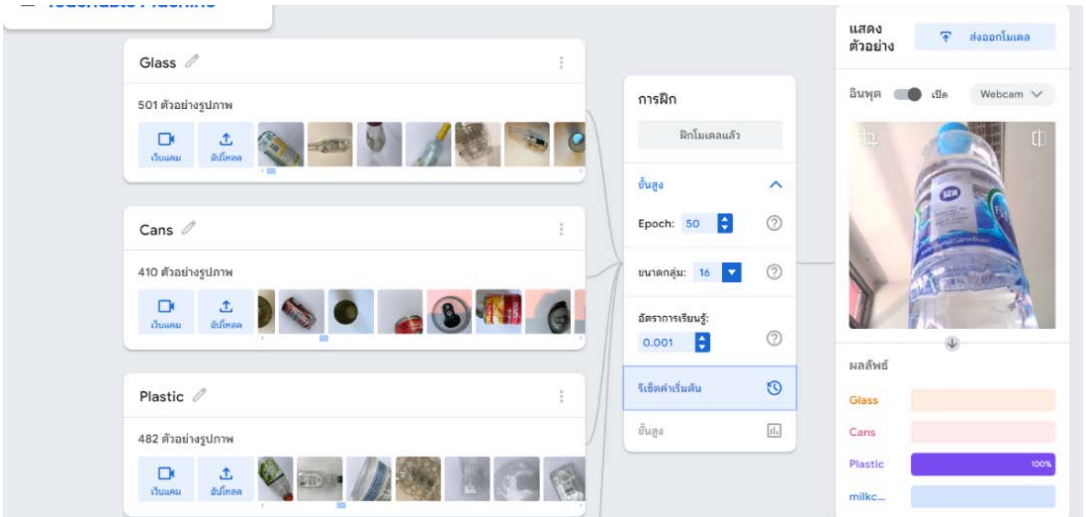
2) Visual Studio Code เป็นโปรแกรมแก้ไขชุดคำสั่งแบบโอเพนซอร์สที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ รองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows Linux และ macOS โปรแกรมนี้มีคุณสมบัติที่รองรับการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายภาษา และมี Extension มากมายที่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเขียนโปรแกรมในหลายรูปแบบ

2.2 วิธีการทดลอง

การสร้างแบบจำลองการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกประเภทของขวดน้ำ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องการความละเอียดรอบคอบ ในการสร้างแบบจำลองสำหรับประมวลผลเพื่อคัดแยกประเภทของขวดน้ำ โดยใช้ Teachable Machine ของ Google ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องได้โดยไม่ต้องมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม นอกจากนี้ ยังนำแบบจำลองที่พัฒนาไปใช้ต่อในเว็บไซต์โดยการเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา HTML และ JavaScript เพื่อให้สามารถแสดงผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สำหรับข้อมูลที่จะใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองการประมวลผลภาพนั้น ได้รับการจัดเตรียมจากเว็บไซต์ kaggle.com ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยจะแบ่งข้อมูลภาพขวดน้ำที่ใช้ในการฝึกฝนออกเป็น ประเภทหลัก ได้แก่ ขวดแก้ว 4 กระป๋อง กล่องกระดาษ และขวดพลาสติก ซึ่งการแบ่งประเภทนี้จะช่วยให้แบบจำลองสามารถแยกแยะประเภทของขวดน้ำได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกสีของวัตถุ ความขุ่นความใสของวัสดุที่ใช้ทำขวดน้ำ

กระบวนการเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลภาพของขวดน้ำแต่ละประเภท โดยจัดหมวดหมู่ตามประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิตขวดน้ำดังรูปที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลภาพเหล่านี้มาใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองผ่าน Teachable Machine โดยในกระบวนการนี้ ผู้จัดทำจะต้องจัดเตรียมข้อมูลรูปที่หลากหลายและเพียงพอสำหรับการฝึกฝน เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และจดจำลักษณะของขวดน้ำแต่ละประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากที่แบบจำลองได้รับการฝึกฝนจนสามารถแยกแยะประเภทของขวดน้ำได้แล้ว จะนำแบบจำลองนี้ไปผนวกกับเว็บไซต์ที่พัฒนาโดยใช้ HTML และ JavaScript เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบบจำลองผ่านหน้าเว็บไซต์ได้อย่างสะดวก โดยผู้ใช้สามารถอัปโหลดภาพของขวดน้ำที่ต้องการคัดแยกประเภทและแบบจำลองจะทำการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ว่าขวดน้ำในภาพนั้นเป็นประเภทใด

ขั้นตอนต่อไปคือการอัปโหลดภาพทั้งหมดลงในแพลตฟอร์ม Teachable Machine โดยจะต้องทำการจัดประเภทภาพตามคลาสที่ได้ทำการคัดแยกไว้ล่วงหน้าอย่างเป็นระบบ ขั้นตอนถัดไปคือการเริ่มฝึกฝนแบบจำลอง ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงความแม่นยำของการทำนาย หลังจากฝึกฝนแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว จำเป็นต้องทำการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองโดยใช้กล้องเว็บแคมเพื่อตรวจสอบว่าผลการทำนายมีความถูกต้องและแม่นยำในระดับใด โดยจะทำการประเมินผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 1



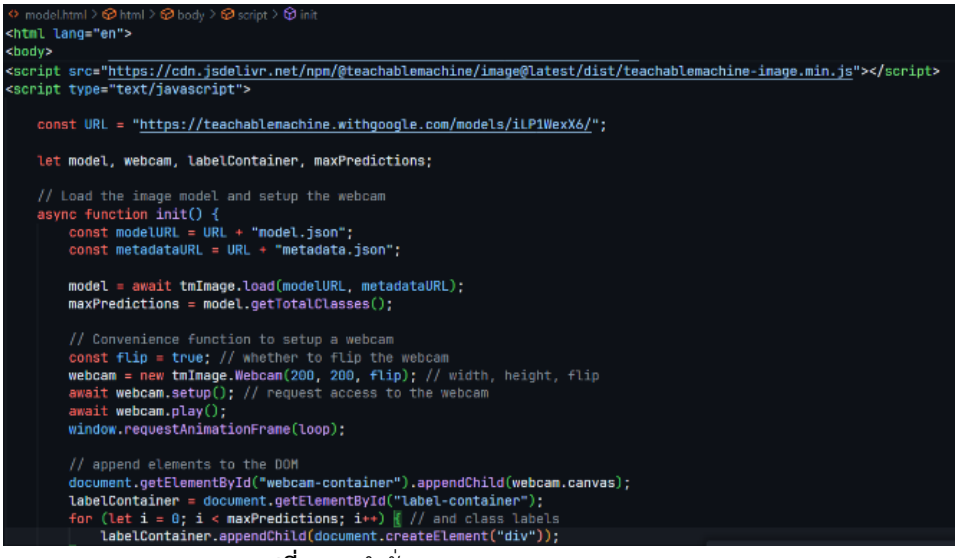
รูปที่ 1 การทำนายแบบจำลองโดยใช้ Teachable Machine

เมื่อได้แบบจำลองการประมวลผลภาพจาก Teachable Machine ออกมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำแบบจำลองนั้นมาใช้งานจริง โดยทำการ Export แบบจำลองออกมาในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ จากนั้นผู้จัดทำจะเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา HTML และ JavaScript บนโปรแกรม Visual Studio Code

การเขียนชุดคำสั่งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองบนหน้าเว็บ โดยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานแบบจำลองผ่านอินเทอร์เฟซที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ยังต้องทำการเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกประเภทของวัตถุจากภาพถ่ายแบบเวลาจริง การเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่า แบบจำลองสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเมื่อมีการป้อนข้อมูลภาพเข้ามาแบบเรียลไทม์

ในกระบวนการนี้ ผู้จัดทำต้องมั่นใจว่าชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีข้อผิดพลาด ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง การทดสอบการทำงานของแบบจำลองกับข้อมูลจริง และการปรับปรุงแก้ไขในกรณีที่พบปัญหา การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากช่วยให้ผู้จัดทำสามารถประเมินได้ว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำแนกประเภทของวัตถุได้ดีเพียงใด และสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขได้ตามความจำเป็น

การนำแบบจำลองการประมวลผลภาพจาก Teachable Machine มาใช้งานจริงผ่านการเขียนชุดคำสั่งด้วย HTML และ JavaScript และการเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ไม่เพียงแต่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบบจำลองได้อย่างสะดวกและง่ายดาย แต่ยังเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองมีความสามารถในการทำงานได้ตามที่ตั้งใจไว้ ชุดคำสั่งบางส่วนแสดงดังรูปที่ 2



```
<> model.html > html > body > script > init
<html lang="en">
<body>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@teachablemachine/image@latest/dist/teachablemachine-image.min.js"></script>
<script type="text/javascript">

    const URL = "https://teachablemachine.withgoogle.com/models/iLP1WexX6/";

    let model, webcam, labelContainer, maxPredictions;

    // Load the image model and setup the webcam
    async function init() {
        const modelURL = URL + "model.json";
        const metadataURL = URL + "metadata.json";

        model = await tmImage.load(modelURL, metadataURL);
        maxPredictions = model.getTotalClasses();

        // Convenience function to setup a webcam
        const flip = true; // whether to flip the webcam
        webcam = new tmImage.Webcam(200, 200, flip); // width, height, flip
        await webcam.setup(); // request access to the webcam
        await webcam.play();
        window.requestAnimationFrame(loop);

        // append elements to the DOM
        document.getElementById("webcam-container").appendChild(webcam.canvas);
        labelContainer = document.getElementById("label-container");
        for (let i = 0; i < maxPredictions; i++) { // and class labels
            labelContainer.appendChild(document.createElement("div"));
```

รูปที่ 2 ชุดคำสั่งภาษา HTML และ JavaScript

3. อภิปรายผล

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการออกแบบและปรับแต่งอย่างละเอียดเพื่อตอบสนองต่อการทำนายประเภทของขวดน้ำได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ผลิตขวดน้ำ ไม่ว่าจะเป็นขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ หรือกระป๋องโลหะ แบบจำลองสามารถแยกแยะประเภทเหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพและความสามารถของแบบจำลองในการนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมและตรวจสอบอย่างเข้มงวด ความสามารถนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการจัดการขยะและการรีไซเคิล ที่ต้องการความแม่นยำในการจำแนกประเภทของวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการและลดปัญหาการปนเปื้อนในกระบวนการผลิตใหม่

การทดลองนี้มุ่งเน้นการให้กล้องเว็บแคมจับภาพขวดน้ำภายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้อย่างเหมาะสม จากนั้นส่งข้อมูลภาพที่ได้ไปยังแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำการจำแนกประเภทของขวดน้ำ ข้อกำหนดของการทดลองดังกล่าวคือการใช้กล่องทึบแสงเพื่อให้แน่ใจว่าแสงภายนอกจะไม่เข้ามารบกวนผลลัพธ์ ทำให้แบบจำลองสามารถทำนายประเภทขวดน้ำได้อย่างแม่นยำภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด มั่นใจ ในรูปที่ 3 แสดงการจัดเตรียมสำหรับการทดลองในการแยกประเภทขวดน้ำ ในการทดลองนี้ ขวดพลาสติกถูกวางไว้ภายในกล่องกระดาษที่มีความทึบแสง เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกที่อาจส่งผลต่อการประมวลผลภาพของกล้องเว็บแคมซึ่งติดตั้งอยู่ในกล่อง

รูปที่ 3 กล้องเว็บแคมจับภาพขวดพลาสติกในลังกระดาษ

ผลการทดสอบการจำแนกประเภทวัสดุทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ขวดพลาสติก กระป๋อง ขวดแก้ว และกล่องกระดาษ โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อการทำนายประเภทของวัสดุจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องเว็บแคม ซึ่งวางไว้ในกล่องทึบแสงเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

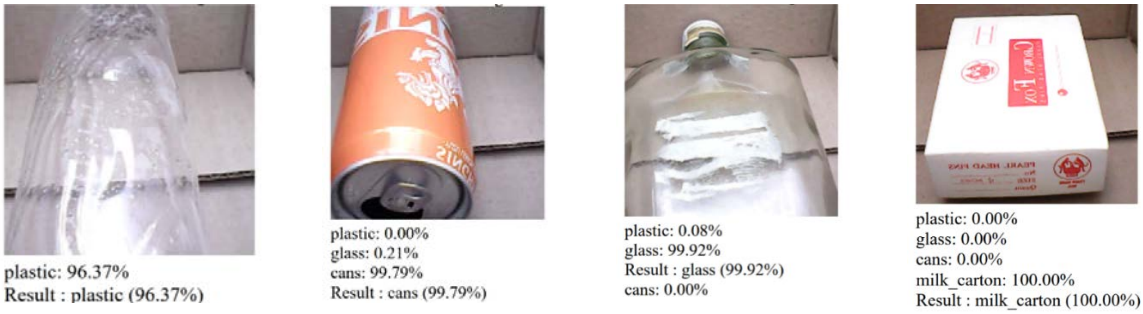
3.1 ขวดพลาสติก ผลการทำนายระบุว่าขวดน้ำนี้เป็นพลาสติกด้วยความแม่นยำ 96.37%

3.2 กระป๋อง แบบจำลองสามารถระบุได้อย่างถูกต้องว่าเป็นกระป๋องโลหะด้วยความแม่นยำ 99.79%

3.3 ขวดแก้ว แบบจำลองทำนายว่าขวดน้ำนี้เป็นแก้วด้วยความแม่นยำ 99.92%

3.4 กล่องกระดาษ แบบจำลองสามารถทำนายได้อย่างถูกต้องว่ากล่องนี้เป็นกล่องกระดาษด้วยความแม่นยำ 100.00%

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถและประสิทธิภาพของแบบจำลองในการแยกแยะและจำแนกประเภทวัสดุได้อย่างแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ โดยกระบวนการทดสอบวัสดุแต่ละประเภทแสดงดังในรูปที่ 4 ก. ถึง 4 ง.



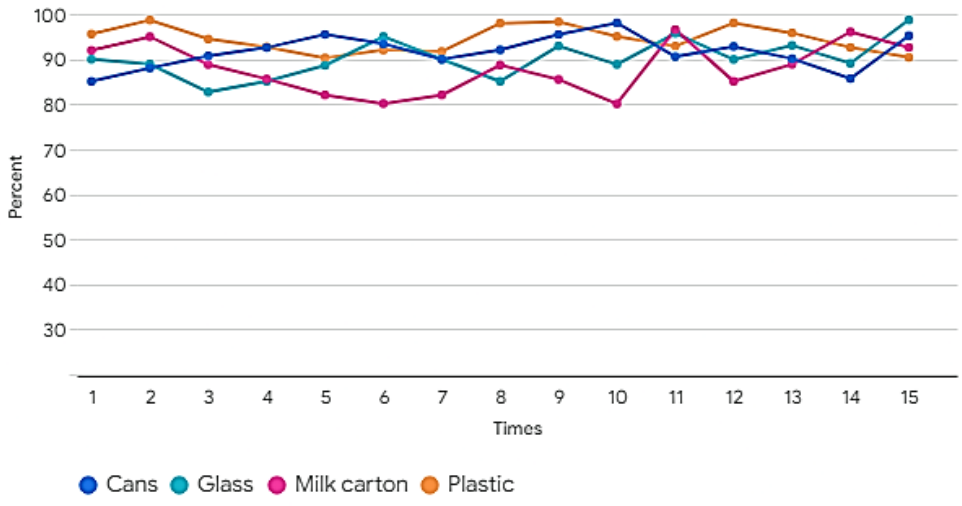
ก. ขวดพลาสติก ข. กระป๋อง ค. ขวดแก้ว ง. กล่องกระดาษ

รูปที่ 4 การทำนายวัสดุทั้ง 4 ประเภท

ข้อจำกัดของการทดลองนี้ เกิดจากบางกรณีที่แบบจำลองทำนายประเภทของวัสดุผิดพลาด เช่น การทำนายว่าขวดพลาสติกเป็นขวดแก้ว ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องจากความคล้ายคลึงกันของลักษณะภายนอก โดยเฉพาะความใสและพื้นผิวของขวดน้ำ อย่างไรก็ตาม ด้วยการฝึกฝนแบบจำลองด้วยข้อมูลที่มีคุณภาพสูง และการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในทุกขั้นตอน ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจำแนกประเภทวัสดุ ผลการทดสอบนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนในตารางที่ 1 และกราฟที่แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าความแม่นยำของแบบจำลองจากการทดสอบ 15 ครั้ง

ครั้งที่	ขวดพลาสติก	ขวดแก้ว	กล่องกระดาษ	กระป๋อง
1	95.67	90.04	92.02	85.12
2	98.76	88.96	95.06	88.09
3	94.54	82.76	88.87	90.79
4	92.79	85.13	85.65	92.64
5	90.34	88.68	82.09	95.56
6	92.09	95.09	80.18	93.46
7	91.78	90.06	82.09	90.03
8	98.07	85.14	88.76	92.13
9	98.37	92.99	85.56	95.56
10	95.12	88.89	80.13	98.14
11	92.97	95.81	96.65	90.65
12	98.14	90.01	85.13	92.89
13	95.89	93.13	88.91	90.18
14	92.67	89.14	96.14	85.75
15	90.47	98.78	92.68	95.28



รูปที่ 5 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลองจากการทดสอบ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าแบบจำลองการประมวลผลภาพมีความแม่นยำสูงในการทำนายประเภทของขวดน้ำในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสงได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีความจำกัดในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อขวดมีลักษณะคล้ายกันหรือแสงไม่สม่ำเสมอ แนะนำว่าควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความคงที่เพื่อรักษาความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนายประเภทของขวดน้ำ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพในการใช้งานจริงได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตคือการพัฒนาแบบจำลองให้สามารถรองรับขวดน้ำที่มีขนาดและรูปร่างที่หลากหลายมากขึ้น สามารถแยกประเภทของขวดน้ำได้หลากหลายมากขึ้น รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีแสงและเงาที่ซับซ้อน นอกจากนี้ การพัฒนาระบบให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบการจัดการขยะอื่นๆ ด้วย Serial Communication เช่น เครื่องคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่ผู้จัดทำมีแผนที่จะทำขึ้นในอนาคต หรือการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน (User Interface) ที่ใช้งานง่าย ก็จะเป็นประโยชน์ในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงในระบบคัดแยกขยะ หรืออาจจะพัฒนาเชื่อมกับระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเวลาจริง [11]

นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะและรีไซเคิล เช่น การใช้แบบจำลองในการแยกประเภทของวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ขวดน้ำ เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งยังควรมีการพัฒนาความสามารถของแบบจำลองในการประมวลผลรูปที่มีความละเอียดสูงและความเร็วในการทำนายที่เพิ่มขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำและความรวดเร็วในระดับสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ได้ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลืออย่างดีเยี่ยมในการทำงานวิจัยนี้ ทั้งในด้านทรัพยากรและคำแนะนำที่สำคัญ ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำเชิงวิชาการและข้อเสนอแนะที่มีคุณค่าอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัย นอกจากนี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและผู้ช่วยวิจัยทุกคนที่ให้ความร่วมมือ ความทุ่มเท และการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการวิจัย จนทำให้การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามเป้าหมายที่วางไว้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, "สถิติขยะพลาสติกในประเทศไทย," 2566. [Online]. Available: https://www.onep.go.th/

[2] Google, "Teachable Machine," [Online]. Available: https://teachablemachine.withgoogle.com/. [Accessed: 24-Jul-2024].

[3] สมเกียรติ คงมาลัย และคณะ, พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรกลการเรียนรู้สำหรับการจำแนกประเภทพลาสติก, วารสารเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2564.

[4] เกรียงไกร เจียมอยู่ และคณะ, การใช้เทคโนโลยีการมองเห็นเพื่อแยกขยะอัตโนมัติ, วารสารนวัตกรรมและเทคโนโลยี, 2566.

[5] ปิยะมาศ อุดมสิน และคณะ, การประเมินผลกระทบของการจัดการขยะรีไซเคิลในชุมชน, วารสารสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม, 2565.

[6] วัชรี โล่ห์สุนทร และคณะ, ผลของการศึกษาพฤติกรรมการรีไซเคิลของประชาชนในพื้นที่เมือง, วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 2564.

[7] วีรวรรณ จันทนะทรัพย์, "MASK DETECTION BY TEACHABLE MACHINE," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร , กรุงเทพฯ, 2565.

[8] วาสนา วงศ์ษา, "เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ," มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์, 2565.

[9] จิตรพงษ์ เจริญจิตร, “ระบบแยกประเภทไข่มุก ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ,” มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา, 2561

[10] Tamás Czimmermann, “ Visual-Based Defect Detection and Classification Approaches for Industrial Applications—A SURVEY,” Sensors, 2020

[11] ธานิล ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง. (2565). "การพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที." วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 8(2), 8-15.