

ระบบแสดงสถานะถังขยะอัจฉริยะ Smart Trash Bin Status Monitoring System

อนงค์นาถ อินทเสมอ¹ เกษมสุข เสพศิริสุข¹ และสัณณะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
anongnat.in@kmitl.ac.th, kasemsuk.se@kmitl.ac.th, sakapan.kl@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบแสดงสถานะถังขยะอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะในพื้นที่สาธารณะ โดยใช้กล้อง ESP32-CAM ถ่ายภาพถังขยะและส่งภาพไปยังเซิร์ฟเวอร์ Flask API ให้โมเดล YOLOv8 วิเคราะห์สถานะ เช่น ถังว่าง ถังเต็ม ถังล้ม และถังหาย ผลลัพธ์จะถูกส่งผ่านบอร์ด Heltec ESP32 LoRa ไปยังเครือข่าย LoRaWAN และแสดงผลแบบเรียลไทม์บนแดชบอร์ด หากพบสถานะผิดปกติ ระบบจะแจ้งเตือนผ่านแดชบอร์ดและ Telegram พร้อมบันทึกข้อมูลลง Google Sheets เพื่อการวิเคราะห์ย้อนหลัง อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะและภาพถังขยะผ่าน LINE Chatbot ได้อย่างสะดวก จากผลการทดลองระบบมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 0.96 ค่า Precision เท่ากับ 0.95 และค่า Recall เท่ากับ 0.92 โดยระยะการตรวจจับที่เหมาะสมไม่เกิน 4.5 เมตร และสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN ได้ไกลถึง 800 เมตร ระบบแสดงผลแม่นยำ เชื่อถือได้ และตอบสนองต่อผู้ใช้ได้แบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สถานะถังขยะอัจฉริยะ ลอราแวน ปัญญาประดิษฐ์

Abstract

This article presents an intelligent trash bin status monitoring system using Artificial Intelligence (AI) technology to improve waste management efficiency in public areas. The system uses an ESP32-CAM to capture images of trash bins and sends them to a Flask API server, where a YOLOv8 model analyzes the bin status—such as empty, full, toppled, or missing. The results are then transmitted via a Heltec ESP32 LoRa board to a LoRaWAN network and displayed in real time on a dashboard. If an abnormal status is detected, the system sends alerts through the dashboard and a Telegram, and logs the data to Google Sheets for further analysis. Users can also conveniently check the bin status and images through a LINE Chatbot. Experimental results show that the system achieves an average accuracy of 0.96, with a precision of 0.95 and a recall of 0.92. The optimal detection range is within 4.5 meters, and data can be transmitted over LoRaWAN for distances up to 800 meters. The

system provides accurate, reliable monitoring and responds to users in real time with high efficiency.

Keywords: Smart Trash Bin Status, LoRaWAN, AI

1. บทนำ

ปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยยังคงเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่หลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยต้องเผชิญ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่น ยิ่งทำให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขยะมูลฝอยที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ อาชีวอนามัย และมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงภาพลักษณ์ที่ไม่เหมาะสมของพื้นที่สาธารณะ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว หน่วยงานท้องถิ่นจึงได้ดำเนินการจัดการขยะหลายรูปแบบ เช่น การจัดตั้งถังขยะตามจุดต่าง ๆ การจัดเก็บและขนส่งขยะเป็นรอบเวลา การส่งเสริมการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ถังขยะที่มีอยู่ในบางพื้นที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ทำให้เกิดปัญหาขยะล้นถัง ขยะตกค้าง และกระจายไปยังบริเวณโดยรอบ สร้างความเดือดร้อนต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ปัจจุบันถังขยะอัจฉริยะได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ โดยผสานการทำงานร่วมกับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) [1-6] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถตรวจสอบและควบคุมระบบได้แบบเรียลไทม์ การประยุกต์ใช้ IoT กับถังขยะอัจฉริยะโดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกเพื่อตรวจวัดระดับปริมาณขยะภายในถัง [1-6] ช่วยให้สามารถติดตามสถานะของถังขยะได้อย่างแม่นยำ ส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi [2, 4] ในกรณีที่ติดตั้งถังขยะในระยะไกลจะใช้การส่งข้อความ SMS ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ (GSM) [1, 3] นอกจากนี้มีการใช้เครือข่าย LoRaWAN ซึ่งสามารถเชื่อมต่อระยะไกล และใช้พลังงานต่ำ และสามารถต่อโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายได้เป็นจำนวนมาก [5] นอกจากนี้มีการผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) [6] เข้ากับถังขยะอัจฉริยะจะช่วยจำแนกชนิดขยะ ระบบดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวางแผนการจัดเก็บขยะอย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการดำเนินงาน ลดการสิ้นเปลืองทรัพยากร และสามารถตอบสนองต่อปัญหาได้อย่างทันท่วงที

เนื่องจากระบบจัดการขยะโดยใช้ถังขยะอัจฉริยะในปัจจุบันจำเป็นต้องติดตั้งเซ็นเซอร์และแบตเตอรี่ในถังขยะทุกใบ [1-6] แม้วิธีการดังกล่าวจะช่วยให้สามารถตรวจสอบปริมาณขยะได้อย่างแม่นยำ แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านความสะดวกในการติดตั้งและบำรุงรักษา อีกทั้งอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ภายในถึงอาจเกิดความเสียหายได้ง่ายจากแรงกระแทกหรือกระบวนการเทขยะ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและเพิ่มความสะดวกในการจัดการถังขยะ บทความนี้จึงนำเสนอแนวทางการออกแบบและพัฒนา ระบบแสดงสถานะถังขยะอัจฉริยะ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเซ็นเซอร์ภายในถังขยะโดยตรง ระบบที่นำเสนอใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Heltec ESP32 LoRa และโมดูล ESP32-CAM ร่วมกับอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจสอบและประเมินสถานะของถังขยะ เช่น สถานะถังว่าง ถังเต็ม ถังล้น หรือถังสูญหาย ข้อมูลสถานะดังกล่าวส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN เพื่อแสดงผลผ่านแดชบอร์ดและแอปพลิเคชัน นอกจากนี้สามารถติดตามสถานะถังขยะได้ผ่าน LINE Chatbot ซึ่งช่วยให้กระบวนการเก็บขยะมีประสิทธิภาพมากขึ้นและตอบสนองได้แบบเรียลไทม์

2. พื้นฐานความรู้และวิธีการศึกษา

2.1 โลว์แรน (LoRaWAN)

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) เป็นโปรโตคอลแบบเปิดที่ทำงานบนพื้นฐานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa (Long Range) โดย LoRa ใช้การมอดูเลตแบบ Chirp Spread Spectrum (CSS) ซึ่งมีจุดเด่นคือสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะไกลหลายกิโลเมตรแม้ในสภาวะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนสูง ขณะที่ยังคงใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำมาก โดยจุดเด่นสำคัญของ LoRaWAN ได้แก่ ระยะทางการสื่อสารไกลที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างประมาณ 2-15 กิโลเมตร (ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและสิ่งกีดขวาง) และมีความปลอดภัยสูงด้วยการเข้ารหัสข้อมูลแบบ AES 128-bit ทั้งในระดับเครือข่ายและแอปพลิเคชัน อย่างไรก็ตาม LoRaWAN มีข้อจำกัดด้านปริมาณข้อมูล (Bandwidth) จึงเหมาะกับการส่งข้อมูลขนาดเล็กที่ไม่ต้องการความเร็วในการส่งสูง เช่น ค่าการวัดทางกายภาพ และไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้ข้อมูลขนาดใหญ่หรือการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

สถาปัตยกรรมของ LoRaWAN มีลักษณะเป็นเครือข่ายแบบดาว (Star Topology) โดยประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

- อุปกรณ์ปลายทาง (End Devices) เช่น เซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์เก็บข้อมูล
- เกตเวย์ (Gateways) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ปลายทางและส่งต่อผ่านเครือข่าย IP เช่น อินเทอร์เน็ต ไปยังเซิร์ฟเวอร์เครือข่าย
- เซิร์ฟเวอร์เครือข่าย (Network Server) ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผล ตรวจสอบความถูกต้อง จัดการสิทธิ์การเข้าถึง และส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ (Application Server) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้

2.2 หลักการทำงานและสถาปัตยกรรมของ YOLOv8

YOLOv8 เป็นสถาปัตยกรรมตรวจจับวัตถุแบบ Single Stage Detector ที่สามารถประมาณตำแหน่งกรอบล้อมวัตถุ (Bounding Box) และจำแนกประเภทของวัตถุภายในภาพได้ภายในขั้นตอนการประมวลผล

เพียงครั้งเดียว (One Forward Pass) ซึ่งทำให้การตรวจจับวัตถุมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเดลแบบ Two-Stage Detector เช่น Faster R-CNN ซึ่งแยกกระบวนการระหว่างการสร้างกรอบล้อมวัตถุและการจำแนกประเภทออกจากกัน

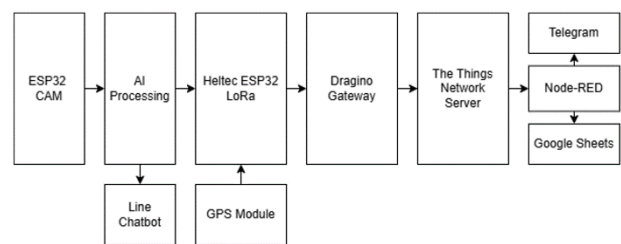
จุดเด่นสำคัญของ YOLOv8 คือการใช้ CSPNet (Cross Stage Partial Network) เป็น Backbone ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณภายในเครือข่ายและเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงคุณลักษณะ (Features) จากภาพได้อย่างลึกและแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ YOLOv8 ยังใช้โครงสร้าง Neck แบบ FPN (Feature Pyramid Network) ร่วมกับ PAN (Path Aggregation Network) เพื่อรวมคุณลักษณะจากหลายระดับ (Multi-Scale Feature Fusion) ทำให้การตรวจจับวัตถุที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การใช้ Head แบบ Anchor-Free ซึ่งแตกต่างจาก YOLO รุ่นก่อนหน้า ที่ใช้ Anchor Boxes แนวทางนี้ช่วยให้ YOLOv8 สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดและรูปร่างหลากหลายได้อย่างยืดหยุ่น ลดความยุ่งยากในการปรับค่าพารามิเตอร์ Anchor และเพิ่มความแม่นยำในการคาดคะเน Bounding Box

3. การออกแบบ

3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์

ระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-CAM, บอร์ด Heltec ESP32 LoRa, บอร์ดโมดูล GPS, โมเดลปัญญาประดิษฐ์โยโลว์ 8 (YOLOv8) โดยใช้ลอว์แรนเกตเวย์ รุ่น LPS8N-AS923-TH ซึ่งออกแบบมาให้ใช้กับความถี่ประเทศไทยที่ 920-925 MHz และมีกำลังส่งอยู่ที่ 200 mW โดยบล็อกไดอะแกรมระบบตรวจสอบสถานะถังขยะแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์

จากรูปที่ 1 มีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

- การทำงานเริ่มต้นจากฮีสพี 32 แคม (ESP32-CAM) ซึ่งทำหน้าที่จับภาพถังขยะในจุดที่ติดตั้งไว้ จากนั้นภาพที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังระบบประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์

2. โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้คือ โยโลวี 8 (YOLOv8) เพื่อแยกแยะและตรวจสอบสถานะของถังขยะว่าอยู่ในสภาพ ถังขยะปกติ ถังขยะเต็ม ถังขยะล้น และถังขยะหาย

3. ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นี้จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ต้นทาง คือ Heltec ESP32 LoRa หรือเรียกว่า End Device

4. โมดูลจีพีเอส (GPS) ถูกติดตั้งเพื่อเพิ่มข้อมูลตำแหน่งของถังขยะ

5. อุปกรณ์ต้นทางจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังลอราแวนเกตเวย์ จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยัง The Things Network Server (TTN Server) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดการข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทาง (End Device) ในขั้นตอนสุดท้าย

6. ข้อมูลที่ผ่านมาจาก TTN Server จะถูกส่งไปยังโนดเรดผ่านโปรโตคอล MQTT เพื่อนำมาแสดงผลบนแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ และจะทำการส่งการแจ้งเตือนไปยัง 텔레แกรม และในขณะเดียวกันจะทำการบันทึกข้อมูลเหล่านั้นลงในกูเกิลชีต เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ย้อนหลังหรือจัดทำรายงาน

7. ไลน์แชทบอท (line chatbot) หากผู้ใช้งานต้องการดูสถานะถังขยะสามารถกดปุ่มเมนู “สถานะตอนนี้” ในไลน์แชทบอท ระบบจะทำการจับภาพแล้ววิเคราะห์ภาพและส่งกลับมายังไลน์แชทบอทพร้อมกับบอกสถานะ

3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์

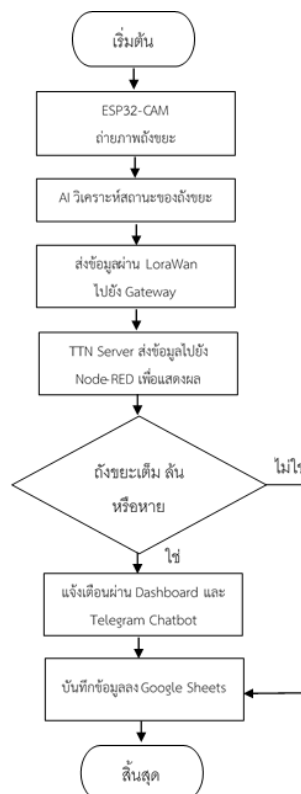
โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ 1. โฟลว์ชาร์ตการทำงานของหลักของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์ 2. โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไลน์แชทบอท

3.2.1 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของหลักของระบบตรวจสอบถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์

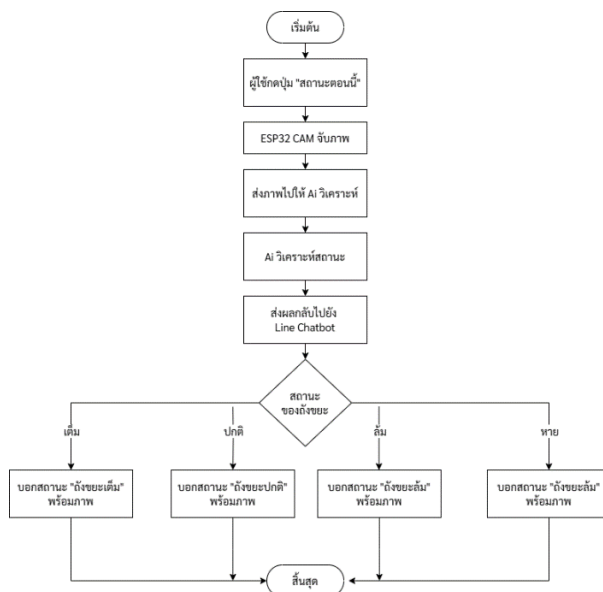
ระบบตรวจสอบสถานะถังขยะอัจฉริยะนี้เริ่มต้นด้วย ESP32-CAM ถ่ายภาพถังขยะและวิเคราะห์สถานะด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ หากพบว่าสถานะของถังขยะเต็ม ล้น หรือหาย ข้อมูลจะถูกส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN ไปยังเกตเวย์ จากนั้น TTN Server จะส่งข้อมูลไปยังโนดเรด เพื่อแสดงผลบนแดชบอร์ด และแจ้งเตือนผ่าน 텔레แกรม พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลลง Google Sheets เพื่อนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ย้อนหลัง ดังแสดงในรูปที่ 2

3.2.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไลน์แชทบอท

แผนภาพนี้แสดงกระบวนการทำงานของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะผ่านไลน์แชทบอท โดยเริ่มจากผู้ใช้กดปุ่ม “สถานะตอนนี้” ในแอปพลิเคชัน LINE จากนั้น ESP 32-CAM จะทำการจับภาพถังขยะและส่งไปให้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์สถานะของถังขยะ จากนั้นที่ผลลัพธ์จะถูกส่งกลับไปยังไลน์แชทบอท เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบ ระบบสามารถระบุสถานะของถังขยะได้สี่แบบ ได้แก่ ปกติ เต็ม ล้น และ หาย โดยแต่ละสถานะจะถูกส่งกลับไปด้วยภาพถ่ายของถังขยะ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของหลักของระบบตรวจสอบสถานะถังขยะด้วยปัญญาประดิษฐ์



รูปที่ 3 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไลน์แชทบอท

3.3 การออกแบบและพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์

ในการออกแบบและพัฒนาโมเดล YOLOv8 สำหรับการตรวจจับถังขยะ ใช้ชุดข้อมูลภาพจำนวน 7,362 ภาพ แบ่งเป็น 4 คลาส ได้แก่ ถังขยะเต็ม ถังขยะปกติ ถังขยะล้น และถังขยะหาย โดยแบ่งชุด

ข้อมูลเป็น 80% สำหรับการฝึก (Training), 20% สำหรับการตรวจสอบ (Validation)

ถูกต้องชัดเจน หากกล้องอยู่ไกลที่ระยะ 5 เมตร โมเดลปัญญาประดิษฐ์ไม่สามารถวิเคราะห์ภาพถังขยะได้ ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการเทรนโมเดล YOLOv8

Class	mAP@0.5	Precision	Recall
ถังขยะปกติ	0.95	0.94	0.89
ถังขยะเต็ม	0.92	0.93	0.85
ถังขยะล้ม	0.98	0.95	0.95
ถังขยะหาย	0.99	0.97	0.99
ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 classes	0.96	0.95	0.92

จากตารางที่ 1 พบว่าโมเดล YOLOv8 โมเดล YOLOv8 แสดงความแม่นยำเฉลี่ยสูงมากในการตรวจจับถังขยะทั้ง 4 ประเภท โดยเฉพาะตรวจจับถังขยะหาย ซึ่งมีค่าแม่นยำเฉลี่ยที่ค่า IoU มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (mAP@0.5) คือ 0.99 มีค่าแม่นยำ (Precision) เท่ากับ 0.97 และค่า Recall เท่ากับ 0.92 โดยรวม โมเดลมีความน่าเชื่อถือในการใช้งานจริงสำหรับงานตรวจจับถังขยะ

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองผลของระยะกล้องต่อความแม่นยำในการตรวจจับ

เป็นการทดลองเพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างกล้อง ESP32-CAM กับถังขยะ โดยทำการถ่ายภาพที่ระยะต่าง ๆ แล้วใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ตรวจสอบค่าความมั่นใจ (confidence) ว่าระบบยังทำงานได้อย่างแม่นยำหรือไม่ เมื่อกำหนดค่าเทรชโฮลด์ (threshold) เท่ากับ 60 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2 ระยะห่างของกล้องต่อความแม่นยำในการตรวจจับ

ระยะห่างกล้อง (เมตร)	ค่าความมั่นใจ (เปอร์เซ็นต์)	ผลการทำนาย
1	85	✓
2	82	✓
3	81	✓
4	76	✓
4.5	68	✓
5	×	×

หมายเหตุ : ✓ หมายถึง สามารถทำนายผลได้

× หมายถึง ไม่สามารถทำนายผลได้

จากตารางที่ 2 พบว่าความแม่นยำของปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับสูงที่สุดที่ระยะ 4.5 เมตร โดยสามารถระบุสถานะของถังขยะได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ผลการทดลองวัดระยะกล้องต่อความแม่นยำในการตรวจจับ

(ก) ภาพที่ระยะ 1 เมตร (ข) ภาพที่ระยะ 5 เมตร

4.2 การทดลองประเมินค่าความมั่นใจในการทำนาย

การทดลองนี้เป็นการทดสอบระบบการทำนายภาพสำหรับการใช้งานจริง เริ่มต้นจากการบันทึกภาพจากบอร์ด ESP32-CAM ซึ่งจะประกอบด้วยภาพของสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น ถังขยะปกติ ถังขยะเต็ม ถังขยะล้ม และถังขยะหาย อย่างละ 10 ครั้ง โดยภาพทั้งหมดจะจัดเก็บไว้ในโฟลเดอร์ จากนั้นจะดึงรูปภาพเหล่านี้มาวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำนายของโมเดล โดยกำหนดค่าเทรชโฮลด์ เท่ากับ 60 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 3 ผลการทดลองประเมินค่าความมั่นใจในการทำนาย

ครั้งที่	ค่าความมั่นใจ(เปอร์เซ็นต์)			
	ถังขยะปกติ	ถังขยะเต็ม	ถังขยะล้ม	ถังขยะหาย
1	76	80	86	62
2	81	80	86	60
3	81	81	87	78
4	79	80	86	83
5	81	72	86	87
6	80	79	87	86
7	80	81	86	81
8	81	78	86	93
9	81	80	86	82
10	81	81	86	85

จากผลการทดลองตารางที่ 4.3 พบว่าโมเดลมีความแม่นยำโดยรวมเฉลี่ยสูงกว่า 80% แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถทำนายได้แม่นยำและมั่นใจ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดลองประเมินค่าความมั่นใจในการทำนายของถังขยะปกติ ถังขยะเต็ม ถังขยะล้น และถังขยะหาย

4.3 การทดลองระยะการส่งข้อมูลไปยังลอว์แวนเกตเวย์

การทดลองระยะการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทาง (End Device) ไปยังลอว์แวนเกตเวย์ เพื่อหาระยะทางในการติดตั้งถังขยะและเกตเวย์ที่เหมาะสม โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ต้นทาง กับ The Things Network Server (TTN) แล้วส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทางไปยังลอว์แวนเกตเวย์ในแต่ละจุดทดสอบ

ตารางที่ 4 ผลการทดลองระยะการส่งข้อมูลไปยังลอว์แวนเกตเวย์

อุปกรณ์	ครั้งที่	ระยะการส่งข้อมูล(เมตร)					
		500	600	700	800	900	1000
End Device	1	✓	✓	✓	✓	✓	✗
	2	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✗

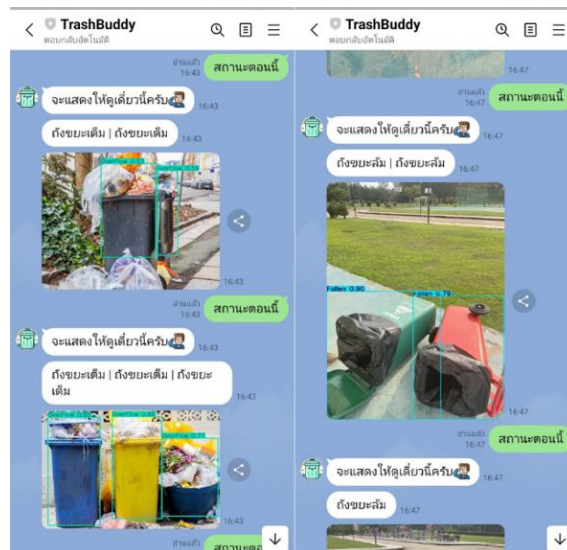
หมายเหตุ : ✓ หมายถึง ส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์ได้ปกติ

✗ หมายถึง ไม่สามารถส่งข้อมูลได้

จากการทดลองตารางที่ 4 พบว่าระยะที่อุปกรณ์ปลายทางสามารถส่งข้อมูลไปยังลอว์แวนเกตเวย์ได้ 800 เมตร และระยะที่ไกลกว่านั้นการรับส่งข้อมูลเริ่มไม่เสถียรและไม่สามารถรับข้อมูลได้ในที่สุด

4.4 ทดลองการแจ้งสถานะถังขยะผ่านไลน์แชทบอท

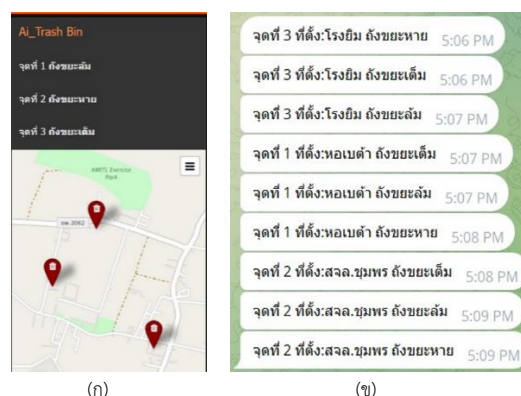
ระบบการแจ้งสถานะถังขยะผ่านไลน์แชทบอท ถูกใช้เมื่อผู้ต้องการข้อมูลสถานะของถังขยะขณะนั้น โดยผู้ใช้กดปุ่มคำสั่ง “สถานะตอนนี้” ระบบจะส่งคำสั่งไปยังกล่องอีเมล 32 แคม ที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ เพื่อถ่ายภาพถังขยะปัจจุบัน แล้วให้โมเดลปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ภาพแบบเรียลไทม์ แล้วส่งภาพวิเคราะห์กลับมา พร้อมข้อความแจ้งสถานะถังขยะ เช่น ถังขยะเต็ม ถังขยะล้น หรือ หาย แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแจ้งสถานะถังขยะผ่านไลน์แชทบอท

4.5 การแสดงสถานะถังขยะบนหน้าแดชบอร์ดและแอปพลิเคชัน

การทดลองนี้เป็นการทดลองแจ้งเตือนสถานะถังขยะให้กับผู้ใช้งานได้ทราบ พร้อมทั้งบอกจุดตำแหน่งที่ตั้งถังขยะ โดยการแจ้งเตือนจะมี 2 ช่องทาง คือแจ้งเตือนบนหน้าแดชบอร์ด และการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน โดยในการทดลองจะวางตำแหน่งของถังขยะไว้ 3 จุดที่แตกต่างกัน ทดลองการแจ้งสถานะของถังขยะทั้ง 3 กรณีคือ ถังขยะเต็ม ถังขยะล้น และถังขยะหาย การออกแบบนี้ช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามและจัดการสถานะของถังขยะได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแจ้งเตือนสถานะถังขยะ (ก) แดชบอร์ดแสดงสถานะถังขยะ (ข) แอปพลิเคชันแจ้งเตือนสถานะถังขยะ

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอระบบแสดงสถานะถังขยะอัจฉริยะ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือแก้ปัญหาการจัดการขยะอย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นปัญหาขยะล้น ถังขยะล้น หรือถังขยะหาย โดยระบบนี้ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใด ๆ ที่ถังขยะดังนั้นจึงเป็นระบบที่สะดวกต่อการใช้งานและ

ง่ายต่อการดูแลรักษา ระบบนี้ใช้การสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกล แต่ในการทดลองจะเห็นว่าระยะการส่งข้อมูลได้ 800 เมตร ซึ่งได้ระยะไม่ไกลมากนักซึ่งเป็นผลมาจากสิ่งกีดขวางเช่น อาคารต่าง ๆ ในพื้นที่ ดังนั้นถ้าหากต้องการรับส่งข้อมูลให้ไกลกว่านี้ควรติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารในที่โล่ง ในการแจ้งเตือนสถานะของถังขยะโดยใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ภาพกรณีต่าง ๆ ทั้งถังขยะเต็ม ถังขยะล้น ถังขยะหาย สามารถแจ้งเตือนผ่านแดชบอร์ดและแอปพลิเคชันได้อย่างถูกต้อง และสะดวกต่อการใช้งานเนื่องจากมีการแจ้งเตือนสถานะถังขยะรวมถึงจุดที่ตั้งของถังขยะด้วย เนื่องจากระบบนี้ใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ภาพดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลซึ่งอาจทำให้ค่าใช้จ่ายต่อจุดติดตั้งสูง และระบบได้ถูกออกแบบให้ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นมาตรฐานไฟฟ้ากระแสสลับในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องการติดตั้งระบบในพื้นที่ห่างไกลซึ่งไม่มีระบบไฟฟ้า จำเป็นต้องออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติม เช่น ระบบโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยรวมถึงสถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Yerraboina, N. M. Kumar, K. S. Parimala, and N. A. Jyothi, "Monitoring the smart garbage bin filling status: An IoT application towards waste management," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, vol. 9, no. 6, pp. 373–381, Jun. 2018.
- [2] N. M. Yusof, M. F. Zulkifli, N. Y. A. M. Yusof, and A. A. Azman, "Smart waste bin with real-time monitoring system," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 2.29, pp. 725–729, 2018.
- [3] S. A. Afolalu, A. A. Noiki, O. M. Ikumapayi, A. T. Ogundipe, and O. R. Oloyede, "Development of smart waste bin for solid waste management," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 16, no. 8, pp. 1449–1454, Dec. 2021.
- [4] N. Malathy, D. Kaviyaadharshani, and S. Ashifa, "Smart trash bin level monitoring system," *International Journal of Health Sciences*, vol. 6, no. S3, pp. 5799–5820, 2022.
- [5] S. R. Jino Ramson, V. S., A. A. Kirubaraj, T. Anagnostopoulos, and A. M. Abu-Mahfouz, "A LoRaWAN IoT-enabled trash bin level monitoring system," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 2, pp. 786–793, Feb. 2022.

- [6] G. E. González, E. R. Escobar, I. I. Carvajal, and A. C. Bento, "Smart Trash Bins: Integration of IoT with AI for Efficient Waste Management," in *Proc. 2024 IEEE Int. Humanitarian Technol. Conf. (IHTC)*, 2024.



อนงค์นาถ อินทะเสม

สำเร็จการศึกษา วศ.บ. อิเล็กทรอนิกส์ และ วศ.ม เทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากสจล. วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ที่ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่ การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการแพทย์และเกษตรกรรม



เกษมสุข เสพศิริสุข

สำเร็จการศึกษา วศ.บ และ วศ.ม.วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์ จากสจล. จบ D.Eng (Science and Technology) จาก Tokai University, Japan ปัจจุบันเป็นอาจารย์ที่ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่ การประมวลผลภาพดิจิทัล ระบบฝังตัว และปัญญาประดิษฐ์



สักกะพันธ์ คล้ายดอกจันทร์

สำเร็จการศึกษา วศ.บ และ วศ.ม.วิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์ จาก สจล. ปัจจุบันเป็นอาจารย์ที่ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ งานวิจัยที่สนใจได้แก่ ระบบฝังตัว ระบบ IoT และปัญญาประดิษฐ์