บทที่ 2

เอกสารและโครงงานที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานทางวิศวกรรม เรื่อง เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาเอกสาร และโครงงานที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ประเภทของขวดบรรจุภัณฑ์ที่รองรับในเครื่องคัดแยก

2. เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ด้านการประมวลผลภาพ

3. ทฤษฎีแรงจูงใจและระบบสะสมแต้ม

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์การตรวจจับ

5. การจัดการขยะรีไซเคิล

6. หลักการทางวิทยาศาสตร์

7. ความพึงพอใจ

8. โครงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประเภทของขวดบรรจุภัณฑ์ที่รองรับในเครื่องคัดแยก

เพื่อให้การทำงานของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม สามารถตอบโจทย์การจัดการขยะรีไซเคิลในชีวิตประจำวันของโรงเรียนได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

คณะผู้จัดทำจึงได้กำหนดขอบเขตและศึกษาลักษณะเฉพาะของบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มที่ระบบรองรับ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ขวดพลาสติกประเภท PET และขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ขวดพลาสติก (Plastic Bottles - PET)

ขวดพลาสติกที่ใช้บรรจุน้ำดื่มและเครื่องดื่มส่วนใหญ่ผลิตจากพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET หรือ PETE) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิลหมายเลข 1 คุณสมบัติเด่นของขวดพลาสติก PET คือ

มีความใส ผิวเรียบมัน น้ำหนักเบา เหนียวทนทาน ไม่เปราะแตกง่าย และมีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดี จึงนิยมนำมาใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำอัดลม และชาเขียวพร้อมดื่ม

ในกระบวนการรีไซเคิล ขวดพลาสติก PET ถือเป็นหนึ่งในพลาสติกที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและสามารถนำกลับมาผ่านกระบวนการหลอมแปรรูปเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (rPET) เพื่อผลิตเป็นขวดบรรจุภัณฑ์ใหม่ (Closed-Loop Recycling) หรือนำไปดึงเป็นเส้นใยสังเคราะห์สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอได้ การตรวจจับขวด PET ในระบบเอไอจะอาศัยคุณลักษณะเด่นด้าน "ความโปร่งใส (Transparency)" และการหักเห/สะท้อนของแสงเมื่อวางบนสายพานลำเลียงผ่านอุโมงค์ตรวจจับ

ภาพที่ 1: ลักษณะของขวดพลาสติกประเภท PET

ที่มา: https://www.tpbi.co.th ; **พ.ศ. 2566**

1.2 ขวดและบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียม (Aluminium Bottles / Cans)

บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมสูงในการบรรจุเครื่องดื่มน้ำอัดลม กาแฟกระป๋อง และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง เนื่องจากอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงแดด อากาศ ความชื้น และเชื้อจุลินทรีย์ได้ 100% (Total Barrier) ช่วยรักษาคุณภาพ รสชาติ และความสดใหม่ของเครื่องดื่มได้ยาวนาน

ในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจหมุนเวียน อะลูมิเนียมถือเป็น "วัสดุหมุนเวียนถาวร (Permanently Recyclable Material)" ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลใหม่ได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง โดยไม่สูญเสียคุณสมบัติเชิงกลหรือคุณภาพของเนื้อโลหะ
การรีไซเคิลขวดและกระป๋องอะลูมิเนียมใช้พลังงานน้อยกว่าการถลุงแร่บอกไซต์ใหม่ถึง 95% และช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 9.13 กิโลกรัมต่อเนื้ออะลูมิเนียม 1 กิโลกรัม จึงมีมูลค่าการรับซื้อในตลาดรีไซเคิลสูงกว่าพลาสติกหลายเท่า

ในการตรวจจับด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และเซนเซอร์
บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมมีลักษณะเด่นที่ชัดเจน ได้แก่ "ความทึบแสง (Opacity)"

ความมันวาวของพื้นผิวโลหะ (Metallic Reflectivity) และลวดลายงานพิมพ์รอบกระป๋อง ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างขวดพลาสติกใสและกระป๋องอะลูมิเนียมได้อย่างแม่นยำ

ภาพที่ 2: ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ขวดและกระป๋องอะลูมิเนียม

ที่มา: https://www.canpack.com ; **พ.ศ.** 2567

ความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างขวดพลาสติกใส PET และขวดอะลูมิเนียมที่มีความทึบแสงและมันวาว ถือเป็นลักษณะสำคัญที่ช่วยให้กล้องประมวลผลภาพบนสายพานลำเลียง สามารถตรวจจับ แยกแยะ และสั่งการกลไกเพื่อคัดแยกบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทได้อย่างแม่นยำ รวมถึงหากเป็นวัตถุแปลกปลอมอื่น ๆ ระบบจะส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้งานทันที

2. เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ด้านการประมวลผลภาพ

ปัญหาหลักของการจัดการขยะในปัจจุบันคือความยุ่งยากและข้อผิดพลาดจากการคัดแยกขยะด้วยแรงงานคน รวมถึงการที่ประเทศของเรายังมีการนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 25 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงระบบการจัดการที่ยังขาดประสิทธิภาพ เพื่อแก้ปัญหานี้อย่างยั่งยืน คณะผู้จัดทำจึงได้นำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ หรือ เอไอ (Artificial Intelligence) เข้ามาเป็นหัวใจหลักในการทำงานของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติ โดยเทคโนโลยีที่โครงงานนี้เลือกใช้ คือการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของเอไอที่มุ่งเน้นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถมองเห็น ทำความเข้าใจ และวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับดวงตาและสมองของมนุษย์

ในการสอนให้คอมพิวเตอร์สามารถแยกแยะได้ว่าวัตถุใดคือขวดพลาสติก PET ขวดอะลูมิเนียม หรือขยะอื่น ๆ คณะผู้จัดทำได้ศึกษาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN - Convolutional Neural Network)

ซึ่งเป็นโมเดลที่ถูกออกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลภาพโดยเฉพาะ หลักการทำงานคือการนำภาพถ่ายวัตถุบนสายพานลำเลียงมาทำการสกัดลักษณะเด่น (Feature Extraction) เช่น การตรวจจับเส้นขอบ รูปร่าง ความโค้งมน พื้นผิวโลหะ และความโปร่งใส จากนั้นระบบจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ฝึกสอนเอาไว้ เพื่อให้ระบบตัดสินใจจำแนกประเภทได้อย่างแม่นยำสูงกว่าร้อยละ 95

ภาพที่ 3: แผนภาพแสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม CNN และการสกัดลักษณะเด่นของภาพ

ที่มา: https://learnopencv.com ; **พ.ศ. 2566**

นอกจากนี้ เพื่อให้เครื่องแยกขวดทำงานได้แม่นยำที่สุดและลดข้อผิดพลาดในกรณีที่ขวดมีรอยยับหรือมีแสงสะท้อน งานวิจัยยังได้นำเสนอสถาปัตยกรรมโมเดลขั้นสูงที่เรียกว่า ResNet (Residual Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก (Deep Neural Network) ที่เข้ามาแก้ปัญหาโครงข่ายที่ลึกเกินไปโดยการสร้างทางลัด (Shortcut Connection) ให้ข้อมูลสามารถข้ามชั้นประมวลผลบางชั้นไปได้ ทำให้โมเดลสามารถเรียนรู้รายละเอียดของภาพขวดและกระป๋องที่ซับซ้อนขึ้นได้โดยไม่สูญเสียความแม่นยำ และสามารถจำแนกประเภทขยะด้วยความแม่นยำที่สูงถึงร้อยละ 98.16

ภาพที่ 4: โครงสร้างทางลัด (Skip Connection) ในโมเดล ResNet ที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำ

ที่มา: https://arxiv-org.translate.goog/html ; **พ.ศ. 2567**

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในโครงงานนี้ ทำงานร่วมกับระบบสายพานลำเลียงและอุโมงค์ควบคุมแสงสว่าง (Inspection Chamber) เมื่อผู้ใช้วางขวดลงบนสายพาน เซนเซอร์อินฟราเรดจะส่งสัญญาณให้สายพานเลื่อนขวดเข้าสู่อุโมงค์ตรวจจับที่มีไฟ LED ส่องสว่างคงที่ กล้องจะบันทึกภาพและส่งไปยังบอร์ด Raspberry Pi เพื่อประมวลผลด้วยโมเดลเอไอแบบ Real-time หากเป็นขวดพลาสติก PET หรือขวดอะลูมิเนียม

สายพานจะลำเลียงต่อไปยังชุดบานพับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปัดแยกประเภทลงถังอย่างถูกต้องและเพิ่มแต้มสะสม แต่หากเป็นขยะแปลกปลอมที่ไม่รองรับ ระบบจะสั่งให้สายพานหมุนย้อนกลับ (Reverse Conveyor) เพื่อส่งคืนขยะให้แก่ผู้ใช้งานทันที

3. ทฤษฎีแรงจูงใจและระบบสะสมแต้ม

สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้การจัดการขยะมูลฝอยในสถานศึกษาและชุมชนยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เกิดจาก "การขาดแรงจูงใจ (Lack of Motivation)" ในการลงมือปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ
เนื่องจากการแยกขยะในรูปแบบเดิมไม่มีผลตอบแทนเชิงบวกที่จับต้องได้ในทันที
คณะผู้จัดทำจึงได้นำหลักการทางจิตวิทยาพฤติกรรมศาสตร์และแนวคิดเกมมิฟิเคชัน (Gamification) มาผสานเข้ากับเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาระบบสะสมแต้ม โดยมีรายละเอียดทฤษฎี โครงสร้าง และขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังนี้

3.1 ทฤษฎีทางจิตวิทยาและหลักการสร้างแรงจูงใจ

1) ทฤษฎีการวางเงื่อนไขการกระทำและการเสริมแรงทางบวก (Operant Conditioning and Positive Reinforcement): ตามทฤษฎีของ บี.เอฟ. สกินเนอร์ (B.F. Skinner, 1953) ระบุว่าพฤติกรรมของมนุษย์สามารถปรับเปลี่ยนและสร้างความคงทนได้ผ่านผลกรรมหรือสิ่งเร้าที่เกิดขึ้นหลังการกระทำ หากบุคคลแสดงพฤติกรรมที่พึงประสงค์ เช่น การคัดแยกและทิ้งขวดลงในเครื่องอย่างถูกต้อง แล้วได้รับ "ตัวเสริมแรงทางบวก (Positive Reinforcer)" ในทันที เช่น แต้มสะสมหรือคะแนนรางวัล สมองจะเชื่อมโยงพฤติกรรมดังกล่าวเข้ากับความรู้สึกพึงพอใจและความสำเร็จ (Immediate Gratification) ส่งผลให้บุคคลเกิดแนวโน้มที่จะทำพฤติกรรมการคัดแยกขยะซ้ำอย่างต่อเนื่องจนพัฒนาไปเป็นอุปนิสัย (Habit Formation) ที่ยั่งยืน

2) แนวคิดเกมมิฟิเคชัน (Gamification): เป็นการนำกลไกและองค์ประกอบของเกม ได้แก่ คะแนนสะสม (Points) ลำดับความก้าวหน้า (Progression) และของรางวัล (Rewards) มาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมการคัดแยกขยะ เพื่อเปลี่ยนพฤติกรรมที่เคยรู้สึกว่าเป็นภาระหรือน่าเบื่อ

ให้กลายเป็นกิจกรรมที่สนุกสนาน ท้าทาย และสร้างแรงจูงใจทั้งภายใน (Intrinsic Motivation) และภายนอก (Extrinsic Motivation)

3.2 สถาปัตยกรรมและกลไกการทำงานของระบบสะสมแต้ม (System Architecture and Workflow)

ระบบสะสมแต้มของเครื่องแยกขวดอัตโนมัติได้รับการออกแบบให้เชื่อมโยงการทำงานระหว่างฮาร์ดแวร์ ปัญญาประดิษฐ์ และระบบคลาวด์อย่างเป็นระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนการระบุตัวตนผู้ใช้งาน (User Authentication): ก่อนการทิ้งบรรจุภัณฑ์ ผู้ใช้งานจะทำการยืนยันตัวตนที่หน้าตัวเครื่องผ่านหน้าจอสัมผัส (Touchscreen Display) เช่น การกรอกรหัสประจำตัวนักเรียน หรือการสแกนบัตรนักเรียน / QR Code ประจำตัว เพื่อเชื่อมโยงเข้ากับบัญชีผู้ใช้ในระบบฐานข้อมูล

2) ขั้นตอนการตรวจจับ คัดแยก และคำนวณแต้ม (Bottle Sorting & Point Calculation): เมื่อผู้ใช้วางบรรจุภัณฑ์บนสายพาน กล้อง AI จะตรวจจับและจำแนกประเภทบรรจุภัณฑ์ จากนั้นระบบจะคำนวณแต้มสะสมตามประเภทและมูลค่าทางเศรษฐกิจของวัสดุ เช่น:

- ขวดพลาสติกใส PET: ได้รับ 10 แต้ม ต่อ 1 ขวด
- ขวด/กระป๋องอะลูมิเนียม: ได้รับ 20 แต้ม ต่อ 1 ชิ้น
- วัตถุแปลกปลอมหรือขยะที่ไม่รองรับ: ระบบจะไม่ให้แต้ม และสายพานจะหมุนส่งคืนขยะพร้อมแจ้งเตือนบนหน้าจอ

3) ขั้นตอนการประมวลผลและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-Time Cloud Synchronization): บอร์ดประมวลผลจะส่งข้อมูลจำนวนขวดที่คัดแยกสำเร็จและคะแนนที่ได้รับ ผ่านเครือข่าย Wi-Fi ไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ (Cloud Database) เพื่อบันทึกประวัติการทิ้งเข้าสู่บัญชีของผู้ใช้งานทันทีแบบเรียลไทม์

4) ขั้นตอนการแสดงผลและตอบสนองทันที (Instant Visual Feedback): หน้าจอสัมผัสจะแสดงกราฟิกสรุปผลทันที ได้แก่ ภาพวัตถุที่ตรวจจับ จำนวนแต้มที่ได้รับเพิ่ม และยอดแต้มสะสมคงเหลือทั้งหมดในบัญชี

5) ขั้นตอนการแลกของรางวัลและการบริหารจัดการ (Reward Redemption & Management):

- การแลกรางวัล: ผู้ใช้งานสามารถนำแต้มสะสมไปกดแลกของรางวัลได้ที่หน้าจอของเครื่อง เช่น อุปกรณ์การเรียน (สมุด ปากกา ดินสอ) คูปองส่วนลดร้านค้าสหกรณ์/โรงอาหาร หรือชั่วโมงกิจกรรมจิตอาสา
- ระบบหลังบ้านสำหรับผู้ดูแล (Admin Dashboard): ครูและผู้รับผิดชอบสามารถดูสถิติภาพรวม เช่น ปริมาณขยะที่คัดแยกได้ในแต่ละวัน ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ และจัดการสต็อกของรางวัลได้อย่างโปร่งใส

3.3 กรณีศึกษาและนวัตกรรมตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติในปัจจุบัน (Reverse Vending Machine: RVM)

ในระดับอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ แนวคิดการนำระบบสะสมแต้มมาร่วมกับตู้คัดแยกขยะอัตโนมัติได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสบความสำเร็จอย่างสูง เช่น ตู้ CircularOne (Sustaintech), ตู้ Refun และ TRASH EX คณะผู้จัดทำจึงได้นำแนวคิดและสถาปัตยกรรมระบบสะสมแต้มมาปรับประยุกต์และย่อขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงในบริบทของโรงเรียน

ภาพที่ 5: ภาพตัวอย่างตู้รับคืนบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติในปัจจุบัน

ที่มา: https://www.sdthailand.com ; **พ.ศ. 2565**

4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์การตรวจจับ

เพื่อให้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติทรงตู้สี่เหลี่ยมสามารถทำงานร่วมกับระบบสายพานและระบบสะสมแต้มได้อย่างสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำได้เลือกใช้อุปกรณ์ทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์หลายชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังนี้

1. กล้องตรวจจับภาพและบอร์ดประมวลผล (Camera & Raspberry Pi): ทำหน้าที่เป็นดวงตาและสมองกล โดยกล้องความละเอียดสูงติดตั้งอยู่ในอุโมงค์ตรวจจับ ทำหน้าที่บันทึกภาพขวดบนสายพาน ส่งต่อไปยังบอร์ด Raspberry Pi 4 เพื่อรันโมเดล AI ในการประมวลผลและตัดสินใจจำแนกประเภท

2. ชุดสายพานลำเลียงและมอเตอร์ขับเคลื่อน (Conveyor Belt & DC Motor): ทำหน้าที่รับขวดจากผู้ใช้งานและลำเลียงผ่านเข้าสู่อุโมงค์กล้องตรวจจับ สามารถควบคุมทิศทางการหมุนได้ 2 ทิศทาง ทั้งการหมุนไปข้างหน้าเพื่อส่งขวดไปยังจุดคัดแยก และการหมุนย้อนกลับ (Reverse) เพื่อส่งคืนขยะที่ไม่รองรับให้แก่ผู้ใช้งาน

3. เซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor): ติดตั้งบริเวณทางเข้าสายพาน เพื่อตรวจจับเมื่อมีวัตถุวางลงบนสายพาน แล้วส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้บอร์ดประมวลผลเริ่มสั่งการให้สายพานหมุนและเปิดกล้องถ่ายภาพ ทำงานแบบสะท้อนกลับ (Non-Contact Detection) ช่วยประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานของกล้อง

4. มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor): ติดตั้งเข้ากับแผ่นบานพับคัดแยกทิศทาง สามารถควบคุมองศาการหมุนได้อย่างแม่นยำ เพื่อเปิดทางเลือกให้ขวดพลาสติก PET และขวดอะลูมิเนียมตกลงสู่ถังขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง

5. หน้าจอแสดงผลระบบสัมผัสและโมดูล Wi-Fi (Touchscreen Display & Wi-Fi Module): ติดตั้งที่ด้านหน้าตู้สำหรับแสดงผลอินเทอร์เฟซผู้ใช้ ภาพถ่ายสดจากกล้อง ยอดคะแนนสะสม และเมนูแลกรางวัล พร้อมโมดูล Wi-Fi สำหรับซิงค์ข้อมูลกับคลาวด์แบบเรียลไทม์

6. ชุดไฟ LED ส่องสว่างควบคุมแสง (LED Lighting Module): ติดตั้งภายในอุโมงค์ตรวจจับ เพื่อสร้างสภาพแสงสว่างสีขาวที่คงที่ 100% ตลอดเวลา ช่วยกำจัดปัญหาเงาตกกระทบและแสงสะท้อนภายนอก ทำให้ AI วิเคราะห์ภาพได้อย่างแม่นยำสูงสุด

5. การจัดการขยะรีไซเคิล

ปัญหาขยะล้นเมืองในประเทศไทยยังคงเป็นปัญหาสำคัญ โดยเฉพาะขยะบรรจุภัณฑ์อย่างขวดพลาสติก PET และกระป๋องอะลูมิเนียม การแยกขยะก่อนทิ้งจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยพาขยะเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) เพื่อนำกลับมาแปรรูปเป็นวัสดุใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. กระป๋องอะลูมิเนียม: เป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 9.13 กิโลกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัม

2. พลาสติก PET: ใช้เวลาย่อยสลายนาน การคัดแยกขวด PET ใสอย่างถูกต้องจะช่วยให้สามารถนำไปผลิตเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (rPET) และเส้นใยสิ่งทอได้ 100%

6. หลักการทางวิทยาศาสตร์

โครงงานนี้บูรณาการหลักการทางวิทยาศาสตร์ 3 แขนงหลัก ได้แก่:

6.1 หลักการทางฟิสิกส์ การสะท้อนของแสง (Reflection of Light): ใช้ในเซนเซอร์อินฟราเรด (IR Sensor) โดยปล่อยคลื่นแสงอินฟราเรดไปตกกระทบวัตถุบนสายพานแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับ (\theta_i = \theta_r) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแจ้งเตือนระบบ

ภาพที่ 6: การทำงานของ IR Sensor

ที่มา: https://robotsiam.blogspot.com ; **พ.ศ. 2559**

6.2 หลักการทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ การประมวลผลภาพ (Computer Vision): AI แปลงภาพดิจิทัลเป็นเมทริกซ์ตัวเลข (Matrix of Pixels) และใช้โครงข่ายประสาทเทียม

CNN/ResNet สกัดลักษณะเด่นของขวด PET, กระป๋องอะลูมิเนียม และขยะแปลกปลอม เพื่อจำแนกประเภทและควบคุมกลไกสายพานและมอเตอร์

6.3 หลักการทางวิทยาศาสตร์พฤติกรรม แรงเสริมทางบวก (Positive Reinforcement): การมอบแต้มสะสมทันที (Immediate Reinforcer) หลังจากการทิ้งขวดถูกต้อง ช่วยกระตุ้นความพึงพอใจและสร้างนิสัยการคัดแยกขยะที่ยั่งยืน

7. ความพึงพอใจ

7.1 ความหมายของความพึงพอใจ (Satisfaction): สภาพจิตใจและทัศนคติเชิงบวกของบุคคลเมื่อได้รับการตอบสนองตามความคาดหวัง

7.2 องค์ประกอบของความพึงพอใจ: ความคาดหวัง การรับรู้จริง และการเปรียบเทียบ

7.3 วิธีการวัด: ใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า Likert 5 ระดับ (5 = มากที่สุด, 1 = น้อยที่สุด) วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

7.4 การเก็บข้อมูลออนไลน์: ผ่าน Google Forms

7.5 ตัวชี้วัดและหัวข้อการประเมินความพึงพอใจของโครงงาน แบบสอบถามถูกออกแบบมาอย่างรัดกุมเพื่อประเมินความรู้สึกของนักเรียนและบุคคลทั่วไปที่ได้ทดลองใช้เครื่องแยกขวดอัตโนมัติด้วยระบบเอไอ พร้อมระบบสะสมแต้ม โดยมีหัวข้อชี้วัดใน 10 มิติที่สำคัญ ดังนี้

1. ความสะดวกในการใช้งานเครื่อง: ประเมินว่าเครื่องมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ผู้ใช้ไม่ต้องมีความรู้เฉพาะทางก็สามารถเริ่มใช้งานได้ทันที

2. ความแม่นยำในการคัดแยกขวดพลาสติก: ประเมินประสิทธิภาพและความฉลาดของระบบเอไอ (AI) ในการวิเคราะห์ ตรวจจับ และจำแนกประเภทขวดพลาสติกได้อย่างถูกต้อง

3. ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบเอไอ: ประเมินความเร็วตั้งแต่การรับภาพ การวิเคราะห์ จนถึงการสั่งมอเตอร์เซอร์โวให้คัดแยก ว่ารวดเร็วและไม่ทำให้เกิดการต่อคิวสะสมหรือไม่

4. ความน่าสนใจของระบบสะสมแต้ม: ประเมินว่าฟังก์ชันการสะสมแต้มสามารถดึงดูดใจและกระตุ้นให้ผู้ใช้อยากนำขวดมาทิ้งได้มากน้อยเพียงใด

5. ความคุ้มค่าของรางวัลที่ได้รับจากการสะสมแต้ม: ประเมินว่าของรางวัลที่แลกได้มีความสมน้ำสมเนื้อและเหมาะสมกับความพยายามในการสะสมแต้มหรือไม่

6. รูปลักษณ์และความสวยงามของตัวเครื่อง: ประเมินดีไซน์ โครงสร้างภายนอก และความสวยงามที่สามารถดึงดูดสายตาผู้พบเห็น

7. ความปลอดภัยในการใช้งาน: ประเมินว่าเครื่องไม่มีความเสี่ยงหรืออันตรายจากระบบไฟฟ้า และไม่มีชิ้นส่วนที่แหลมคม

8. ความทนทานของตัวเครื่อง: ประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและวัสดุเมื่อต้องรองรับการใช้งานอย่างต่อเนื่องจากคนจำนวนมาก

9. ความพึงพอใจต่อการแสดงผลบนหน้าจอ: ประเมินความลื่นไหล ชัดเจน และความง่ายในการใช้งานผ่านหน้าจอระบบสัมผัส (Touch Screen) ในการแสดงคะแนนและการทำรายการ

10. ความต้องการนำเครื่องไปใช้งานจริงในโรงเรียนหรือชุมชน: ประเมินความเห็นโดยภาพรวมว่าเครื่องนี้มีประโยชน์ คุ้มค่า และควรนำไปติดตั้งใช้งานจริงแบบถาวรหรือไม่

8. โครงงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- บพิตร ไชยนอก และ ฤชานนท์ ศรีราวงค์ (พ.ศ. 2567): ระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติด้วยการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง ความแม่นยำ 95%

- ธานินทร์ ม่วงพูล และ วริยา เย็นเปิง (พ.ศ. 2565): ระบบคัดแยกขวดขยะรีไซเคิลด้วย IoT และเซนเซอร์

- He et al. (2016): โครงข่ายประสาทเทียม ResNet สำหรับการจำแนกภาพความแม่นยำสูง

- Sustaintech (พ.ศ. 2565): ตู้ CircularOne Reverse Vending Machine (RVM) ต้นแบบตู้คืนขวด AI พร้อมระบบสะสมแต้ม