

การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดน้ำดื่มใส่อัตโนมัติด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก ร่วมกับการประมวลผลภาพ และแจ้งผลผ่านไลน์โนติฟาย

Development of PET Bottle Purchasing Machine using Load Cell and Image Processing with LINE Notify

ไกรสร เรือนแก้ว¹ เรวัต อุตโม¹ วัฒนชัย ศรีกรลิน¹ ปรัชญ์ ปิยะวงศ์วิศาล¹ อนุช หอมเสียง¹
และ ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล¹ *

¹ หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Grisorn Reunkaw¹, Rawat Aoutamo¹, Wattanachai Srikrin¹, Pratch Piyawongwisal¹, Anuchon
Homsiang¹ and Kwanchai Eurviriyankul¹ *

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

* ผู้รับผิดชอบบทความ: kwanchai@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-3762-5128

Received: 16 June 2020, Revised: 17 February 2021, Accepted: 30 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดพลาสติกใส่อัตโนมัติ 3 ขนาด และแจ้งเตือนผลการทำงานผ่าน
ไลน์โนติฟาย โดยมีขั้นตอนการทำงานคือ หากผู้ใช้งานระบบไม่เคยใช้งานมาก่อนต้องสมัครสมาชิกผ่านตู้หยอดเหรียญเพื่อสร้าง
บัญชี หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถหยอดขวดลงในช่องรับขวด ระบบจะตรวจสอบว่าขวดมีน้ำหนักอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ด้วย
เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก และใช้ภาพจากกล้องเพื่อตรวจจับว่าเป็นขวดหรือไม่ด้วยสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึก MobileNet-SSD
หากเป็นสิ่งแปลกปลอมระบบจะสั่งให้ เซอร์โวมอเตอร์ ทำการหมุนเพื่อพลิกฐานรองในการคืนสิ่งแปลกปลอมทันที แต่ถ้าเป็นขวด
ระบบจะทำการวัดขนาดของขวดด้วยการอ่านค่าความกว้างของขวด เมื่อได้ค่าน้ำหนักกับขนาดขวดมาแล้ว ระบบจะทำการ
เปรียบเทียบข้อมูลว่าตรงกันหรือไม่ โดยขวดเล็กขนาด 600 ml จะมีค่าจากเซ็นเซอร์ 60-70 หน่วย (ซึ่งเป็นค่าที่อ่านได้จากโมดูล
ขยายสัญญาณ HX711) และขนาดความกว้างอยู่ที่ 171-184 พิกเซล ขวด 750ml จะมีค่าเซ็นเซอร์ 85-90 หน่วย และความกว้าง
อยู่ที่ 186-219 พิกเซลและขวด 1500ml จะมีค่าเซ็นเซอร์ 120-150 หน่วย และความกว้างอยู่ที่ 226-299 พิกเซล ระบบจึงจะทำ
การรับขวดแต่ถ้ามีเงื่อนไขใดไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ก็จะทำการคืนขวด เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ ทำการหมุนคืนขวดหรือรับขวดเสร็จสิ้น
ฝาช่องรับขวดก็จะเปิดให้หยอดเพิ่ม เมื่อรับขวดแล้วระบบจะทำการ บันทึกจำนวนขวดและคำนวณจำนวนเงินเข้าสู่บัญชีผู้ใช้งาน
และส่งข้อความแสดงผลการรับซื้อขวดผ่านไลน์โนติฟาย ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถรับขวด 3 ขนาด ได้ถูกต้องทั้งหมด 26
ครั้งจากจำนวนการทดสอบ 30 ครั้งคิดค่าความถูกต้องเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการทดสอบการปฏิเสธสิ่งแปลกปลอม 3
ประเภทได้แก่ กระดาษ ท่อพีวีซี และแท่งกวาด จำนวน 30 ครั้งระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องทั้งหมดคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์
คำสำคัญ ผู้รับซื้อขวดอัตโนมัติ เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบโหลดเซล การประมวลผลภาพ โมบายเน็ต ไลน์โนติฟาย ราสเบอร์รี่พาย

Abstract

The objective of this research is to develop a prototype machine for purchasing empty plastic bottles of 3 sizes
for recycling with notification via LINE Notify. At the initial use, the user must create an account. The user can
then sign in and insert empty bottles into the front slot. When a bottle is inserted, the system checks whether
the weight is within the specified range by using a weighing sensor. In addition, a camera is used to capture the
object's image and the system determines whether or not it is a bottle using MobileNet-SSD object detector.
If not, a servo motor immediately turned over the tray to return that object. Otherwise, the system proceeds

to measure the size of the bottle by its width. The weight and size of the bottle are then compared to the pre-defined standard values. A 600 ml bottle should weigh between 60-70 unit (which is read by the HX711 amplifier module) and have a width of 171-184 pixels. A 750 ml bottle should weigh between 85-90 units and have a width of 186-219 pixels and a 1500ml bottle should weigh between 120-150 units and have a width of 226-299 pixels. If the conditions are met, the bottle will be accepted, otherwise it was returned by rotating the tray holding the bottle with a servo motor. After accepting the bottle, the system will update the bottle number, make a payment to the account, as well as send a message to the user through LINE Notify. The experiment results showed that the proposed system was able to accept bottles 26 times out of the 30 tests (an accuracy of about 87 percent). In addition, three different types of erroneous objects were tested for rejection including paper, a PVC pipe and a glue stick for 30 times. The system was able to correctly reject such objects with 100 percent accuracy.

Keywords: Automatic Bottle Purchasing Machine, Weight Sensor (Load Cell), Image processing, MobileNets, LINE Notify, Raspberry Pi

1. บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดพลาสติกใสอัตโนมัติ 3 ขนาด และแจ้งเตือนผลการทำงานผ่าน ไลน์โนติฟาย เพื่อสนับสนุนการคัดแยกขวดพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในการคัดแยกขวดนั้นคณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการของการวัดน้ำหนักขวดด้วยเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบโหลดเซลล์ ร่วมกับการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้ในการจดจำและวัดขนาดของความกว้างของขวดเพื่อเพิ่มความถูกต้อง ในการทำงานของระบบ หากค่าที่วัดได้ ไม่สอดคล้องกับค่าที่กำหนดไว้โดยโปรแกรม ระบบจะทำการคืนขวดโดยใช้ เซอร์โวมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับฐานรองขวดหมุน เพื่อพลิกฐานรองให้ขวดไหลลงไปยังช่องคืนขวด แต่หากค่าที่วัดสอดคล้องกับค่าที่กำหนดไว้ในโปรแกรม ระบบจะสั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปในทิศทางกันข้ามเพื่อให้ขวดไหลลงในช่องรับขวด ระบบจะทำการบันทึกค่าน้ำหนักของขวดและจำนวนเงินที่ได้จากการรับซื้อขวดลงฐานข้อมูลของระบบตามบัญชีผู้ใช้งานระบบ โดยผู้ใช้งานระบบจำเป็นต้องลงทะเบียนผู้ใช้งานผ่านหน้าจอแบบระบบสัมผัส และแจ้งผลการรับซื้อผ่านผ่านไลน์โนติฟาย การทดสอบระบบแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหนักของขวดร่วมกับการประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้ในการจดจำและวัดขนาดของขวดพลาสติกทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 87 จากการทดสอบทั้งหมด

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

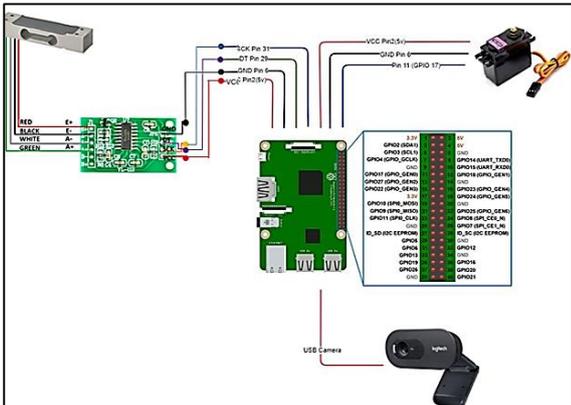
ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจจับวัตถุที่ต้องการเช่น [1, 2] ซึ่งเทคนิคที่สำคัญในการประมวลผลภาพที่ใช้งานงานวิจัยนี้มีดังนี้ SSD: Single

Shot MultiBox Detector [3] เป็นสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการจำแนกและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพโดยวัตถุที่ถูกตรวจจับในภาพจะถูกตีกรอบสี่เหลี่ยมและถูกระบุความเชื่อมั่นว่าวัตถุดังกล่าวเป็นวัตถุประเภทใดซึ่งสถาปัตยกรรมดังกล่าวมีความถูกต้องในการทำงานในการวัดแบบ Mean average precision (mAP) อยู่ที่ประมาณ 23.4 เปอร์เซ็นต์ (ด้วยสถาปัตยกรรม SSD300 mAP@(.5,.95)) บน COCO dataset [4] ซึ่งเป็นชุดข้อมูลรูปภาพที่เผยแพร่โดย Microsoft สำหรับการทดสอบด้านการจดจำและจำแนกวัตถุในรูปภาพ MobileNets [5] เป็นสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่มีความสามารถในการจดจำวัตถุ ซึ่งถูกออกแบบให้มีขนาดโมเดลที่เล็ก เพื่อที่จะสามารถทำงานบนอุปกรณ์แบบพกพาเช่นโทรศัพท์มือถือ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียว (single-board computer) ได้โดยใช้เวลานับน้อยลงเมื่อเทียบกับสถาปัตยกรรมอื่นแต่ก็ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น MobileNetSSD-300 (ขนาดภาพที่ถูกทดสอบในระบบจะถูกลดขนาดให้เป็น300*300 พิกเซล) ได้ค่า mAP@(.5,.95) อยู่ 19.3 percent ในขณะที่จำนวน parameter สามารถลดลงได้ถึง 2 – 5 เท่าตัวจึงทำให้สถาปัตยกรรม MobileNet-SSD ถูกนำมาใช้บนอุปกรณ์มือถือและ single-board computer เช่นราสเบอร์รี่พาย ที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อใช้การตรวจจับขวดในภาพ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการในการวัดความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุในภาพจากบทความ A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms [6] โหลดเซลล์ (Load cells) เป็นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ทำการแปลงค่าความตึงเครียดของ strain gage เป็นสัญญาณไฟฟ้า แต่สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าต่ำจึงมีการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณ HX711 ซึ่งเป็น 24-bit

ลงไปเมื่อมีน้ำหนักขึ้นมามากกว่า 5 หน่วย ระบบก็จะสั่งให้ปิดฝา ช่องรับขวดเนื่องจากมีวัตถุลงไปในเครื่องแล้ว เมื่อ เซอร์โวมอเตอร์ ตัวที่ 1 ที่เชื่อมต่อกับถาดรองรับขวดหมุนกลับยังตำแหน่งเดิม (หมุน 2 ครั้ง เพราะ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ต้องเคลื่อนที่ครั้งแรก ในการ รับ หรือคืนขวดที่เข้ามาสู่ระบบและต้องเคลื่อนที่ครั้งที่สอง ในการหมุนกลับมายู่ในตำแหน่งเดิม) ระบบจะสั่งให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 ทำการเปิดฝาเพื่อให้รับขวดรอบต่อไปทันที

2.2 การออกแบบวงจรของ Hardware

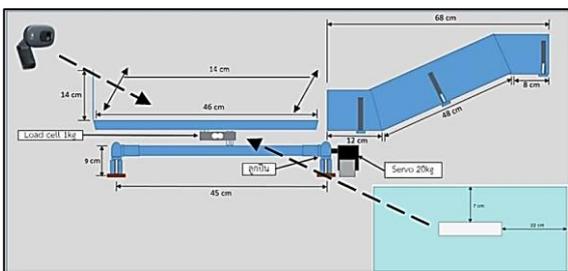
รูปที่ 3 แสดงถึงการเชื่อมต่อใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายโดย โหลดเซลล์แบบแท่งจะเชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณ HX711โดยสายสีแดง ดำ ขาว เขียวจะเชื่อมต่อกับขา E+ E- A- A+ ตามลำดับ output ของ HX711 ได้แก่ GND DT SCK และ VCC จะถูกเชื่อมต่อกับขา 31 29 6 และ 2 ของ Raspberry Pi ตามลำดับ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 ถูกเชื่อมต่อกับ GPIO17 (pin11) และ GPIO27 (pin13) ตามลำดับ



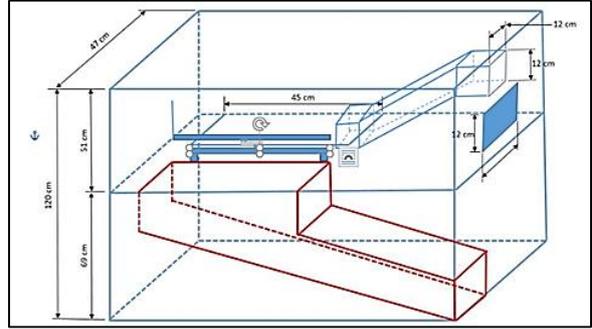
รูปที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของ Hardware

2.3 การออกแบบโครงสร้างภายใน

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงถึงความกว้างและความยาวของโครงสร้างภายในของระบบที่ใช้ในการรองรับขวด ส่วนสำคัญคือถาดที่รองรับขวดเมื่อถูกหยอดเข้าสู่ระบบ จะมีขนาด 14 cm.*26 cm. โหลดเซลล์จะถูกยึดติดตรงกึ่งกลางข้างล่างของถาด USB Webcam ถูกติดตั้งสูงขึ้นไปจากถาด 14 cm. เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่1 จะเชื่อมกับท่อ PVC ที่เชื่อมต่อกับโหลดเซลล์ ดังนั้นการสั่งงาน เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ให้หมุน จึงทำให้เกิดการพลิกของถาดและทำให้เกิดการรับหรือคืนขวดขึ้น



รูปที่ 4 ออกแบบโครงสร้างภายในด้านข้าง



รูปที่ 5 การออกแบบโครงสร้าง 3 มิติ



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่ 6 แสดงการการประกอบและติดตั้งระบบตามโครงสร้างที่ออกแบบไว้ webcam ถูกติดตั้งบนโครง PVC ให้ทำการจับภาพจากถาดรองขวดที่อยู่ด้านใต้ในแนวเฉียง

2.4 หลักการตรวจสอบขวดพลาสติก

เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก (Load Cell) จะทำหน้าที่เช็ค น้ำหนักเมื่อมีสิ่งของเข้ามาไม่ว่าจะเป็นขวดหรือสิ่ง แผลกปลอมที่มีค่าตั้งแต่ 5 หน่วยขึ้นไป (ซึ่งเป็นค่าที่ส่งมาจากแผงวงจร HX711) เมื่อมีน้ำหนักเข้าและอยู่ในช่วงน้ำหนักที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมตามตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ระบบจะอ่านภาพจากกล้อง Webcam และตัดสินใจว่าเป็นขวดหรือไม่ ถ้าระบบตัดสินใจว่าเป็นขวด ระบบก็จะทำการวัดขนาดของขวดโดยวัดเฉพาะแค่ความกว้างเท่านั้น เพราะความยาวทำการวัดได้ยากเนื่องจาก กลไกโครงสร้างทำมา มีขนาดใหญ่เกินไปจึงทำให้ขวดอาจไม่อยู่ตำแหน่งที่กล้องตรวจจับได้เหมาะสม เราใช้ MobileNetSSD ซึ่งเป็นโมเดล ปัญญาประดิษฐ์ที่ได้อธิบายในส่วนที่ 2 โดยผู้สร้างโมเดลได้มีการสอนให้โมเดลดังกล่าวสามารถจดจำรูปแบบวัตถุได้เช่น ขวด รถ แก้ว หมา แมว ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบของเราเพื่อตรวจจับ ขวดพลาสติก และอ่านค่าความกว้างของขวดมาเปรียบเทียบกับค่าที่เราได้ทดสอบกับขวดต้นแบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำจดจำและจำแนกขวด ซึ่ง เราได้กำหนดตัวแปรความกว้างให้มีชื่อว่า w (ความกว้าง) ส่วน h (ความสูง) ซึ่งค่านี้ไม่ได้นำมาใช้ เพราะฐานที่ขวดวางอยู่มีขนาดใหญ่เกินไป อาจทำให้เกิดความผิดพลาดง่าย ส่วนตัวแปรที่ใช้ในการทำงานของระบบอีกหนึ่งตัวแปรคือ Bottle ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นของระบบว่าเป็นขวด และมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่าง เช่น รูปที่ 7 แสดงผลการ

ตรวจสอบขวดพลาสติกที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ โดยขวดดังกล่าว มีความกว้าง (w) เป็น 228 พิกเซล และความสูง (h) เป็น 554 พิกเซล อย่างไรก็ตามเราสามารถสังเกตได้ว่าความสูงนั้น ไม่ใช่ ความสูงทั้งหมดของขวดพลาสติกเนื่องจากภาพที่กล้องจับได้ไม่ ครอบคลุมส่วนท้ายของขวด เราจึงไม่นำความสูงมาพิจารณา

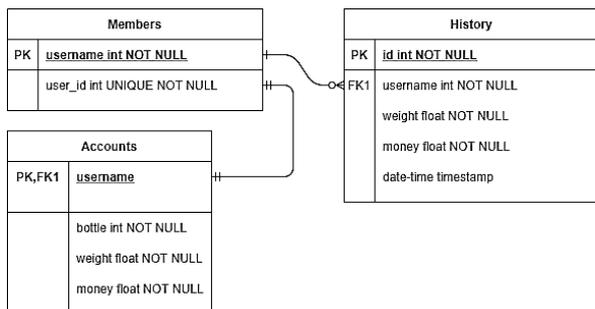


รูปที่ 7 ภาพตัวอย่างผลการตรวจสอบและรับขวดพลาสติก โดยระบบสามารถระบุได้ว่าวัตถุที่ถูกป้อนเข้าไปเป็น ขวดและค่าความเชื่อมั่นเป็น 84.99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเงื่อนไขในการตรวจสอบครบถ้วนคือ มีน้ำหนัก และค่าความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นต่ำสุดที่ยอมรับได้คือค่าความน่าจะเป็นอยู่ที่ 0.2) ระบบจะทำการรับ ขวดโดยสั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนตามเข็มนาฬิกา ไปอีก 35 องศาเพื่อทำให้ฐานรองขวดพลิกและทำให้ขวดลง ทางช่องเก็บด้านขวามือและหมุนกลับมายังตำแหน่งเดิม

หากระบบตรวจสอบแล้วพบว่าไม่ใช่ขวดหรือน้ำหนัก หรือความกว้างของขวดไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ระบบจะ สั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนทวนเข็มนาฬิกาไปอีก 20 องศาเพื่อคืนสิ่งแปลกปลอมและหมุนกลับมายังตำแหน่ง เดิม หลังจากนั้นระบบจะทำการบันทึกข้อมูลของขวดลงสู่ บัญชีผู้ใช้งานในฐานะข้อมูลของระบบที่ทำงานใน Raspberry Pi ต่อไป

2.5 ฐานข้อมูลของระบบ

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดง Entity-Relationship Diagram และตัวอย่างข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ในตาราง History ตามลำดับ โดยตาราง History มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเก็บ บันทึกประวัติในการใช้งานระบบของ user แต่ละคน



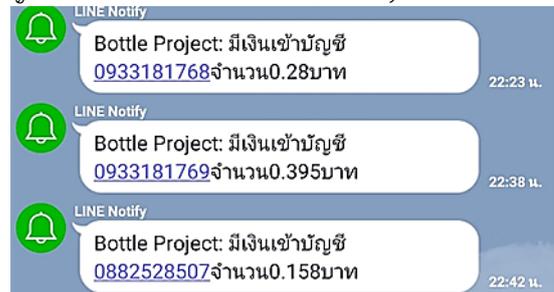
รูปที่ 8 Entity-Relationship Diagram ของระบบ

Options	id	username	bottle	weight	money	date-time
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	2	0933181768	2	234	2.87	2020-05-29 15:43:17
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	3	0933181769	4	0	0.56	2020-05-29 15:46:26
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	4	0933181768	0	227	0	2020-05-29 15:50:25
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	5	0933181768	1	164	0.14	2020-05-29 15:54:16
<input type="checkbox"/> Edit <input type="checkbox"/> Copy <input type="checkbox"/> Delete	6	0933181768	4	375	0.377	2020-05-29 15:56:42

รูปที่ 9 ตัวอย่าง Relational Instance ของตาราง History โดยเรากำหนดให้ username เป็นเบอร์โทรศัพท์ของผู้ใช้งาน เพื่อใช้ในการระบุตัวตนของผู้ใช้งาน ส่วนตาราง Accounts นั้นเป็นตารางชั่วคราวที่ใช้เก็บข้อมูลของการใช้งานระบบใน ครั้งล่าสุดโดยเมื่อผู้ใช้งานไม่ประสงค์ที่จะป้อนขวดเข้าสู่ระบบ แล้ว ผู้ใช้งานจะทำการกดปุ่มสิ้นสุดการทำงานที่ปรากฏบน หน้าจอ หลังจากนั้นระบบจะทำการ update ข้อมูลล่าสุดของ จำนวนขวด จำนวนเงิน และน้ำหนักรวมลงในตาราง Accounts ซึ่งกระบวนการทำงานส่วนนี้จะเป็นส่วนของ โปรแกรมที่เขียนด้วย ภาษาไพทอน ซึ่งใช้ในการวัดค่าน้ำหนัก และตรวจสอบขวด (detection.py) หลังจากนั้นก็จะเป็นการ แจ้งผลการทำงานให้ผู้ใช้งานผ่านไลน์โนติฟาย

2.6 การแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟาย (LINE Notify)

หลังจากที่มีการ update ข้อมูลของขวดที่ระบบได้ รับเข้าสู่ฐานข้อมูลที่ติดตั้งใน Raspberry Pi ในตาราง Accounts แล้วโปรแกรมที่ทำงานในส่วนของการแสดงผล ออกหน้าจอ (cong.php) ก็จะมีการดึงข้อมูลล่าสุดของการ ป้อนขวดจากรายการ Accounts และส่งข้อมูลผ่านไลน์โนติ ฟายโดยการเรียกใช้ API ตาม URL <https://notify-api.line.me/api/notify> โดยผู้ใช้งาน จะต้องกำหนดค่าโทเคนที่ได้จากการสมัครใช้งานไลน์โนติฟาย (access token) และข้อความที่ต้องการส่ง ยกตัวอย่างเช่น \$sToken = "d02qO00bBRIgNPIOxvB5..."; \$sMessage = "มีเงินเข้าบัญชี"



รูปที่ 10 ตัวอย่างการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการแจ้งเตือนข้อมูลการใช้งาน ระบบล่าสุดผ่านโปรแกรมไลน์โนติฟาย ซึ่งหลังจากที่ระบบได้ ส่งข้อมูลเสร็จแล้วระบบจะทำการ insert ข้อมูลการใช้งาน ล่าสุดลงตาราง History เพื่อเก็บเป็นประวัติการใช้งานระบบ และ update ตาราง Account ในส่วนของผู้ใช้งานระบบให้มี ค่าจำนวนขวด (bottle) น้ำหนัก (weight) และเงิน (money) ให้เป็น 0 เพื่อรองรับการใช้งานครั้งต่อไปของผู้ใช้รายดังกล่าว

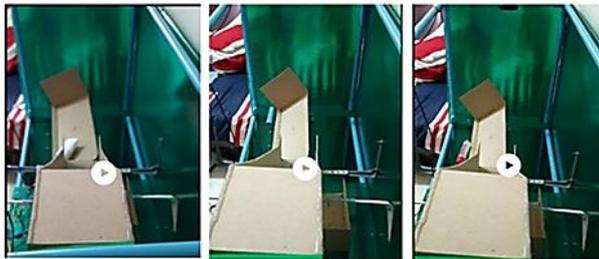
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบโดยการป้อนขวด 3 ขนาด (600ml, 750ml และ 1500ml) ขนาดละ 10 ครั้ง และได้มีการทดสอบระบบด้วยการป้อนสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ระบบจำนวน 3 ประเภท (กระดาษ, ท่อ PVC และ แท่งกาว)



รูปที่ 11 ตัวอย่างภาพการตรวจสอบขวดทั้ง 3 ขนาด

รูปที่ 11 แสดงภาพตัวอย่างของการตรวจสอบขวดทั้ง 3 ขนาดที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบและระบบทำการตรวจสอบว่าเป็นวัตถุที่เป็นขวด โดยระบุถึงความมั่นใจว่าเป็นขวดเป็น 99.56%, 99.34% และ 84.99% และความกว้างของขวดเป็น 162 พิกเซล, 185 พิกเซลและ 228 พิกเซล สำหรับขวดขนาด 600ml, 750ml และ 1500ml ตามลำดับ



รูปที่ 12 ตัวอย่างการป้อนสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ระบบ

รอบ/ วิธี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าความ แม่นยำ
600ml	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	90%
750ml	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	80%
1500ml	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	90%
สิ่งแปลกปลอม แบบกระดาษ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%
สิ่งแปลกปลอม แบบท่อ PVC	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%
สิ่งแปลกปลอม แบบแท่งกาว	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการทดลองของระบบ

ตารางที่ 2 แสดงผลการการทดสอบระบบด้วยขวดจำนวน 3 ประเภทและสิ่งแปลกปลอมจำนวน 3 ประเภทผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรับขวดได้ถูกต้องเป็น 90%, 80% และ 90% สำหรับขวดขนาด 600ml, 750ml และ 1500ml ตามลำดับสำหรับการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง และระบบสามารถตรวจสอบและคืนสิ่งแปลกปลอมทั้ง 3 ประเภทได้ทุกครั้งจากการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง จากรูปที่

12 เราสามารถสังเกตเห็นได้ว่าระบบจะทำการพลิกแท่นรองรับขวดให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อทำการคืนวัตถุแปลกปลอมออกจากระบบ ความผิดพลาด 4 ครั้ง (x) ในการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ขวดขนาด 600 ml รอบที่ 10 เกิดจากการไหลของขวดที่ไม่ตรงตามตำแหน่งของกล้องในการวัดขนาดความกว้างและอยู่จุดที่เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักได้ไม่ถูกต้อง

2. ขวดขนาด 750 ml รอบที่ 4 เกิดจากแสงสะท้อนเข้ามาในตู้ทำให้กล้องวัดค่าความกว้างแปรปรวน วัดความกว้างของขวดได้มากเกินไปที่กำหนดไว้

3. ขวดขนาด 750ml รอบที่ 8 เกิดจากการไหลติดขอบของฐานวางจึงทำให้ไหลลดเซลวัดน้ำหนักได้น้อยทำให้ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด

4. ขวดขนาด 1500ml รอบที่ 7 เกิดจากการป้อนขวดแล้วตำแหน่งที่ไหลลงของขวดเอียงไปด้านขวาทำให้กล้องวัดค่าความกว้างได้มากเกินไปที่กำหนดไว้

ดังนั้นเราสามารถสรุปถึง 5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องในการตรวจสอบขวด คือ 1. ตำแหน่งของขวดบนแท่นวัดน้ำหนัก 2. แสงสะท้อน 3. การป้อนขวดเข้าสู่ช่องป้อนไหลที่ไม่ดี 4. กล้อง 5. ระยะจากกล้องถึงขวดพลาสติก

4. บทสรุป

คณะผู้วิจัยที่สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดน้ำดื่มไฮโดรเจนมัตติด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักร่วมกับการประมวลผลภาพ และแจ้งผลผ่านไลน์โนติฟาย โดยระบบสามารถรับขวดเปล่าได้ 3 ขนาดคือ 600ml, 750ml และ 1500ml. ระบบใช้น้ำหนักของขวดวัดโดยไหลลดเซลและภาพของขวดจับภาพโดยกล้อง USB webcam เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าวัตถุที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบนั้นเป็นประเภทของขวดที่ต้องการหรือไม่ โดยน้ำหนักของขวดต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดและภาพของขวดจะถูกนำเข้าสู่ระบบการเรียนรู้เชิงลึกที่มีสถาปัตยกรรมแบบ MobileNetSSD-300 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะระบุว่าภาพของวัตถุดังกล่าวเป็นขวดน้ำที่ความน่าจะเป็นเท่าไรและมีความกว้างของขวดเท่าไร หากวัตถุที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบมีเงื่อนไขถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรมระบบก็ทำการรับขวดบันทึกข้อมูลจำนวนขวดน้ำหนัก และราคาของการรับซื้อขวดเข้าสู่ฐานข้อมูล หลังจากนั้นระบบจะทำการแจ้งผลการทำงานให้ผู้ใช้ทราบผ่านไลน์โนติฟาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจากการทดลอง 30 ครั้งระบบสามารถรับขวดน้ำได้ถูกต้องเป็น $(90+80+90)/3 = 86.7\%$ และระบบสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม 3 ประเภทได้แก่ กระดาษ ท่อ PVC และ แท่งกาวได้ถูกต้อง 100% ความผิดพลาดในการตรวจสอบขวดของระบบเกิดจากหลายปัจจัยยกตัวอย่างเช่น ตำแหน่งของขวดบนแท่นรองรับ

หรือภาพของขวดที่ถูกจับได้จากกล้อง และปัญหาสำคัญของเครื่องต้นแบบนี้คือไม่สามารถโอนเงินเข้าบัญชีของสมาชิกได้ทันทีเนื่องจากระบบการโอนเงิน ณ ปัจจุบันผ่านอินเทอร์เน็ตยังไม่สนับสนุนในการโอนจากบัญชีแบบอัตโนมัติ

ผู้ที่สนใจสามารถศึกษา source code ของงานวิจัยนี้ได้จาก <https://github.com/DBMSRmutl/waterbox>

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณาจารย์ และบุคลากรทุกท่าน รวมถึงครอบครัวที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Laopracha N, Saisangjan U, Chamchong R. Method development for verification the complete ancient statues by image processing. Engineering and Applied Science Research. 2015;42(2),203-210. Available from: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/easr/article/view/34905> [Accessed 11th February 2021]
- [2] Zhao ZQ, Zheng P, Xu ST, Wu X. Object Detection With Deep Learning: A Review. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2019;30(11):3212-32. Available from: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865> [Accessed 11th February 2021].
- [3] Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu C-Y, Berg AC. SSD: Single Shot multibox detector. In European conference on Computer vision 2016 Oct 8 (pp.21–37).Springer,Cham.
- [4] Lin TY, Maire M, Belongie S, Hays J, Perona P, Ramanan D, Dollar P,Zitnick CL. Microsoft COCO: Common Objects in Context. In European conference on computer vision 2014 Sep 6 (pp.740-755).Springer,Cham.
- [5] Howard AG, Zhu M, Chen B, Kalenichenko D, Wang W, Weyand T, Andreetto M, Adam H. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861. 2017 Apr 17.
- [6] Padilla R, Netto SL, da Silva EA. A Survey on performance metrics for object-detection algorithms. In 2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP) 2020 Jul 1 (pp. 237–242). IEEE.
- [7] Chattoraj S, Bhowmik S, Vishwakarma K, Roy P. Design and implementation of low cost electronic toll collection system in India. 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)2017 Feb 22 (pp. 1–4). IEEE.