



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

เครื่องนับลูกไก่

Chick counting machine

อิสราภรณ์ อมรสวัสดิวัฒนา* ศุภฤกษ์ จันทรสุksen อลงกรณ์ นมะหุด

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมืองัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แขวงวงศ์สว่าง เขต
บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Issaraporn Amornsawatwattana* Suparoek Junsupasen Alongkorn Namahoot

Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology
North Bangkok, Bangkok 10800

* Corresponding author.

E-mail: issaraporn.a@eng.kmutnb.ac.th; Telephone: 08 9453 8344

วันที่รับบทความ 7 มิถุนายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 30 กรกฎาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ คือ การออกแบบและสร้างเครื่องนับลูกไก่แทนการใช้แรงงานมนุษย์ที่อาจเกิดความผิดพลาดจากการนับเนื่องจากการเหนื่อยล้า ผู้วิจัยได้ใช้การประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ด้วยบอร์ดเจตสันนาโน ดีวาร์อปเปอร์ คิท 4 จีไบต์ (Jetson Nano Developer Kit 4GB) ติดตั้งระบบปฏิบัติการตระกูลลินุกซ์ ในชื่ออูบุนตุ (Ubuntu) ติดตั้งซอฟต์แวร์โอเพ่นซีวี (OpenCV), ไพทอน (Python), คูดา (CUDA), โยโล (YOLO) และอื่นๆ ใช้งานร่วมกับกล้องเว็บแคม nubwo (Webcam Nubwo) แสดงผลผ่านจอแอลซีดี (LCD) 7 นิ้ว ซึ่งได้ทำการทดลองกับลูกไก่ที่ความเร็วของสายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที และ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยผลการตรวจนับเมื่อปล่อยลูกไก่บนสายพานทีละ 1 ตัว ความเร็วของสายพานที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการตรวจนับ เมื่อปล่อยทีละ 2-3 ตัว เมื่อความเร็วของสายพานมากขึ้นจะทำให้ค่าผิดพลาดของการตรวจนับมากขึ้น และปล่อยลูกไก่บนสายพานทีละ 5 ตัว ยิ่งเพิ่มความเร็วมากขึ้นความถูกต้องของการตรวจนับยิ่งน้อยลงเท่านั้น ประกอบกับลูกไก่มีการขยับตัวบนสายพานทำให้ผลการตรวจนับมีค่าผิดพลาดมากขึ้น โดยเฉพาะการปล่อยลูกไก่ทีละหลาย ๆ ตัว ที่ความเร็วของสายพานมากขึ้น เครื่องนับลูกไก่ที่จัดสร้างขึ้นมาเป็นเพียงเครื่องต้นแบบเท่านั้นหากเป็นการทำงานจริงในฟาร์ม จะต้องมีการพัฒนาต่อโดยใช้บอร์ดที่มีระบบประมวลผลขนาดใหญ่และประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้

คำสำคัญ

เครื่องนับลูกไก่ โปรแกรมลาเบล โปรแกรมโรโบโฟล์ว์ เว็บไซต์โคแลบ

Abstract

This research paper aims to design and build a chick counting machine instead of manual labor that may cause counting errors due to fatigue. The author used a Jetson Nano Developer Kit 4GB board and installed the Ubuntu operating system, Python, Cuda, YOLO, and displayed it on a 7-inch LCD. The authors conducted experiments on real chicks at belt speeds of 0.2 m/s and 0.5 m/s. By counting when one chick was released onto the conveyor, the increased belt speed had no effect on the count. When 2-3 units are released, the higher the belt speed, the greater the counting error. When 5 chicks are released on the conveyor, the higher the speed, the less accurate the counting. In addition, the chicks move on the belt, which makes the counting result more error prone. In particular, the release of chicks at once and the speed of the belt are increased. The chick counting machine is only a prototype if it is actually used on the farm. It will have to be further developed using a board with a larger processor and higher performance.

Keywords

chick counting machine; labellmg; roboflow; google colab

1. บทนำ

จากการที่ผู้วิจัยได้ไปศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในฟาร์มไก่แห่งหนึ่ง พบว่ามีขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญและยังไม่ได้รับการแก้ปัญหาคือการนับลูกไก่ก่อนบรรจุและส่งออก ซึ่งต้องใช้แรงงานคนหลายอัตราในการนับจำนวนลูกไก่หลายแสนตัวใส่กล่องเพื่อส่งออกจากฟาร์ม ซึ่งจำเป็นต้องใช้สมาธิและความแม่นยำในการนับเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น แต่การใช้แรงงานคนนั้นในการนับนั้นย่อมมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ฟาร์มไก่แห่งนี้จึงมีความต้องการเครื่องนับลูกไก่เพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดและประหยัดแรงงานคนรวมถึงค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างลูกจ้างในฟาร์มเนื่องจากปัจจุบันการทำงานในอุตสาหกรรมมีการใช้งานระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : (AI) เข้ามาช่วยในการทำงานหรือมีส่วนร่วมในการใช้ชีวิตประจำวัน โดยทำให้เครื่องจักร (Machine) ที่มีฟังก์ชันที่มีความสามารถในการทำความเข้าใจ เรียนรู้องค์ความรู้ต่างๆ อาทิเช่น การรับรู้ การเรียนรู้ การให้เหตุผล และการแก้ปัญหาต่างๆ ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอที่จะนำระบบปัญญาประดิษฐ์เข้ามาแก้ปัญหาในการทำงานที่เกิดขึ้นในการนับลูกไก่ ที่เกิดขึ้นในฟาร์มไก่แห่งนี้

จากปัญหาข้างต้นบทความนี้จะเป็นการสร้างเครื่องนับลูกไก่ ซึ่งจะมีการทำโมเดลและทำการใส่โค้ดในการติดตามวัตถุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ใช้อาคูยโน้และเซ็นเซอร์วัดแสงในการควบคุม PMW เพื่อควบคุมหลอดไฟให้ได้แสงสว่างตามความเหมาะสม โดยหลักการทำงานของเครื่องนับลูกไก่นั้นเสมือนหลักการทำงานของเครื่องนับจำนวนรถยนต์บนท้องถนนแบบอัตโนมัติ โดยการใช้กล้องและโปรแกรมจดจำรถยนต์ ใบหน้าหรือยานพาหนะอื่นๆ แล้วนับจำนวนรถที่วิ่งผ่านบนท้องถนนมาประยุกต์ใช้โดยกล้องและโปรแกรมจะนับเพียงลูกไก่ที่ผ่านมายังเครื่องนับทางสายพาน และสไลด์ลงกล่องลังกระดาษเพื่อเตรียมการส่งออกจากฟาร์มต่อไป

จากการทบทวนปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้สร้างเครื่องนับลูกไก่ ได้ดังนี้ ในปี พ.ศ. 2563 นายเพชร อินทนนท์, และนายสุรศักดิ์ เหมือนสิงห์ บทความนี้มี

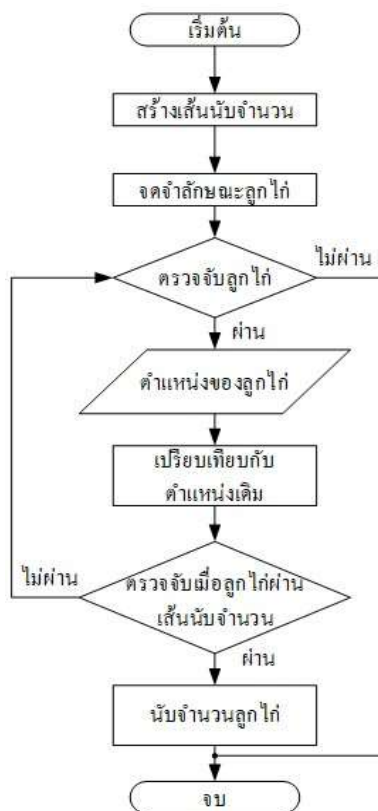
วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างใบหน้าจากการถ่ายภาพวิดีโอและตรวจจับอาการง่วงนอน นอกจากนี้ระบบยังดำเนินการเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้จุดสังเกตบนใบหน้าสามารถช่วยสร้างส่วนประกอบของดวงตาและปากได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถช่วยในการสร้างสมการเพื่อวิเคราะห์อาการง่วงนอนได้อย่างถูกต้อง โดยใช้เป็นเครื่องมือที่ประเมินภาพได้อย่างแม่นยำ มีการติดตามการเคลื่อนไหวของดวงตาที่ปิดมากกว่า 35 FPS หรือ 1.5 วินาที และการหาหรืออำปากมากกว่า 50 FPS เท่ากับ 2 วินาที บ่งบอกถึงความเป็นไปได้ของการง่วงนอน ซึ่งจะแจ้งให้คนขับทราบ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่ารัฐบาลควรสนับสนุนระบบและดำเนินนโยบายประเทศไทยเพื่อลดอุบัติเหตุทางรถยนต์จากการนอนไม่หลับ [1], ในปี พ.ศ. 2553 T. Chen, C. Chen, D. Wang, และ Y. Kuo. ได้ใช้หลักการประมวลผลทางภาพในการตรวจจับใบหน้าของบุคคลและทำการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำโดยตรวจนับบุคคลในสถานที่ที่แตกต่างกัน 3 สถานที่ เพื่อให้แน่ใจว่าอัลกอริทึมที่ใช้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ และสามารถตระหนักถึงประสิทธิภาพของระบบ สถานที่แรกอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคาร สถานที่ที่สองอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมกลางแจ้ง และสถานที่ที่สามอยู่ที่สถานีรถไฟ ความแม่นยำทำได้ 100%, 83% และ 80% ตามลำดับ ข้อผิดพลาดเกิดขึ้น คือ เมื่อใบหน้าของมนุษย์ถูกปกคลุมด้วยมาสก์หรือผมเป็นต้น [2], ในปี พ.ศ. 2553 J. W. Choi, X. Quan and S. H. Cho ได้พัฒนาการตรวจจับภาพของข้าวโพดที่หัก เพื่อวิเคราะห์การตรวจหาความเสียหายของข้าวโพดตามขั้นตอนวิธีการปรับ โฟกัส เมื่อไม่นานมานี้เครื่องจักรจำนวนมากถูกนำมาใช้ในการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยว โดยใช้ Deep Neural Network (DNN) เป็นเครื่องมือที่ประเมินภาพได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถตรวจจับวัตถุทั่วไปจำนวนมากและเร็วพอที่จะทำงานบนอุปกรณ์โทรศัพท์ได้ [3]

2. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยจะกล่าวถึงภาพรวมของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไปจนถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย แสดงวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 แผนผังขั้นตอนการทำงาน

จากการออกแบบการทำงานของเครื่องนับลูกไก่ ได้เลือกใช้ภาษาไพทอนในการเขียนชุดคำสั่งนับจำนวน รวมถึงเลือกใช้ไลบรารีโอเพ่นซีวี ซึ่งเป็นไลบรารีที่ใช้ในงานประมวลผลภาพและใช้โมเดลอัลกอริทึมโยโลวี 5 ในการจดจำลักษณะลูกไก่เพื่อประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ โดยสามารถเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องนับจำนวนลูกไก่

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องนับจำนวนลูกไก่นี้มีดังนี้

- เจ็ตสันนาโน ดีวโรปเปอร์ คิท 4 จิกะไบต์ (Jetson Nano Developer Kit 4GB) [4]

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ โดยตัวบอร์ดได้ติดตั้ง จีพียู (GPU) ของค่าย (Nvidia) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานวิจัยทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก สามารถพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์บนบอร์ดขนาดเล็กได้ง่าย และสามารถใช้สำหรับงานที่ประมวลผลเกี่ยวกับ (machine learning, image processing, AI) ปัจจุบันการใช้ระบบสมองกลฝังตัวตระกูลเอ็นวีเดีย เจตสัน มีความนิยมมากขึ้น เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พลังงานต่ำ ทำให้มีความสามารถในการประมวลผลภาพสูง และอนุญาตให้ใช้ฟังก์ชันควบคู่กันได้ เนื่องจากเป็นแพลตฟอร์มที่มีหน่วยประมวลผลกราฟิกจีพียู ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลภาพที่ดี จึงถูกนำไปใช้งานในแอปพลิเคชันเป็นจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บอร์ดเจ็ตสันนาโน ดีวโรปเปอร์ คิท (Jetson Nano Developer Kit) [4]

- จอแอลซีดี ราสเบอร์รี่พาย (LCD Raspberry Pi) [5] ความละเอียด (HD 1024x600) พร้อมหน้าจอสัมผัส 7 นิ้วแบบ (capacitive) ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับราสเบอร์รี่พาย แต่ไม่เพียงแต่สำหรับราสเบอร์รี่พายเท่านั้น สามารถนำไปใช้งานเป็นจอแสดงผล (HDMI) ทั่วไป และสามารถใช้กับมินิพีซีเครื่องอื่นเพื่อเป็นจอคอมพิวเตอร์ได้ สามารถใช้ฟังก์ชัน (Multi-Touch) กดพร้อมๆ กัน 4 จุด กับระบบวินโดวส์ 10 เดสท็อปปนเครื่องพีซี ที่ความละเอียดสูงสุด 1920x1080 โดยไม่ต้องติดตั้งไดรฟ์เวอร์ สามารถใช้ฟังก์ชัน (Touch) กับระบบวินโดวส์ 10 IOT ที่ความละเอียดสูงสุด 1024x600 โดยไม่ต้องติดตั้งไดรฟ์เวอร์ สามารถใช้ฟังก์ชัน (Multi-Touch) กดพร้อมๆ กัน 4 จุด แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 จอแอลซีดี ราสเบอร์รี่พาย (LCD Raspberry Pi) [5]

- กล้องเว็บแคมนับโว เอ็นดับเบิลยูซี-500 (webcam nubwo nwc-500) [6]

เชื่อมต่อบอร์ดเจตสันนาโนด้วยพอร์ต (USB) เว็บแคม (webcam) หรือ เว็บแคมเรา (web camera) อุปกรณ์อินพุตที่สามารถจับภาพเคลื่อนไหวในรูปแบบเรียลไทม์และส่งเอาต์พุตข้อมูลไปปรากฏที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4

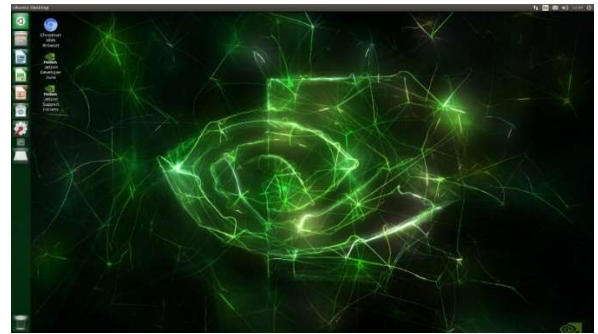


รูปที่ 4 เว็บแคมนับโว เอ็นดับเบิลยูซี-500 [6]

- ระบบปฏิบัติการอุบุนตุ (Ubuntu) [7]

ระบบปฏิบัติการอุบุนตุ (Ubuntu) เป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิด (Open Source) ที่สามารถให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ อุบุนตุมีพื้นฐานมาจากลินุกซ์ดิสทริบิวชัน (Linux distribution) ที่พัฒนาต่อมาจากเดเบียน (Debian) และประกอบไปด้วยซอฟต์แวร์ฟรีและเสรีเป็นส่วนใหญ่ อุบุนตุมีทั้งหมด 3 รุ่น ได้แก่ เดสก์ท็อป, เซิร์ฟเวอร์ และคอร์ เป็นต้น

อุบุนตุ ออกรุ่นใหม่ทุกๆ 6 เดือน โดยออกรุ่นแอลเอสที (LTS) ทุกๆ 2 ปี รุ่นปัจจุบัน ค.ศ. 2021 ของอุบุนตุ คือ 21.04 โดยจะได้รับการสนับสนุน 9 เดือน และรุ่นแอลเอสที ปัจจุบันของอุบุนตุ คือ 20.04 ซึ่งจะได้รับการสนับสนุนถึงปี 2025 สำหรับการสนับสนุนแบบปกติ และปี 2030 สำหรับการสนับสนุนแบบเสียค่าใช้จ่าย แสดงดังรูปที่ 5

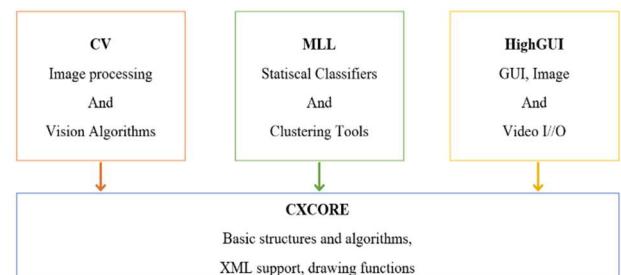


รูปที่ 5 ระบบปฏิบัติการอุบุนตุนบนบอร์ดเจตสัน นาโน [7]

- ไบรารี โอเพ่นซีวี (OpenCV) [8]

โอเพ่นซีวี (OpenCV) มาจากคำว่า “Open Source Computer Vision Library” ถูกพัฒนาขึ้นโดย อินเทล (Intel) เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ (Image Processing) และงานด้านการมองของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) เช่น ความสามารถในการเบลอ เพิ่มความคมชัดของภาพ และความสามารถในด้านลดสัญญาณรบกวน (noise) ขอบเขตการใช้งานของโอเพ่นซีวีค่อนข้างกว้าง มีความสามารถหลากหลาย นอกจากรูปภาพธรรมดาแล้วยังใช้จัดการกับวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ (Real - Time)

โดยโอเพ่นซีวี ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษาซี (C) และ ซีพลัสพลัส (C++) รองรับงานลักษณะมัลติคอร์ (Multi-Core) เมื่อต้องการใช้งานต้องเขียนโปรแกรมเพื่อเรียกใช้โอเพ่นซีวี จึงไม่ยึดติดกับระบบปฏิบัติการใดๆ ไม่ยึดติดกับโปรแกรมที่เลือกใช้ภาษาที่นิยมเขียนโปรแกรมและเรียนรู้ใช้ไลบรารี โอเพ่นซีวี เช่น ซี (C), ซีพลัสพลัส (C++), ไพทอน (Python), แมตแล็บ (MATLAB), รูบี้ (Ruby) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างของไลบรารี โอเพ่นซีวี [8]

จากรูปที่ 6 สามารถอธิบายโครงสร้างทั้งหมดได้ดังนี้

- CV ประกอบด้วย อัลกอริทึมทางด้านประมวลผลภาพ และวิเคราะห์รูปภาพ ข้อมูล 2 มิติ การประมวลผล

ภาพเคลื่อนไหว การรู้จำ ฟังก์ชันที่สนใจ เช่น การหาขอบมุม
ภาพ การทำ Histogram

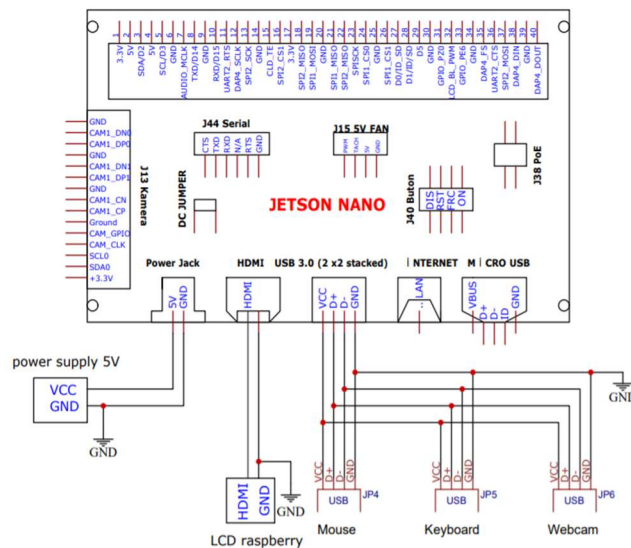
- MLL หรือ Machine Learning ประกอบได้ด้วยข้อมูลและเครื่องมือทางสถิติเพื่อทำนายผลลัพธ์ออกมา การแยกคลาส การแบ่งกลุ่มข้อมูลฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณทางสถิติ

- HIGHGUI คือ ฟังก์ชันเน้นทางสื่อสารกับลูกค้า เกี่ยวกับระบบ I/O เช่นการโหลดภาพ บันทึกภาพติดต่อกับกล้องวิดีโอ สร้างหน้าต่าง แสดงภาพ ตรวจสอบเมาส์ แป้นพิมพ์

- CXCORE คือ ฟังก์ชันที่อธิบายถึงโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) เช่น ขนาดอาเรย์ หน่วยความจำ คำสั่งวาดภาพ ประกาศตัวแปร ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

2.3 การออกแบบการเชื่อมต่อและการต่อใช้งานของรีจิสเตอร์

การต่อใช้งานบอร์ดเจ็ดสีสน นาโน โดยเริ่มจากต่ออะแดปเตอร์ 5 โวลต์/ 4 แอมป์ เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด ต่อมาเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตได้แก่ เมาส์, คีย์บอร์ด, กล้องเว็บแคม เชื่อมต่อด้วยสายยูเอสบี (USB) ซึ่งบอร์ดมีพอร์ต USB 3.0 อยู่จำนวน 4 พอร์ต ซึ่งเพียงพอกับการเชื่อมต่อ ในส่วนของหน้าจอแอลซีดี มีหน้าที่เป็นเอาต์พุตเชื่อมต่อกับสาย HDMI โดยรูปที่ 7 แสดงการออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ และรูปที่ 8 แสดงขั้นตอนการต่ออุปกรณ์ใช้งาน



รูปที่ 7 การออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์

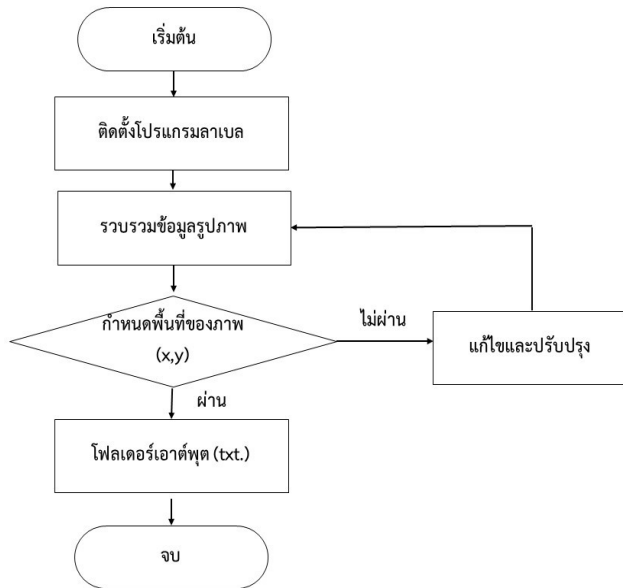


รูปที่ 8 ขั้นตอนการต่ออุปกรณ์ใช้งาน

2.4 แผนผังขั้นตอนโปรแกรม

2.4.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรมลาเบล

แผนผังนี้เป็นขั้นตอนการทำงานรวบรวมข้อมูลรูปภาพและการทำงานในโปรแกรมลาเบลเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเทรนโมเดล แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ขั้นตอนการทำงานโปรแกรมลาเบล

2.4.2 แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรมโรโบโฟล์ว

แผนผังนี้เป็นขั้นตอนการทำงานโปรแกรมโรโบโฟล์ว เพื่อเพิ่มฟังก์ชันให้กับชุดข้อมูลรูปภาพให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงาน แสดงดังรูปที่ 10

2.4.3 แผนผังขั้นตอนการเทรนโมเดลลูกไก่ด้วยกูเกิลโคแลบ

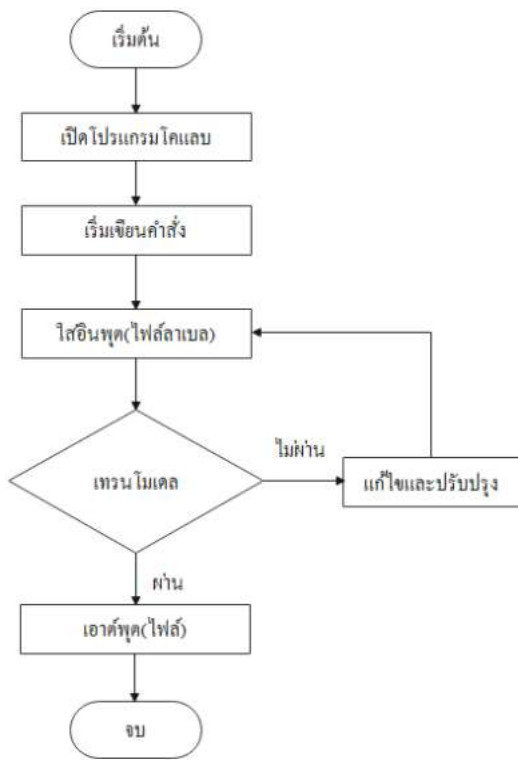
แผนผังนี้เป็นขั้นตอนการเทรนโมเดลลูกไก่ด้วยเว็บไซต์โคแลบ ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่เปิดให้ใช้ในการใช้งานภาษาไพทอน และงานทางด้านประมวลผลทางภาพ โดยต่อเนื่องจาก (แผนผังขั้นตอนการทำงานโปรแกรมโรโบโฟล์ว) แสดงดังรูปที่ 11



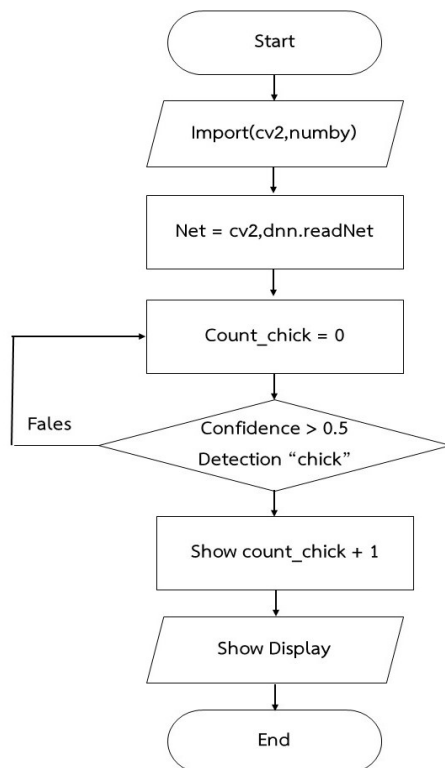
รูปที่ 10 ขั้นตอนการทำงานโปรแกรมโรโบโฟล์ว

2.4.4 แผนผังขั้นตอนการนับจำนวนโดยภาษาไพทอน (python)

แผนผังนี้เป็นขั้นตอนการเขียนโค้ดประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ โดยใช้อัลกอริทึมโยโลวีทาร์ รวมถึงนับจำนวนลูกไก่เริ่มจากนำเข้าไลบรารีและเรียกใช้ไฟล์ (last.pt) ซึ่งเป็นไฟล์โมเดล จากนั้นทำการเปิดใช้งานวิดีโอแบบเรียลไทม์ (cap) ต่อมาตั้งค่าเส้นไลนในการนับจำนวน (cv2line) และกำหนดค่าความมั่นใจที่ 50 % (Confidences > 0.5) เพื่อตรวจจับลูกไก่เมื่อลูกไก่ผ่านเส้นไลนนับจำนวน ตัวเลขในการนับจะเพิ่มขึ้น 1 และเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่ถูกผ่านเส้น ต่อมาเข้าเงื่อนไขการกำหนดจำนวนในการนับและดูผลผ่านจอแสดงผลแอลซีดี (LCD) แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ขั้นตอนการทำงานเว็บไซต์โคดเบล



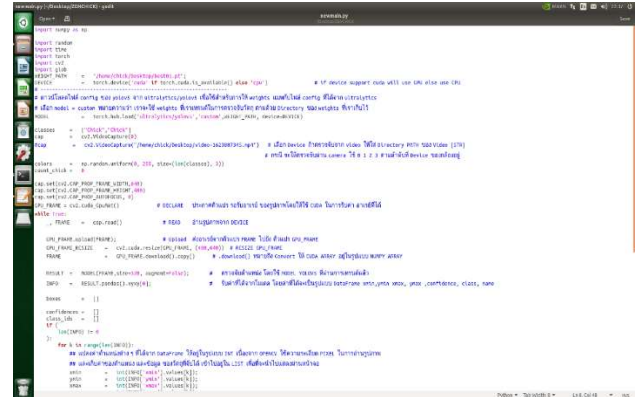
รูปที่ 12 แผนผังกระบวนการนับจำนวน

2.5 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

ในส่วนของการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองความแม่นยำในการตรวจจับและนับจำนวนลูกไก่ จึงต้องเตรียมชุดข้อมูลซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ดังนี้

2.5.1 ตั้งค่าโปรแกรมนับจำนวนเขียนโดยภาษาไพทอน

การตั้งค่าโปรแกรมจำนวนเขียนโดยภาษาไพทอน แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างโค้ดชุดคำสั่งเขียนโดยภาษาไพทอน

2.5.2 การต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าบอร์ดได้แก่ คีย์บอร์ด, เมาส์, กล้องเว็บแคม และหน้าจอแอลซีดี โดยสามารถเชื่อมต่อโดยตรงจากพอร์ตยูเอสบี (USB) และพอร์ต HDMI โดยรูปที่ 14 แสดงการต่ออุปกรณ์ชุดฮาร์ดแวร์ และรูปที่ 15 แสดงโครงชิ้นงานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 14 การต่ออุปกรณ์ชุดฮาร์ดแวร์

ประกอบโครงชุดสาธิตนับลูกไก่ เพื่อใช้เป็นฐานสำหรับติดตั้งบอร์ดเจสันนาโน



รูปที่ 15 โครงสร้างงานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์

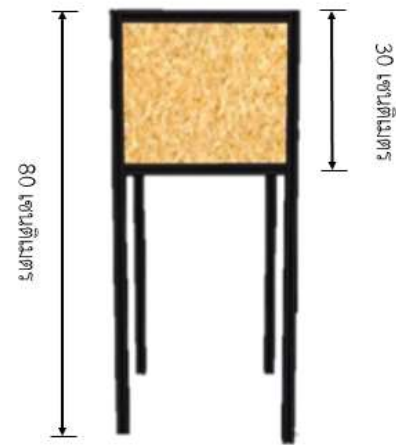
2.6 การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างมีแนวทางการออกแบบเป็นชุดสำหรับใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการและสถานที่จริง จึงได้ออกแบบความสูงของชั้นงานที่ 80 เซนติเมตร ความกว้างด้านหน้าอยู่ที่ 40 เซนติเมตร และความกว้างด้านข้าง 30 เซนติเมตร โครงสร้างทั้งหมดถูกออกแบบมาจากคอมพิวเตอร์ โดยเลือกใช้โปรแกรม Sketchup ในการจำลองและออกแบบ แสดงดังรูปที่ 16 [9-10]

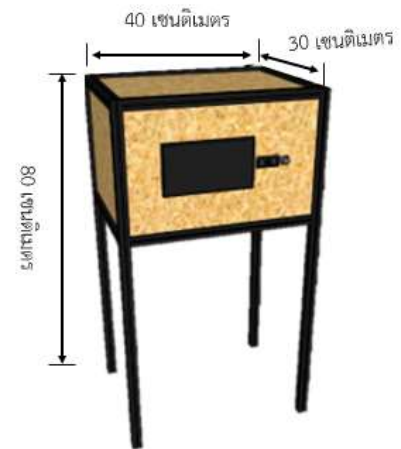
วัสดุโครงสร้างจะอลูมิเนียมโพรไฟล์ มีคุณสมบัติ ทนทาน การกัดกร่อนได้ดี ไม่เป็นสนิม มีจุดหลอมละลายสูงที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็กเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าว และการแตกหัก และแผ่นอะคริลิก มีคุณสมบัติทนทานแข็งแรง สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่ากระจก มีความหนาตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ขึ้นไป จึงสามารถนำมาใช้งานได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างชิ้นงานจากอะคริลิก เช่น กรอบรูป ป้ายโฆษณาและชั้นวางโชว์ เป็นต้น

3. การทดลองและผลการทดลอง

ทำการทดลองปล่อยลูกไถบนสายพานทีละ 1 ตัว, 2-3 ตัว และ 5 ตัว ที่ความเร็วของสายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที และ 0.5 เมตรต่อวินาที



ก) ด้านข้างของเครื่องนับลูกไถ

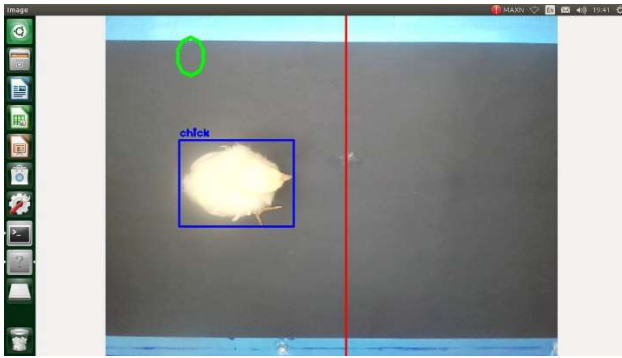


ข) ด้านหน้าของเครื่องนับลูกไถ

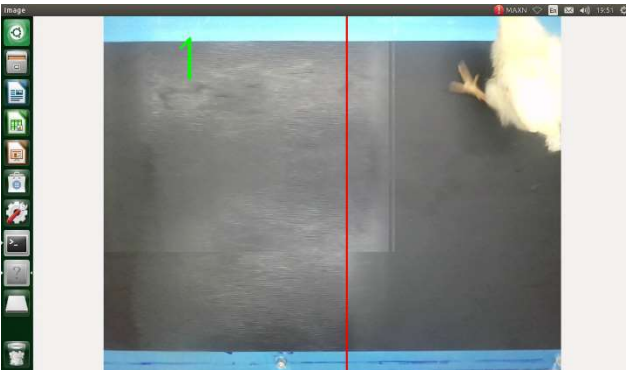
รูปที่ 16 โครงสร้างเครื่องนับลูกไถ

3.1 การทดลองนับจำนวนลูกไถทีละ 1 ตัว

ตัวอย่างการนับลูกไถทีละ 1 ตัว เมื่อลูกไถเคลื่อนที่ผ่านเส้นนับจำนวน เส้นสีแดงตัวเลขแสดงผลตัวหนังสือสีเขียวจะเพิ่มเป็น 1 แสดงให้เห็นว่าลูกไถที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาถูกนับแล้ว แสดงดังรูปที่ 17 และ 18



รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างก่อนผ่านเส้นนับจำนวน



รูปที่ 18 แสดงตัวอย่างหลังผ่านเส้นนับจำนวน

โดยตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที และตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

ตารางที่ 1 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	10
2	10	10
3	10	10
4	10	9
5	10	9
6	10	8
7	10	10
8	10	10
9	10	9
10	10	8
รวม	100	92

จากตารางที่ 1 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที การตรวจนับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจนับได้นั้นคิดเป็น 92% ข้อผิดพลาดอาจเกิดจากการที่เฟรมเรต (Frame rate) ของบอร์ดลดลงเนื่องจากการทำงานของบอร์ดเป็นเวลานานๆ จนทำให้บอร์ดนั้นร้อนจนประสิทธิภาพการทำงานลดลง

ตารางที่ 2 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	8
2	10	10
3	10	8
4	10	10
5	10	10
6	10	10
7	10	7
8	10	10
9	10	7
10	10	10
รวม	100	90

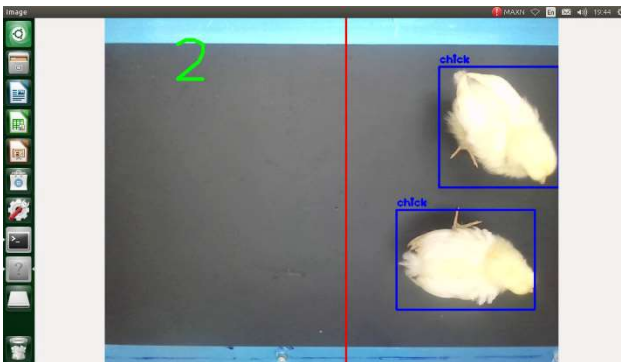
จากตารางที่ 2 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที การตรวจนับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจนับได้นั้นคิดเป็น 90% สันนิษฐานได้ว่าข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากการที่เฟรมเรต (Frame rate) ของบอร์ดลดลงเนื่องจากการทำงานของบอร์ดเป็นเวลานานๆ จนทำให้บอร์ดนั้นร้อนจนประสิทธิภาพการทำงานลดลง และลูกไก่มีการขยับตัวจึงทำให้ตรวจนับยากมากขึ้น เนื่องจากความเร็วของสายพานที่เพิ่มมากขึ้น

3.2 การทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว

ทำการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำจากการเทรนโมเดลลูกไก่ด้วยโปรแกรมลาเบลและอัลกอทึมโยโลที่ได้ทำการเทรนโมเดลขึ้นใหม่ โดยจะเก็บผลการทดลองจากความแม่นยำในการตรวจนับลูกไก่ การทดลองนี้ได้ปล่อยลูกไก่มาทีละ 2-3 ตัว ครั้งละ 10 ตัว จำนวน 10 ครั้ง โดยจะจัดเรียงลูกไก่เป็นแถวหน้ากระดาน แสดงดังรูปที่ 19 และรูปที่ 20



รูปที่ 19 แสดงตัวอย่างก่อนผ่านเส้นนับจำนวน



รูปที่ 20 แสดงตัวอย่างหลังผ่านเส้นนับจำนวน

โดยตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที และตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

ตารางที่ 3 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	5
2	10	6
3	10	5
4	10	8
5	10	6
6	10	4
7	10	6
8	10	7
9	10	6
10	10	7
รวม	100	60

จากตารางที่ 3 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที การตรวจนับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจนับตามแถวหน้ากระดาน 2-3 ตัวพร้อมกันนั้นคิดเป็น 60% ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น คือเฟรมเรทของบอร์ดลดลง แต่จะมีข้อผิดพลาดมากกว่าเพราะมีลูกไก่เข้ามาในเฟรมมากขึ้น การคำนวณจึงมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้บอร์ดนั้นต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาทีละตัว จึงทำให้มีค่าผิดพลาดที่มากขึ้นกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาเพียงหนึ่งตัว และลูกไก่มีการขยับตัว จึงทำให้ตรวจนับยากมากขึ้น เนื่องจากความเร็วของสายพานที่เพิ่มมากขึ้น

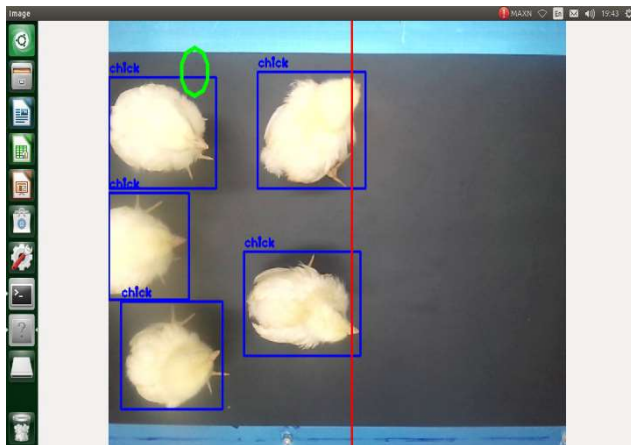
ตารางที่ 4 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	2
2	10	3
3	10	4
4	10	2
5	10	3
6	10	3
7	10	4
8	10	3
9	10	4
10	10	5
รวม	100	33

จากตารางที่ 4 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที การตรวจนับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจนับตามแถวหน้ากระดาน 2-3 ตัวพร้อมกันนั้นคิดเป็น 33% ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น คือเฟรมเรทของบอร์ดลดลง แต่จะมีข้อผิดพลาดมากกว่าเพราะมีลูกไก่เข้ามาในเฟรมมากขึ้น การคำนวณจึงมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้บอร์ดนั้นต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาทีละตัวและความเร็วของสายพานที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีค่าผิดพลาดที่มากขึ้นกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาเพียงหนึ่งตัว และลูกไก่มีการขยับตัว จึงทำให้ตรวจนับยากมากขึ้น เนื่องจากความเร็วของสายพานที่เพิ่มมากขึ้น

3.3 การทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว

ทำการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำจากการเทรนโมเดลลูกไก่ด้วยโปรแกรมลาเบลและอัลกอทึมโยโลที่ได้ทำการเทรนโมเดลขึ้นใหม่ โดยจะเก็บผลการทดลองจากความแม่นยำในการตรวจจับลูกไก่ การทดลองนี้ได้ปล่อยลูกไก่มาทีละ 5 ตัว ครั้งละ 10 ตัว จำนวน 10 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22



รูปที่ 21 แสดงตัวอย่างก่อนผ่านเส้นนับจำนวน



รูปที่ 22 แสดงตัวอย่างหลังผ่านเส้นนับจำนวน

โดยตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจจับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที และตารางที่ 6 แสดงผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจจับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

ตารางที่ 5 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจจับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที

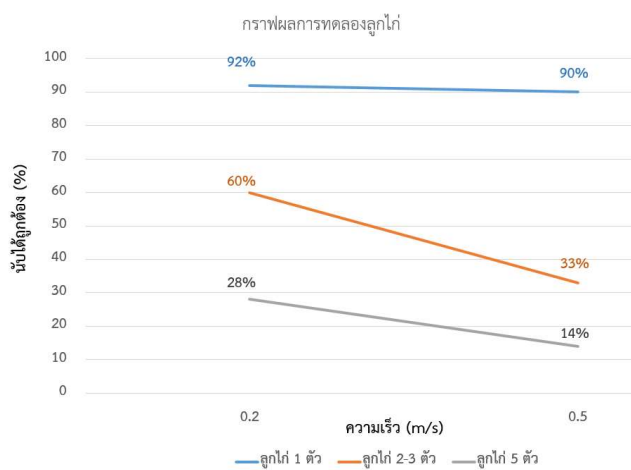
จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	2
2	10	3
3	10	2
4	10	3
5	10	2
6	10	1
7	10	4
8	10	4
9	10	6
10	10	1
รวม	100	28

จากตารางที่ 5 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 เมตร/วินาที การตรวจจับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจจับ 5 ตัวพร้อมกันนั้นคิดเป็น 28% ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น คือเฟรมแรกของบอร์ดลดลง แต่จะมีข้อผิดพลาดมากกว่าเพราะมีลูกไก่เข้ามาในเฟรมมากขึ้นการคำนวณจึงมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้บอร์ดนั้นต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาทีละตัวและความเร็วของสายพานที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีข้อผิดพลาดที่มากขึ้นกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาเพียงหนึ่งตัว และลูกไก่มีการขยับตัว จึงทำให้ตรวจนับยากมากขึ้น

ตารางที่ 6 ผลการทดลองความแม่นยำในการตรวจจับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที

จำนวนการทดลอง (ครั้งที่)	จำนวนลูกไก่ (ตัว)	จำนวนที่นับได้ (ตัว)
1	10	2
2	10	2
3	10	0
4	10	1
5	10	1
6	10	2
7	10	1
8	10	0
9	10	2
10	10	3
รวม	100	14

จากตารางที่ 6 แสดงการทดลองนับจำนวนลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที การตรวจจับลูกไก่ที่เครื่องนับลูกไก่ตรวจจับ 5 ตัวพร้อมกันนั้นคิดเป็น 14% ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น คือเฟรมแรกของบอร์ดลดลง แต่จะมีข้อผิดพลาดมากกว่าเพราะมีลูกไก่เข้ามาในเฟรมมากขึ้นการคำนวณจึงมากขึ้นตามไปด้วยทำให้บอร์ดนั้นต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาทีละตัวและความเร็วของสายพานที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้มีค่าผิดพลาดที่มากขึ้นกว่าการที่ปล่อยลูกไก่มาเพียงหนึ่งตัว และลูกไก่มีการขยับตัว จึงทำให้ตรวจนับยากมากขึ้นเนื่องจากความเร็วของสายพานที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 23 กราฟผลการทดลองลูกไก่

จากรูปที่ 23 ผลการนับลูกไก่ที่ละ 1 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 m/s นับได้ถูกต้อง 92% ที่ความเร็ว 0.5 m/s นับได้ถูกต้อง 90%

การนับลูกไก่ที่ละ 2-3 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 m/s นับได้ถูกต้อง 60% ที่ความเร็ว 0.5 m/s นับได้ถูกต้อง 33%

การนับลูกไก่ที่ละ 5 ตัว ที่ความเร็ว 0.2 m/s นับได้ถูกต้อง 28% ที่ความเร็ว 0.5 m/s นับได้ถูกต้อง 14%

4. สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของบทความวิจัย คือ ลดระยะเวลาการทำงานในการนับลูกไก่ในฟาร์มไก่ เพื่อตรวจสอบจำนวนลูกไก่ที่ถูกส่งออกจากฟาร์มได้อย่างถูกต้อง และประหยัด

ค่าจ้างแรงงานในการนับจำนวนลูกไก่ซึ่ง การนับจำนวนลูกไก่ก่อนบรรจุและส่งออกนั้น ต้องใช้แรงงานคนหลายอัตราในการนับจำนวนลูกไก่หลายแสนตัวใส่กล่องเพื่อส่งออกจากฟาร์ม จึงจำเป็นต้องใช้สมาธิและความแม่นยำในการนับเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น แต่การใช้แรงงานคนนั้นในการนับนั้นย่อมมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้จากความเหนื่อยล้า เพราะฉะนั้นเพื่อลดแรงงานและเพิ่มความแม่นยำในการนับ เราจึงใช้ปัญญาประดิษฐ์หรือที่เราเรียกว่า AI เข้ามาเป็นตัวช่วยในการแก้ปัญหาในการนับจำนวนในส่วนนี้ โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องนับลูกไก่นั้น คือบอร์ดเจตสันนาโนตัวรอบเปอร์คิท 4 กิกกะไบต์ (Jetson nano developer kit 4 GB) ซึ่งบอร์ดนี้เปรียบเสมือนมินิคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาให้รองรับการทำงานแบบการประมวลผลภาพโดยเฉพาะ จึงจะต่างจากบอร์ดในขนาดเดียวกันเพราะจะมี GPU (Graphics Processing Unit) เข้ามาช่วยในการประมวลผลภาพ เพราะฉะนั้นบอร์ดเจตสันนาโนตัวรอบเปอร์คิทจะมีการประมวลผลภาพเร็วกว่าบอร์ดอื่นๆในขนาดเดียวกัน โดยจะรับภาพจากกล้องเว็บแคม (Webcam camera) มาประมวลผล จากนั้นจึงนำมาแสดงผลบนจอแอลซีดี (LCD) ซึ่งหัวใจหลักในการตรวจจับและนับจำนวนนั้นคืออัลกอริทึมโยโล (YOLO) และภาษาไพทอน โดยวัตถุประสงค์ของบทความวิจัยนี้คือ การตรวจจับและนับจำนวนลูกไก่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ลดเวลาในการทำงานในฟาร์ม และประหยัดค่าแรงงานในการนับลูกไก่

การทดสอบกับลูกไก่ จำนวนของลูกไก่ที่ถูกปล่อยออกมาบนสายพาน หากปล่อยออกมาทีละ 1 ตัว จะทำให้เครื่องตรวจนับได้ดีกว่าการปล่อยลูกไก่ออกมาทีละ 2-3 ตัวและทีละ 5 ตัว ตามลำดับ ความเร็วของสายพานที่เพิ่มขึ้นก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการตรวจนับลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การตรวจนับของเครื่องนับลูกไก่จะตรวจนับได้ถูกต้องมากที่สุดคือปล่อยลูกไก่ออกมาทีละ 1 ตัว โดยความเร็วของสายพานที่เหมาะสมคือ 0.2 เมตร/วินาที

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สถานที่ทดลอง และอำนวยความสะดวกในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Inthanon P, Mungsing S. Detection of drowsiness from facial images in real-time video media using nvidia jetson nano. In: Proceeding of 17th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. Phuket, Thailand: 2020. pp.246-249
- [2] Chen T, Chen C, Wang D, Kuo Y. A people counting system based on face-detection. In: *Proceeding of 2010 Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*. Shenzhen, China: 2010, pp. 699-702.
- [3] Choi JW, Quan X, Cho SH. Bi-directional passing people counting system based on IR-UWB radar sensors. *IEEE Internet of Things Journal*. 2018;5(2): pp.512-522.
- [4] ข้อมูลเกี่ยวกับบอร์ด เจ็ทสันนาโน ดีวาร์อปเปอร์ คิท (Jetson Nano Developer Kit). เข้าถึงได้จาก: <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit> [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2563]
- [5] ข้อมูลเกี่ยวกับจอแอลซีดี ราสเบอร์รี่พาย (LCD Raspberry Pi). เข้าถึงได้จาก: http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=7_Inch_DIY_Touch_Screen [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2563]
- [6] ข้อมูลเกี่ยวกับกล้องเว็บแคม nubwo เอ็นดับเบิลยูซี-500 (webcam nubwo nwc-500). เข้าถึงได้จาก: <http://www.nubwo.co.th/index.php/2018/11/13/webcamera-nwc500/> [เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2563]
- [7] ข้อมูลเกี่ยวกับระบบปฏิบัติการอูบุนตุ (Ubuntu) เข้าถึงได้จาก: <https://ubuntu.com/download> [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2564]
- [8] ข้อมูลเกี่ยวกับไลบรารี OpenCV. เข้าถึงได้จาก: <https://opencv.org/courses/#home> [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2564]
- [9] Everingham M, Gool LV, Williams CKI. Broken corn detection based on an adjusted YOLO with focal loss. *IEEE Access*. 2019; 7: pp. 68281 – 68289.
- [10] Zayas L, Converse H, Steele J. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. *Transactions of the ASAE*. 1990; 33(5): 1642-1646.