

ประตุมแมวอัจฉริยะด้วยการจดจำใบหน้าผ่าน OpenCV และ IoT

Smart Cat Door Using Facial Recognition via OpenCV and IoT

ปิยพล ยืนยงสถาวร¹ ณัฐชาสิทธิ์ ชูเกียรติขจร¹ และ ปณต พุกกะพันธุ์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
piyaphol@rmutl.ac.th, natchasit@rmutl.ac.th, pranote@rmutl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบประตุมแมวอัจฉริยะ ที่สามารถทำงานโดยอิงจากการระบุตัวตนของแมวแต่ละตัวผ่านเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกสบายในบ้าน ด้วยการควบคุมการเข้า-ออก อัตโนมัติสำหรับแมวในบ้านโดยเฉพาะ และป้องกันไม่ให้สัตว์ที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้ามาได้ ระบบประกอบด้วย Raspberry Pi 4 และกล้อง Raspberry Pi Camera Module 3 สำหรับจับภาพแบบเรียลไทม์ และใช้ TensorFlow ร่วมกับ OpenCV สำหรับการตรวจจับวัตถุ ข้อมูลภาพใบหน้าแมวถูกจัดเก็บและติดป้ายกำกับด้วยเครื่องมือ LabelImg จากนั้นนำไปฝึกในรูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (CNN) บน Google Colab โมเดลที่ได้รับการฝึกจะถูกติดตั้งบนคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งงานกลอนไฟฟ้าเมื่อแมวที่รู้จักเข้าใกล้ พร้อมทั้งส่งแจ้งเตือนการเข้า-ออกผ่านแอปพลิเคชัน LINE กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยแมวในบ้านหลายตัว โดยมีภาพมากกว่า 800 ภาพที่ใช้ในการฝึกโมเดล การทดสอบการทำงานถูกดำเนินการทั้งหมด 20 ครั้งในระยะต่าง ๆ (1-5 เมตร) โดยมีความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับที่ 82% โดยมีความแม่นยำสูงสุดภายในระยะ 3 เมตร ระบบสามารถแยกแยะระหว่างแมวที่ได้รับอนุญาตกับที่ไม่ได้รับอนุญาตอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การจดจำแมว, TensorFlow, OpenCV, ประตุมแมวอัจฉริยะ, Raspberry Pi, ระบบรักษาความปลอดภัยบ้านด้วย IoT

Abstract

This study shows how to design and build a smart cat door system that can use AI technology to tell one cat from another. The main goal is to make homes safer and more convenient by giving cats automatic control over when they can come and go, while keeping other animals out. Using a Raspberry Pi 4 and a Raspberry Pi Camera Module 3, the system takes pictures in real time. Using TensorFlow and OpenCV together, you can find objects. We utilize the LabelImg tool to classify the cats' facial images and then train a deep convolutional neural network (CNN) on Google Colab. When a cat that the trained model recognizes gets close, it sends a signal to the controller to unlock the door. The LINE app sends notifications when someone enters or exits.

The sample group was made up of a few house cats, and more than 800 pictures were utilized to train them. Functional testing was done 20 times over distances of 1 to 5 meters. The average detection accuracy was 82%, and the highest accuracy was found within a 3-meter range. The

technique works well to tell the difference between cats that are allowed and those that aren't.

Keywords: Cat recognition, TensorFlow, OpenCV, Smart pet door, Raspberry Pi, IoT-based home security system

1. บทนำ

ในหลายครัวเรือน ประตุมแมวอัจฉริยะให้ความสะดวกสบาย แต่กลับเป็นช่องโหว่ด้านความปลอดภัย เพราะเปิดโอกาสให้สัตว์ที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้ามาได้ ประตุมแมวอัจฉริยะแบบดั้งเดิมขาดความสามารถในการกรองการเข้าออกได้อย่างปลอดภัย ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อสัตว์เลี้ยงและทรัพย์สิน โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีสัตว์จรจัดและความเสียหายของทรัพย์สินเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ความก้าวหน้าในด้าน (AI) ระบบฝังตัว และ (Computer Vision) ได้เข้ามามีส่วนร่วมในการพัฒนาโซลูชันที่ชาญฉลาดเพื่อแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะเทคโนโลยีการจดจำใบหน้าซึ่งเดิมใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยของมนุษย์ ปัจจุบันเริ่มนำมาประยุกต์ใช้กับสัตว์เลี้ยง โดยเฉพาะแมว ที่มีความนิยมเลี้ยงดูเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพื่อควบคุมการเข้าออกอย่างแม่นยำและป้องกันสัตว์แปลกปลอม ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนา "บ้านอัจฉริยะ" (Smart Home Automation) แพลตฟอร์มอย่าง Raspberry Pi และเครื่องมือ AI เช่น TensorFlow และ OpenCV เป็นพื้นฐานทั้งในด้านคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์สำหรับสร้างระบบนี้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อออกแบบและติดตั้งระบบประตุมแมวอัจฉริยะที่สามารถใช้การจดจำใบหน้าด้วย AI เพื่อยืนยันตัวตนและควบคุมการเข้า-ออก ของแมวในบ้าน ระบบประกอบด้วยกล้องความละเอียดสูงเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 เพื่อจับภาพแบบเรียลไทม์ โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม (CNN) ได้รับการฝึกด้วยชุดข้อมูลภาพแมว เพื่อระบุตัวตนของแมวแต่ละตัว เมื่อตรวจพบแมวที่รู้จัก ระบบจะส่งกลอนไฟฟ้าให้เปิด และบันทึกเหตุการณ์ พร้อมส่งการแจ้งเตือนผ่านแพลตฟอร์ม LINE

2. หลักการและทฤษฎีเกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างครอบคลุมเกี่ยวกับระบบควบคุมการเข้าออกของสัตว์เลี้ยงด้วย AI โดยเฉพาะประตุมแมวอัจฉริยะ ได้มีการสืบค้นวรรณกรรมอย่างกว้างขวางผ่านฐานข้อมูล IEEE Xplore และ Google Scholar โดยใช้คำค้นหลัก เช่น "AI pet door", "feline facial recognition", "smart home IoT for pets" และ "computer vision for animal detection" โดยเน้นงานวิจัยระหว่างปี 2018 ถึง 2024 แหล่งข้อมูลที่เลือกใช้พิจารณาจาก relevancy ทางเทคนิค ความทันสมัย และความสอดคล้องกับระบบฝังตัวและการตรวจจับวัตถุด้วย AI โดยให้ความสำคัญกับบทความวิชาการที่ผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เอกสารการประชุมวิชาการ และการสำรวจแนวโน้มในระบบจดจำด้วย AI การควบคุมการเข้าถึงด้วยข้อมูลชีวภาพ และประเด็นด้านความเป็น

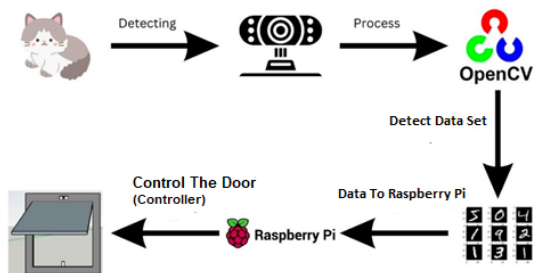
*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

ส่วนตัวในวิสัยทัศน์คอมพิวเตอร์ รวมถึงมาตรฐานและบทวิจารณ์ที่กล่าวถึงทั้งมิติทางเทคนิคและจริยธรรมของเทคโนโลยีสำหรับสัตว์เลี้ยงอัจฉริยะ

เอกสารเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มการบูรณาการของ AI, IoT และระบบฝังตัวในด้านการดูแลสัตว์เลี้ยง โดยเฉพาะด้านการควบคุมการเข้าออกและการตรวจสอบพฤติกรรม ประเด็นสำคัญ ได้แก่ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) สำหรับการจดจำใบหน้า [3], การใช้ Raspberry Pi และโปรเซสเซอร์พลังงานต่ำ [2] และประเด็นความปลอดภัยในบริบทของบ้านอัจฉริยะ [4][5] อย่างไรก็ตาม ยังพบช่องว่างในด้านการระบุตัวตนแบบหลายมิติที่รวมข้อมูลภาพและพฤติกรรม ซึ่งยังมีการศึกษาอยู่ โดยเฉพาะในระบบที่มุ่งเน้นแนวผ่านการจดจำภาพ

2.2 การออกแบบงานวิจัย

การออกแบบงานวิจัยใช้รูปแบบการพัฒนาต้นแบบ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการวางแผนระบบ การรวมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ การฝึกโมเดล การทดสอบระบบ และการประเมินประสิทธิภาพ ระบบถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Raspberry Pi 4, กล้อง Raspberry Pi Camera Module 3, กลอนไฟฟ้า (Solenoid Lock) และไลบรารี AI ที่ใช้ภาษา Python ได้แก่ TensorFlow และ OpenCV ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของระบบควบคุมประตูแมวอัจฉริยะด้วย AI

รูปที่ 1 หลักการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมประตูแมวอัจฉริยะที่ใช้การจดจำใบหน้าด้วย AI โดยระบบเริ่มต้นจากขั้นตอนการตรวจจับ ซึ่งกล้องจะจับภาพของแมวที่กำลังเข้าใกล้ประตู รูปที่ได้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลภาพซึ่งทำงานด้วยไลบรารี OpenCV เพื่อวิเคราะห์และแยกคุณลักษณะต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้รับการฝึกไว้ล่วงหน้าเพื่อระบุตัวตน



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรม CNN ของระบบ

จากรูปที่ 2 เป็นโมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบ Convolutional Neural Network (CNN) ซึ่งออกแบบมาเพื่อประมวลผลและจำแนกภาพอินพุต โดยอินพุตของโมเดลเป็นภาพสีขนาด 32x32 พิกเซล จำนวน 3 รูปแบบ (RGB) ผ่านเข้าสู่ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) จำนวน 2 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นใช้ฟิลเตอร์ขนาด 4x4 จำนวน 32 ตัว ทำหน้าที่จัดการภาพ เช่น ตีขอบ กรอบรูปร่าง พร้อมใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ ReLU เพื่อเพิ่มความไม่เชิงเส้น (Non-Linearity) จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่านเข้าสู่ชั้นการทำพูลลิง (MaxPooling Layer)

ขนาด 2×2 ซึ่งช่วยลดขนาดเชิงพื้นที่ของ (Feature Map) ลดจำนวนพารามิเตอร์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้

หลังจากได้ข้อมูลได้ตามต้องการแล้ว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปเวกเตอร์หนึ่งมิติผ่านชั้น Flatten Layer เพื่อนำเข้าสู่ชั้น Dense Layer หรือ Fully Connected Layer ซึ่งชั้นแรกมีจำนวน 256 นิวรอน ใช้ฟังก์ชัน ReLU เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูล ส่วนชั้นถัดมาเป็นชั้นเอาต์พุต ประกอบด้วย 10 นิวรอน ใช้ฟังก์ชัน Softmax ทำหน้าที่แปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Distribution) ของแต่ละคลาส ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานในการจำแนกภาพ (Image Classification) ออกเป็น 10 ประเภท โดยรวมแล้ว โมเดลนี้มีความสมดุลระหว่างความซับซ้อนและประสิทธิภาพ สามารถประมวลผลภาพขนาดเล็กถึงปานกลางได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเหมาะสมสำหรับการใช้งานกับชุดข้อมูลมาตรฐาน เช่น CIFAR-10 หรือการประยุกต์ใช้กับงานจำแนกภาพประเภทอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน

เมื่อระบบยืนยันตัวตนแมวได้สำเร็จ จะสร้างชุดข้อมูลเฉพาะสำหรับผลการจดจำ และส่งข้อมูลนี้ไปยัง Raspberry Pi ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลัก เมื่อได้รับผลการจดจำที่ถูกต้อง Raspberry Pi จะส่งคำสั่งให้เปิดกลอนไฟฟ้าประตูแมว กระบวนการควบคุมแบบวงปิดนี้ช่วยให้เฉพาะแมวที่ลงทะเบียนไว้เท่านั้นที่สามารถเข้าออกได้ จึงเพิ่มความปลอดภัยในบ้านและลดโอกาสที่สัตว์ไม่ได้รับอนุญาตจะเข้ามา

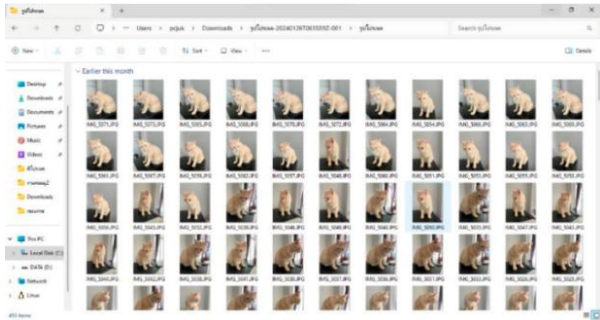


รูปที่ 3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3 เป็นโฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยกล้องทำการตรวจจับอัตลักษณ์ของแมว หากอัตลักษณ์ของแมวตัวดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์ความเหมือนที่ 98% ระบบจะทำการสั่งการไปให้บอร์ดปลดล็อก หากไม่ใช่จะทำการตรวจจับใหม่ และทำการปลดล็อกประตูเป็นเวลา 1 นาทีและส่งการแจ้งเตือนไปทางแอปพลิเคชัน Line หลังจากนั้นประตูจะทำการล็อกและตรวจจับใหม่

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลดำเนินการโดยการบันทึกคุณภาพของแมวสามตัวที่แตกต่างกันภายใต้สภาพแสงและมุมมองที่หลากหลาย โดยสร้างภาพใบหน้าแมวอย่างน้อย 600-800 ภาพต่อแมวหนึ่งตัว ภาพเหล่านี้ถูกติดป้ายกำกับด้วยเครื่องมือ Image Label เพื่อสร้างกรอบระบุประเภทของวัตถุที่เป็นแมว ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ในการฝึกโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) สำหรับการระบุแมว



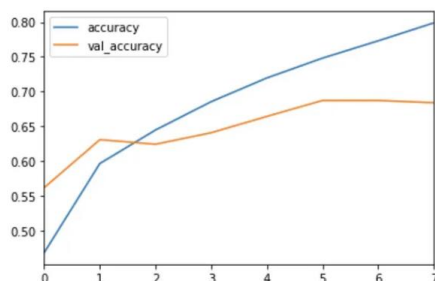
รูปที่ 4 ชุดข้อมูลภาพสำหรับการฝึกโมเดลจดจำแมว

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโมเดล CNN ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลประกอบด้วยภาพสี่ของวัตถุหลากหลายประเภทรวมถึงแมว ซึ่งเดิมมาจากชุดข้อมูลมาตรฐาน CIFAR-10 โดยแต่ละภาพจะถูกปรับขนาดให้เท่ากันที่ 32x32 พิกเซล และจัดอยู่ในหนึ่งในสิบหมวดหมู่ ได้แก่ เครื่องบิน รถยนต์ นก แมว กวาง สุนัข กบ ม้า เรือ และรถบรรทุก โดยค่าตัวเลขตั้งแต่ 0-9 แทนแต่ละหมวดหมู่ตามลำดับ เช่น ค่า 0 แทนหมวดหมู่เครื่องบิน ค่า 1 แทนหมวดหมู่รถ เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การจำแนกประเภท “แมว” ให้แม่นยำ ผ่านการดึงคุณลักษณะและปรับแต่งโมเดล ชุดข้อมูลนี้ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) และการทดลองด้านสถาปัตยกรรมโมเดล ก่อนนำไปใช้กับชุดข้อมูลใบหน้าแมวเฉพาะทาง ความหลากหลายของวัตถุ มุมมอง และฉากหลังในชุดข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ต่อการประเมินประสิทธิภาพการจำแนกทั่วไป

2.4 ความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้

ความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้ของระบบ ได้มีการทดสอบโมเดลกับทั้งแมวที่ลงทะเบียนและไม่ลงทะเบียน การทดลองซ้ำหลายครั้งถูกดำเนินการเพื่อประเมินความสม่ำเสมอของระบบ ในขณะเดียวกันก็ทดสอบความเสถียรของฮาร์ดแวร์ผ่านการทำงานต่อเนื่องในหลายช่วงเวลา



รูปที่ 5 กราฟค่า Loss ที่ได้จากชุดข้อมูล Train กับ ชุดข้อมูล Test

สำหรับค่าความถูกต้องหรือ Accuracy นั้นก็แสดงไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน คือในรอบการ Train ที่ 6 และ 7 แม้ว่าค่าความถูกต้องของชุดข้อมูล Train จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทดสอบกับชุดข้อมูล Test พบว่าค่าเริ่มลดลง การหยุด Train Model จึงช่วยให้ Model ไม่เกิด Overfit เกินไป คำสั่งที่ใช้หาค่าตัววัด Model คือ Evaluate ตามที่ปรากฏในรูปที่ 5

3. ผลการทดลองและอภิปราย



รูปที่ 6 การติดตั้งระบบทดลองสำหรับการตรวจจับแมวแบบเรียลไทม์ด้วยระบบประมวลผลอัจฉริยะ

รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งจริงและการทดสอบการทำงานของระบบจดจำแมวด้วย AI ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีการควบคุม รูปดังกล่าวแสดงช่วงเวลาแมวซึ่งได้ลงทะเบียนไว้กำลังเข้าใกล้ประตูแมวอัจฉริยะซึ่งติดตั้งบนผนังและเชื่อมต่อกับชุดควบคุมที่ใช้ Raspberry Pi กลไกของประตูประกอบด้วยกลอนไฟฟ้า (Solenoid lock) ที่ควบคุมด้วยกระบวนการจดจำใบหน้าซึ่งทำงานผ่านโมเดล CNN ที่ติดตั้งอยู่ใน Raspberry Pi

ในระหว่างนี้ของการทดลอง ระบบจะทำการจับภาพแบบเรียลไทม์ ยืนยันตัวตน และควบคุมการเข้าถึง เมื่อสามารถตรวจจับแมวได้สำเร็จ ระบบจะส่งสัญญาณเพื่อปลดกลอนไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานแบบครบวงจรของทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ การทดลองนี้ยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบในสภาพใช้งานจริง และความทนทานของกลไกการตรวจจับต่อปัจจัยแวดล้อมทั่วไป เช่น การเคลื่อนไหวของแมว แสงโดยรอบ และตำแหน่งของแมว

ตารางที่ 1 ความแม่นยำในการตรวจจับของระบบประตูแมวอัจฉริยะในระยะต่าง ๆ

ครั้งที่	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร
1	✓	✓	✓	✓	✗
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✗	✗
4	✓	✓	✓	✓	✗
5	✓	✓	✓	✗	✗
6	✓	✓	✓	✓	✗
7	✓	✓	✓	✗	✗

ครั้งที่	1 เมตร	2 เมตร	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร
8	✓	✓	✓	✓	X
9	✓	✓	✓	✓	X
10	✓	✓	✓	✓	X
11	✓	✓	X	X	X
12	✓	✓	X	✓	X
13	✓	✓	✓	✓	X
14	✓	✓	✓	✓	✓
15	✓	✓	✓	✓	X
16	✓	✓	X	✓	X
17	✓	✓	✓	✓	X
18	✓	✓	✓	✓	X
19	✓	✓	✓	✓	X
20	✓	✓	✓	✓	X
อัตราความสำเร็จ	100%	100%	85%	70%	0%
ความแม่นยำรวม	71%				

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลองจำนวน 20 ครั้งที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับแมวในระยะห่างตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร โดยในการทดลองแต่ละครั้งได้ประเมินความสามารถของระบบในการจดจำตัวตนของแมวและส่งกลับไฟฟ้าทำงานผ่านการจดจำใบหน้า

อัตราการตรวจจับในระยะ 1-2 เมตรอยู่ที่ 100% แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือสูงในช่วงระยะที่มีประสิทธิภาพนี้ อย่างไรก็ตามที่ระยะ 3 และ 4 เมตร ความแม่นยำลดลงเหลือ 85 % และ 70% ตามลำดับ สุดท้ายที่ 5 เมตร ระบบไม่สามารถตรวจจับแมวได้เลย ทำให้อัตราความสำเร็จเป็น 0% ข้อมูลเหล่านี้ยืนยันว่า ความสามารถในการจดจำของโมเดลขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างแมวกับกล้องเป็นสำคัญ

อัตราความสำเร็จในการตรวจจับโดยรวมของระบบจากการทดลองทั้ง 20 ครั้ง คือ 71% ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม และเน้นย้ำถึงความสำคัญของปัจจัยด้านการติดตั้งจริง เช่น มุมกล้องและแสงที่มีผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับ



รูปที่ 7 รูปการทดลองเมื่อนำแมวที่เป็นโมเดลและไม่เป็นโมเดลมาเปรียบเทียบกัน

จากรูปที่ 7 จากการทดลองเมื่อนำแมวที่เป็นโมเดลและไม่เป็นโมเดลมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่าแมวที่เป็นโมเดลจะมีกรอบและชื่อ

แสดง แต่แมวที่ไม่ได้เป็นโมเดลจะไม่แสดงทั้งชื่อและกรอบ ซึ่งหมายความว่าไม่ได้ทำการตรวจจับ

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและประเมินผลของระบบประมวลผลอัจฉริยะที่ขับเคลื่อนด้วย AI ซึ่งสามารถระบุตัวตนของแมวแต่ละตัวได้ผ่านการจดจำใบหน้า ระบบแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำสูงในระยะใกล้ (1-2 เมตร) โดยมีอัตราความสำเร็จในการตรวจจับถึง 100% และความแม่นยำรวมของระบบอยู่ที่ 71% ภายใต้ทุกเงื่อนไขในการทดสอบความสามารถในการตรวจจับแบบ บน Raspberry Pi 4 ยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการนำโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) มาใช้บนฮาร์ดแวร์ฝังตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์เหล่านี้มีส่วนช่วยพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมการเข้าถึงอัจฉริยะสำหรับการดูแลสัตว์เลี้ยง และเสนอทางเลือกแบบไม่ต้องสัมผัสแทนการใช้ RFID หรือไมโครชิป

อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพในการตรวจจับลดลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะเกินกว่า 3 เมตร ความแม่นยำของระบบยังได้รับผลกระทบจากสภาพแสงที่ไม่เหมาะสม หรือท่าทางของแมวที่แตกต่างจากชุดข้อมูลที่ฝึก นอกจากนี้ ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ในด้านความเร็วในการประมวลผลและความละเอียดของกล้องยังเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานในพื้นที่กลางแจ้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสพโชค ไททองคำ สันติสุข สว่างกล้า และ อภิษฎา ทองรักษ์, “วงจรแปลงไฟฟ้าเอชทูเอชคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยตรงที่ปราศจากวงจรส่วนเชื่อมโยงดีซีทดสอบ กับโหลดแบบพาสซีฟ,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 44, 17-19 พฤศจิกายน 2564, หน้า 132-135
- [2] ณรงค์ชัย ทศพร สุวิจักขณ์ มีชำนาญ วิรัชพร วรพิน ภัทรพล กล้าโพธิ์ทอง ศทาวัธ รัตนดิลก ณ ภูเก็ต และ ชัยวุฒิ ชูรักษ์, “ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสี่ขั้วภาคควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46, 15-17 พฤศจิกายน 2566, หน้า 181-184
- [3] J. Satansup, N. Roongmuanpha, T. Pukkalanun, and W. Tangsrirat, “Realization of lossy parallel inductance simulator using single VDGA and a grounded capacitor,” *2022 International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, Khon Kaen, Thailand, 2022, pp. 1-4.
- [4] P. Hothongkham, and S. Suathed, “Simulation of three-phase PWM AC-AC matrix converter without the DC-link testing with the passive loads and without input filter,” *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 2022, pp. 1-4.
- [5] T. Boonraksa, P. Boonraksa, and B. Marungsri, “Optimal Capacitor Location and Sizing for Reducing the Power Loss on the Power Distribution Systems due to the Dynamic Load of the Electric Buses Charging System using the Artificial Bee Colony Algorithm” *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 16, pp. 1821-1831, 2021.

- [6] T. Boonraksa, P. Boonraksa, S. lei lei Wynn and B. Marungsri, “ Location and Sizing Optimization of Distributed Generation Systems on Smart Grid with the Whale Optimization Algorithm” *2021 9th International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, Pattaya, Thailand, 2021, pp. 81-84.



นายปิยพล ยืนยงสถาวร จบการศึกษาระดับปริญญาโท จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



นายปณต พุกกะพันธุ์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท จากมหาเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา



นายณัฐชาติ ฐเกียรติขจร จบการศึกษาระดับปริญญาโท จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา