

Applying AI to Control Air Conditioning System Based on Occupancy

Tarin Gurin¹ and Chaiyaporn Khemapatapan^{2,*}

^{1,2}College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand;
Email: ¹taringurin@hotmail.com, ²chaiyaporn@dpu.ac.th

**Corresponding author: Chaiyaporn Khemapatapan (chaiyaporn@dpu.ac.th)*

Received: 20 April 2026; **Revised:** 27 August 2026; **Accepted:** 29 August 2026; **Published:** 30 August 2026

Abstract

This research aimed to develop and evaluate a prototype of an occupancy-driven air conditioning control system. The system integrated human detection technology using the YOLOv8n algorithm with a Raspberry Pi processing unit an edge computing solution that is cost-effective, low-power, and compact—for real-time occupancy monitoring and counting for controlling air conditioning units via infrared signals. The system's performance was evaluated through 791 recorded events, focusing on detection accuracy under real-world indoor environmental lighting variations varying environmental conditions and control responsiveness. The results indicated high robustness to lighting variations, achieving an overall average accuracy of 92.21% with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.44 people. The primary cause of detection error was attributed to person-to-person occlusion during high occupancy periods rather than lighting conditions. Furthermore, the system effectively adjusted air conditioning operations based on real-time occupancy, significantly reducing unnecessary energy consumption when spaces were unoccupied. These findings demonstrate the potential of the developed system for integration into smart buildings and sustainable energy management applications.

Keywords: Air Conditioning Control, YOLOv8n, Raspberry Pi, Object Detection, Person Detection, Energy Saving



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:

Gurin, T., & Khemapatapan, C. (2026). Applying AI to Control Air Conditioning System Based on Occupancy. *Journal of Computer and Creative Technology*, 4(2), e3915. <https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3915>

การประยุกต์ใช้ AI เพื่อควบคุมระบบปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งาน

ธาริน กรินทร์¹ และ ชัยพร เขมะภาคะพันธ์^{2,*}

^{1,2}วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย;
Email: ¹taringurin@hotmail.com, ²chaiyaporn@dpu.ac.th

*ผู้ประพันธ์บทความ: ชัยพร เขมะภาคะพันธ์ (chaiyaporn@dpu.ac.th)

รับบทความ: 20 เมษายน 2569; แก้ไขบทความ: 27 สิงหาคม 2569; ตอรับบทความ: 29 สิงหาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 30 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อจำนวนผู้ใช้งาน โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจจับบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLOv8n ร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi ซึ่งเป็นการประมวลผลแบบ Edge Computing ที่มีราคาประหยัด กินพลังงานต่ำ และมีขนาดกะทัดรัด เพื่อตรวจจับและ นับจำนวนผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ จากนั้นใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นเงื่อนไขในการควบคุม เครื่องปรับอากาศผ่านสัญญาณ อินฟราเรด การทดสอบประสิทธิภาพครอบคลุมการบันทึกกิจกรรมรวมทั้งสิ้น 791 รายการ ผลการทดลองพบว่าระบบมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริงมีการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมอยู่ที่ร้อยละ 92.21 และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย รวมเท่ากับ 0.44 คน ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่มีสาเหตุหลักมาจากการเดินบดบังกันเองของบุคคล ในกรณีที่ความหนาแน่นของผู้ใช้งานสูง นอกจากนี้ ระบบสามารถปรับการทำงาน ของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานจริง ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไป ประยุกต์ใช้กับระบบอาคารอัจฉริยะ และการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การควบคุมเครื่องปรับอากาศ, YOLOv8n, Raspberry Pi, การตรวจจับวัตถุ, การตรวจจับวัตถุ, การประหยัด



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:

ธาริน กรินทร์, และ ชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2569). การประยุกต์ใช้ AI เพื่อควบคุมระบบปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งาน. วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4(2), e3915. <https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3915>

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ทำให้มีความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อสร้าง สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานการใช้จ่ายพลังงาน พ.ศ. 2567 พบว่าครัวเรือนไทยมีอัตราการเป็นเจ้าของเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยถึง 1.7 เครื่องต่อครัวเรือน ส่งผลให้มีภาระค่าไฟฟ้าสูงถึง ร้อยละ 34.0 ของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานทั้งหมด (National Statistical Office, 2025) อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันมักเป็นการตั้งค่าแบบคงที่ โดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผู้ใช้งานจริงในพื้นที่ ส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็นและกระจายความเย็นได้ไม่เหมาะสม ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวสอดคล้องกับ เป้าหมายด้านการพัฒนาอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) และการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน (Sustainable Energy Management) (Massey, 2025)

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า อัลกอริทึมในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับและนับจำนวนบุคคลในหลากหลายบริบท โดย Chen et al. (2025) ได้พัฒนาโมเดล YOLOv8n สำหรับตรวจจับคนในห้องสมุดอัจฉริยะ และพบว่ามีความแม่นยำสูงพร้อมประมวลผลได้แบบเรียลไทม์บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัด นอกจากนี้ Yulita et al. (2025) ได้ประยุกต์ใช้โมเดล YOLOv8 ในการตรวจจับความหนาแน่นของคนเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติภายในสำนักงาน และพิสูจน์ว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังขาดความแปรปรวนของสภาพแสงสว่างในพื้นที่อาคาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน การส่องผ่านหน้าต่างแบบย้อนแสง (Backlight) และแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟในเวลากลางคืน ล้วนส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพและการเกิดเงารบกวนภาพวิดีโอ

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานได้แบบเรียลไทม์โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 เข้ามาวิเคราะห์จำนวนผู้ใช้งานจากภาพวิดีโอ ผลการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง อย่าง Raspberry Pi จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างระบบควบคุมแบบประมวลผลที่ปลายทาง (Edge Computing) เนื่องจากมีความสามารถในการประมวลผลภาพจากบอร์ดได้โดยตรงแบบเรียลไทม์ผ่านพอร์ต GPIO ร่วมกับโมดูลอินฟราเรด โดยไม่พึ่งพาเครื่องแม่ข่ายหรือระบบคลาวด์ภายนอก ช่วยลดความหน่วงเวลาของระบบ ลดต้นทุนการบำรุงรักษา และสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาเทคโนโลยีอาคารอัจฉริยะที่ยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลในการตรวจจับบุคคล บนบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi สำหรับตรวจจับและวิเคราะห์ความหนาแน่นของผู้ใช้งานในห้องแบบเรียลไทม์ โดยใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ในการจำแนกจำนวนบุคคลจากภาพวิดีโอผ่านโมดูลกล้อง (Camera Module)
2. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบต้นแบบ (Prototype System) ที่สามารถควบคุมฟังก์ชันหลักของเครื่องปรับอากาศ (การเปิด-ปิด, การปรับอุณหภูมิ, และการปรับความเร็วพัดลม) ผ่านการส่งคำสั่งด้วยโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) ที่ทำงานสอดคล้องกับผลการนับจำนวนผู้ใช้งานของเครื่องปรับอากาศ เช่น การเปิด-ปิด การปรับอุณหภูมิ และความเร็วพัดลม
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบ ทั้งในด้านความแม่นยำของการตรวจจับผู้ใช้งาน ความเร็วในการตอบสนองของระบบ และความสามารถในการปรับสภาพอุณหภูมิให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานจริง
4. เพื่อนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ผ่านเทคโนโลยี Computer Vision และ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับอาคาร (Smart Building)

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 ระบบปรับอากาศและทฤษฎีสภาวะความสบาย (Air Conditioning System and Thermal Comfort)

ระบบปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีการสิ้นเปลืองพลังงานสูง การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน (Sustainable Energy Management) จึงมุ่งเน้นการรักษาสมดุลระหว่างการประหยัดพลังงานกับการสร้าง “สภาวะความสบายเชิงความร้อน”

(Thermal Comfort) ซึ่งหมายถึงสภาวะที่จิตใจมนุษย์แสดงความรู้สึกพอใจต่อสภาพแวดล้อมทางความร้อนรอบตัว งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) มาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการกระจายความเย็น ให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ ซึ่งช่วยรักษาสภาวะความสบายของผู้ใช้งานไปพร้อมกับการควบคุม การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Massey, 2025)

3.2 แนวคิดระบบควบคุมอัตโนมัติและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Automatic Control System and IoT)

ระบบควบคุมอัตโนมัติทำงานผ่านกลไกข้อมูลป้อนกลับ (Feedback) เพื่อปรับเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ และลดการแทรกแซงจากมนุษย์ (Ogata, 2010) งานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดดังกล่าวมาบูรณาการร่วมกับเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โดยเชื่อมต่อหน่วยประมวลผลกับโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) เพื่อให้ระบบสามารถประมวลผลและสั่งการเปิด-ปิด หรือปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้สอดคล้องกับจำนวน ผู้ใช้งานจริงแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) ได้อย่างเป็นรูปธรรม

3.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัลและการตรวจจับวัตถุ (Digital Image Processing and Object Detection)

หนึ่งในกระบวนการขั้นสูงที่สำคัญของการประมวลผลภาพดิจิทัลคือ การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่มีเป้าหมายเพื่อระบุประเภทและตำแหน่งของเป้าหมาย ในสภาวะการใช้งานจริงภายในอาคาร สภาพแสงที่หลากหลาย (Varying Lighting Conditions) ถือเป็นปัจจัยรบกวนภายนอกที่สำคัญที่สุดต่อโมเดลคอมพิวเตอร์วิทัศน์ การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงและการเกิดเงาตกกระทบบนผิววัตถุ สามารถบิดเบือนข้อมูลพิกเซลในภาพ (Pixel Intensity) ทำให้ลักษณะการจำแนกเส้นขอบและรูปร่างทางกายภาพของบุคคลสูญเสียความชัดเจน การควบคุมระบบอัตโนมัติจึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความลึกและทนทานสูง เช่น โมเดลตระกูล YOLO มีจุดเด่นด้านความแม่นยำและการประมวลผลแบบเรียลไทม์ (Sohan et al., 2024; Chen et al., 2025) งานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้เพื่อให้กล้องสามารถแยกแยะและนับจำนวน “บุคคล” ภายในห้องได้อย่างทันท่วงที ข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานที่ได้จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อสั่งการเครื่องปรับอากาศ โดยอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นกลไกหลักในการบริหารจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานจริง (Yulita et al., 2025)

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related Research)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการประมวลผลภาพ (Computer Vision) ในการตรวจจับวัตถุและบุคคลได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด โดยเฉพาะอัลกอริทึมในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ที่ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมถึงการบูรณาการเพื่อการจัดการพลังงานในอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) จากการทบทวนวรรณกรรมพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับการพัฒนาระบบในครั้งนี้ ดังนี้ ในด้านการพัฒนาโมเดลให้ทำงานบนอุปกรณ์ทรัพยากรจำกัด (Edge Devices) และการรับมือกับความหนาแน่นของคน (Crowd Monitoring) Chen et al. (2025) ได้พัฒนาโมเดล “Dense-stream YOLOv8n” สำหรับตรวจจับ คนในห้องสมุดอัจฉริยะ โดยนำโมเดล YOLOv8n มาปรับปรุงด้วยโมดูล DensityNet เพื่อแก้ปัญหาการเดินบังกัน (Occlusion) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบมีความแม่นยำสูง ($mAP@0.5 \approx 0.99$) และประมวลผลได้เร็วถึง 254 FPS โดยใช้ทรัพยากรการประมวลผลต่ำ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนับคนเข้า-ออกแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Jayaram et al. (2024) ได้ใช้ YOLOv8 ร่วมกับเทคนิค Transfer Learning ในระบบกล้องวงจรปิดเพื่อระบุและติดตามบุคคล พบว่าระบบสามารถตรวจจับบุคคลพร้อมกันได้มากถึง 38 คนในเฟรมเดียว ด้วยความถูกต้อง 94.67% แม้ในสภาพ แสงหรือท่าทางที่เปลี่ยนแปลงไป และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jayaram et al. (2024) ที่ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) ร่วมกับโมเดล YOLOv8 ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแสง ซึ่งยืนยันขีดความสามารถในการจำแนกและนับจำนวนบุคคลในพื้นที่หนาแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของโมเดลตระกูล YOLO ขนาดเล็ก (Nano Model) Alashrafi et al. (2025) ได้ทดสอบ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n ในงานเฝ้าระวังด้านสุขอนามัย ด้วยภาพกว่า 31,000 ภาพ พบว่า YOLOv8n ให้ผลลัพธ์ ที่ดีที่สุดเมื่อใช้เกณฑ์การประเมินที่เข้มงวด ($mAP@50-95$) เนื่องจากมีความได้เปรียบเรื่องความแม่นยำใน การจำแนกตำแหน่ง อีกทั้งการนำ YOLOv8 ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลเฉพาะ (Custom Dataset) ยังให้ผลลัพธ์ที่ยอดเยี่ยม ดังเช่นงานวิจัยของ Krishna et al. (2024) ที่สร้างชุดข้อมูล เพื่อตรวจจับผู้ขับขี่ไม่สวมหมวกนิรภัยกว่า 1,200 ภาพ ซึ่งโมเดลสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมจริงบนท้องถนนด้วยความถูกต้องถึงร้อยละ 98 สรุปจากการทบทวนงาน วิจัยที่เกี่ยวข้อง: พบว่าอัลกอริทึม YOLOv8 โดยเฉพาะรุ่น Nano

(YOLOv8n) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้ สำหรับตรวจจับและนับจำนวนบุคคล เนื่องจากมีความเร็ว ในการประมวลผลสูง ใช้ทรัพยากรน้อย และมีความแม่นยำ แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีการบดบัง งานวิจัยนี้จึงได้นำ จุดเด่นดังกล่าว มาบูรณาการร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi และเซนเซอร์อินฟราเรด เพื่อสร้างระบบควบคุม เครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อพฤติกรรมผู้ใช้งาน แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่างด้านการประหยัด พลังงานในระดับ อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากการประเมินประสิทธิภาพในระดับอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์แล้ว การบูรณาการ ระบบตรวจจับภาพเข้ากับบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Single-Board Computer) เช่น Raspberry Pi สำหรับทำหน้าที่ เป็นหน่วยประมวลผลปลายทาง (Edge Processing Unit) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในงานสถาปัตยกรรมระบบ ควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากช่วยกำจัดปัญหาคอขวดด้านช่องสัญญาณเครือข่ายและความล่าช้าในการส่งภาพวิดีโอความ ละเอียดสูงขึ้นไปประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Latency) และเพิ่มเสถียรภาพในการป้องกันความเสียหายของข้อมูลส่วน บุคคลภายในพื้นที่วิจัย

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

การวิจัยนี้มีกรอบแนวคิดการวิจัย ดัง Figure 1.

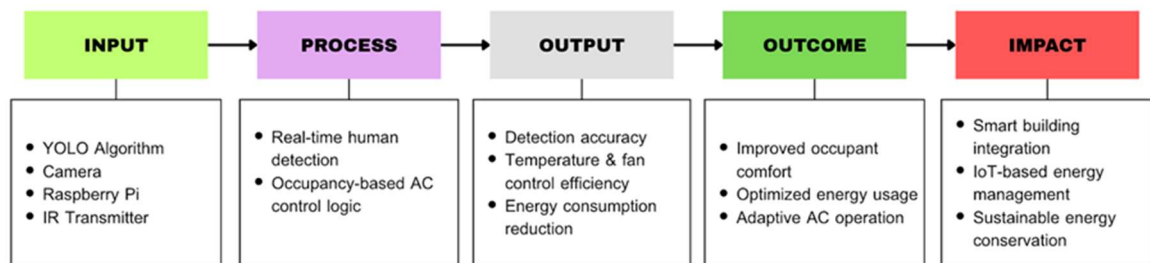


Figure 1. Conceptual Framework

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนา ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะที่สามารถตอบสนองต่อจำนวนผู้ใช้งานภายใน ห้องแบบเรียลไทม์ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ร่วมกับอุปกรณ์ Internet of Things (IoT) กรอบแนวคิด การวิจัยดังแสดงใน Figure 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) ผลลัพธ์เชิงเทคนิค (Output) ผลลัพธ์จากการใช้งานจริง (Outcome) และผลกระทบในระดับระบบ (Impact) โดยระบบจะรับข้อมูลภาพจากกล้องและประมวลผลด้วยอัลกอริทึม YOLO เพื่อทำการตรวจจับ และนับจำนวนผู้ใช้งาน จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ แบบอัตโนมัติ ส่งผลให้สามารถ ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสม ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ยังสามารถต่อยอดไปสู่ การพัฒนาระบบอาคารอัจฉริยะ และระบบจัดการพลังงานในอนาคต

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองและการพัฒนาระบบ (Research and Development) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศที่สามารถตรวจจับจำนวนผู้ใช้งานได้แบบเรียลไทม์ โดยมี ขั้นตอน 5 ขั้นตอนหลักที่ใช้ในการวิจัยและพัฒนานี้ ประยุกต์มาจาก กรอบการวิจัยและพัฒนาแบบ ADDIE Model (Branch, 2009) ซึ่งเป็นแบบจำลองการออกแบบเชิงระบบที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการพัฒนาซอฟต์แวร์และ นวัตกรรมเทคโนโลยี

5.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัย (Hardware and Software Components)

การพัฒนาระบบต้นแบบประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้ ฮาร์ดแวร์ (Hardware): บอร์ดประมวลผลขนาดเล็ก (Raspberry Pi) ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง, กล้องวิดีโอสำหรับจับภาพภายในห้อง, และโมดูลตัวส่ง สัญญาณ

อินฟราเรด (IR Transmitter) สำหรับส่งคำสั่งไปยังเครื่องปรับอากาศ ซอฟต์แวร์และอัลกอริทึม (Software & Algorithm): โมเดลการตรวจจับวัตถุ YOLO (You Only Look Once) ทำหน้าที่ตรวจจับและนับจำนวนบุคคล ในภาพ และภาษา Python สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบและประมวลผลตรรกะเงื่อนไข

5.2 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ (System Development Process)

กระบวนการพัฒนาระบบแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ดังนี้

5.2.1 การออกแบบระบบ (System Design)

วางโครงสร้างการทำงานของระบบให้มีการรับข้อมูลภาพจากกล้อง ส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ จำนวนผู้ใช้งาน และส่งผลลัพธ์ไปสั่งงานโมดูลอินฟราเรดเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศ

5.2.2 การทดสอบและเปรียบเทียบโมเดล (Model Evaluation and Selection)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุในตระกูล YOLO ขนาดเล็ก ได้แก่ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n โดยนำโมเดลไปทดสอบประมวลผลจริงบนบอร์ด Raspberry Pi (Edge Device) เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ภายใต้ทรัพยากรฮาร์ดแวร์ที่จำกัด

5.2.3 การพัฒนาและฝังโมเดลลงระบบ (Model Deployment)

นำโมเดล YOLOv8n ที่ผ่านการคัดเลือกไปติดตั้งและปรับแต่งให้เหมาะสมกับการทำงานบน Raspberry Pi โดยเชื่อมต่อกับระบบรับภาพจากกล้อง และปรับแต่งพารามิเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมจริง

5.2.4 การต่อวงจรและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Circuit Connection and System Integration)

ดำเนินการเชื่อมต่อกล้องและโมดูลอินฟราเรดเข้ากับพอร์ตพิน (GPIO) ของบอร์ด Raspberry Pi

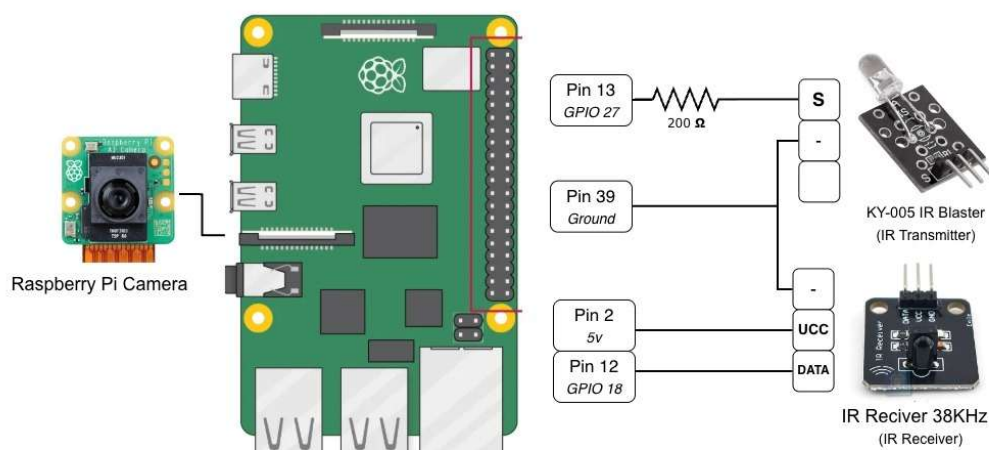


Figure 2. System Architecture and GPIO Configuration

5.2.5 ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณอินฟราเรด

ทำการบันทึกและถอดรหัสสัญญาณ (IR Signal Decoding) จากรีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศ ต้นแบบเพื่อให้บอร์ดสามารถจำลองการส่งสัญญาณคำสั่ง เช่น การเปิด-ปิด, การปรับอุณหภูมิ และความเร็ว พัดลมได้ตรงกับระบบของเครื่องปรับอากาศเดิม

5.3 ขั้นตอนการทำงานหลักของระบบ (System Workflow)

เมื่อระบบเริ่มทำงาน กล้องจะทำการบันทึกภาพภายในห้องแบบเรียลไทม์ จากนั้นภาพจะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อให้โมเดล YOLOv8 ประมวลผลและนับจำนวนผู้ใช้งาน ข้อมูลจำนวนคนที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับตรรกะการตัดสินใจ (Decision Logic) ที่ตั้งไว้ โดยระบบมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (โหมดทำความเย็น) ให้สอดคล้องกับความหนาแน่นของผู้ใช้งานดังนี้

1. จำนวนผู้ใช้งาน 1 – 2 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 27°C
2. จำนวนผู้ใช้งาน 3 – 5 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 25°C
3. จำนวนผู้ใช้งาน 6 – 7 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 24°C
4. จำนวนผู้ใช้งาน 8 – 9 คน: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 23°C
5. จำนวนผู้ใช้งาน 10 คนขึ้นไป: สั่งเปิดเครื่องปรับอากาศและตั้งอุณหภูมิที่ 22°C
6. กรณีไม่พบผู้ใช้งาน: หากระบบตรวจไม่พบผู้ใช้งานติดต่อกันตั้งแต่ 40 รอบการตรวจจับ (1 รอบการ ตรวจจับ เท่ากับ 3 วินาที) ระบบจะส่งคำสั่งปิดเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันความผิดพลาด (False Positive) และลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น

หากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผู้ใช้งานจนถึงเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งสัญญาณ คำสั่งผ่านโมดูลอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสม หรือปิดเครื่องเมื่อไม่มีผู้ใช้งาน พร้อมทั้งอัปเดตสถานะของเครื่องปรับอากาศไว้ในระบบเพื่อป้องกันการส่งสัญญาณซ้ำซ้อน

5.4 ขั้นตอนการทำงานหลักของระบบ (System Workflow)

เมื่อระบบเริ่มทำงาน กล้องจะทำการบันทึกภาพภายในห้องแบบเรียลไทม์ จากนั้นภาพจะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อให้โมเดล YOLOv8 ประมวลผลและนับจำนวนผู้ใช้งาน ข้อมูลจำนวนคนที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไข (Logic) ที่ตั้งไว้ หากมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผู้ใช้งานจนถึงเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะทำการส่งสัญญาณ คำสั่งผ่านโมดูลอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ (Daikin FBA Series, เครื่องปรับอากาศ ประเภทต่อสล็อตลมที่มีตัวรับสัญญาณอินฟราเรด) เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมหรือปิดเครื่อง เมื่อไม่มีผู้ใช้งาน

5.5 การทดสอบระบบและการเก็บรวบรวมข้อมูล (System Testing and Data Collection)

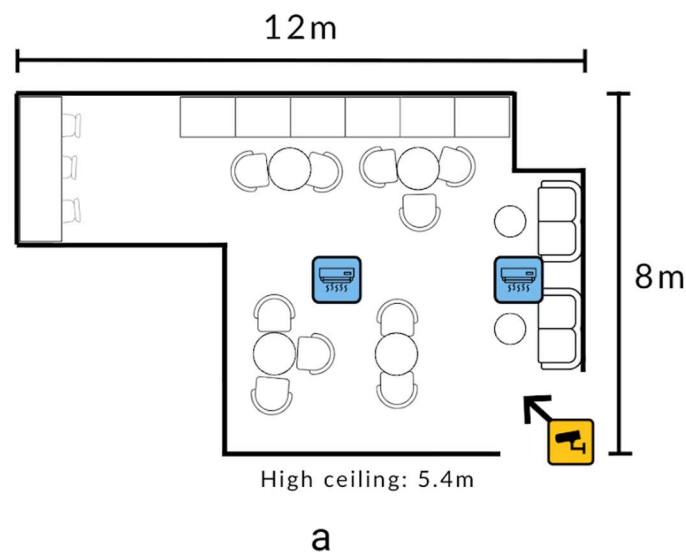


Figure 3. (a) Strategic Camera Positioning for User Density Monitoring; (b) Captured Scene Showcasing YOLOv8 Detection Accuracy During Daylight; and (c) Captured Scene Demonstrating System Robustness During Nighttime

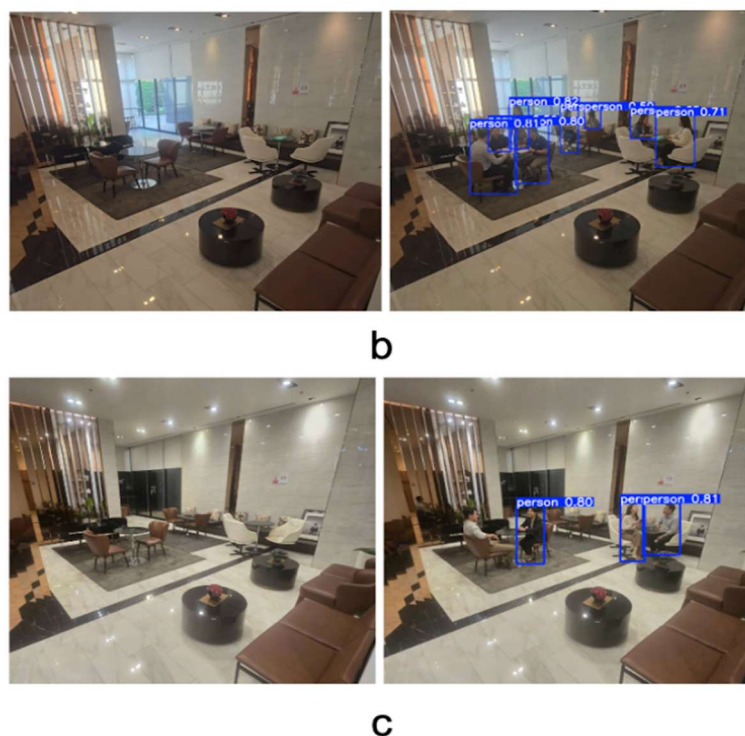


Figure 3. (a) Strategic Camera Positioning for User Density Monitoring; (b) Captured Scene Showcasing YOLOv8 Detection Accuracy During Daylight; and (c) Captured Scene Demonstrating System Robustness During Nighttime (Cont.)

ดำเนินการทดลองภายใน ห้องปฏิบัติการ ขนาด $12 \times 8 \times 5.4$ เมตร (เพดานสูง 5.4 เมตร) ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศประเภทท่อทอลม (Daikin FBA Series) ร่วมกับตัวรับสัญญาณอินฟราเรด และกล้องบันทึกภาพถูกติดตั้งในมุมสูงซึ่งลงมายังพื้นที่ห้องเพื่อประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ครอบคลุมสูงสุด ระบบได้รับการตั้งค่าให้ทำประมวลผลและสร้างบันทึกการทำงานของระบบ (System Logging) ทุก ๆ 1 นาทีแบบเรียลไทม์ จากการรวบรวมข้อมูลการทดสอบได้รายการบันทึกทั้งสิ้น 791 รายการ ซึ่งครอบคลุมทั้งช่วงเวลากลางวันที่มีอิทธิพลจากแสงธรรมชาติและแสงย้อน (413 รายการ) และช่วงเวลากลางคืนที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟภายในอาคาร (378 รายการ)

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงพรรณนาในการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับบุคคล โดยคำนวณตัวชี้วัดหลัก ได้แก่

1. ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE)
2. ค่าความถูกต้องเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy)

เป็นตัวชี้วัดหลัก แทนการใช้ค่า mAP หรือ Precision/Recall ในระดับพิกเซลเฟรมภาพ เนื่องจากตรรกะการตัดสินใจควบคุมเครื่องปรับอากาศ (Control Decision Logic) ในงานวิจัยนี้ อาศัยเพียง “จำนวนผลรวมของบุคคลสะสมในห้อง (Final Numeric Count)” เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการส่งคำสั่งเปลี่ยนสถานะของเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ระบบไม่ได้นำข้อมูลพิกัดตำแหน่ง (Bounding Box Coordinates) ของบุคคลไปใช้ในการตัดสินใจสั่งการ ดังนั้น ค่า MAE (ซึ่งระบุความคลาดเคลื่อนเป็นจำนวน “คน” โดยตรง) และ Weighted Accuracy ของสถานะควบคุม จึงเป็นตัวชี้วัดที่สะท้อนถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของระบบที่พัฒนาขึ้นจริงในทางปฏิบัติ

6. ผลการวิจัย (Results)

การวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อปริมาณผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบในสภาวะการใช้งานจริง โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 4 ส่วนหลักเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีผลการวิจัยดังนี้

6.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุบนบอร์ดประมวลผล

ดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมวลผลและการระบุจำนวนบุคคลในระดับเฟรมภาพของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมตระกูล YOLO ขนาดเล็ก (Nano) จำนวน 3 รุ่น ได้แก่ YOLOv8n, YOLOv10n และ YOLOv12n โดยการรันประมวลผลจริงบนบอร์ด Raspberry Pi ผ่านชุดข้อมูลวิดีโอทดสอบจำนวน 3,575 เฟรม เพื่อนำโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาใช้เป็นแกนหลักในการตัดสินใจสั่งการระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแสดงดัง Table 1.

Table 1. Performance Comparison of YOLO Models on Raspberry Pi

Model	Avg FPS	Avg People Detected (person)	Max People Detected (person)	MAE (person)
YOLOv8n	3.90	5.55	10	3.198
YOLOv10n	4.13	5.83	9	3.021
YOLOv12n	3.46	5.87	10	3.319

จากผลการทดลองใน Table 1. พบว่า YOLOv10n มีความเร็วในการประมวลผลเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.13 FPS และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAE) ในการตรวจจับที่ 3.02 คน ทว่ากลับมีข้อจำกัดในการตรวจจับบุคคลในเฟรมที่มีความหนาแน่นสูง โดยสามารถตรวจจับผู้ใช้งานได้สูงสุดเพียง 9 คน ในขณะที่ YOLOv12n แม้จะมีค่า MAE ต่ำสุดที่ 2.74 คน และจับบุคคลได้สูงสุด 10 คน แต่มีความเร็วต่ำที่สุดเพียง 3.46 FPS ซึ่งอาจมีผลต่อการตอบสนองแบบเรียลไทม์

6.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการส่งสัญญาณอินฟราเรดเพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้เพื่อประเมินความถูกต้องและความน่าเชื่อถือในการทำงานของบอร์ดควบคุมควบคุมเครื่องปรับอากาศอัจฉริยะ (Prototype System) งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการถอดรหัสสัญญาณอินฟราเรดให้อยู่ในรูปแบบ RAW Code ของรีโมทคอนโทรลเครื่องปรับอากาศต้นแบบ และทดสอบการส่งสัญญาณจากโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter รุ่น KY-005) ไปยังตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศประเภทท่อลม (Daikin FBA Series) ภายใต้ตัวแปรด้านระยะทางและตำแหน่งทิศทางในการติดตั้งดังนี้

1. ด้านระยะทางการส่งสัญญาณ: จากการทดสอบพบว่า ที่ระยะห่าง 1 และ 2 เมตร ระบบมีอัตราความสำเร็จในการส่งคำสั่งถึงร้อยละ 100 แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างเป็น 3 เมตร อัตราความสำเร็จจะลดลงเหลือร้อยละ 70 และที่ระยะ 4 เมตร ไม่สามารถส่งคำสั่งได้สำเร็จ (ร้อยละ 0)

2. ด้านตำแหน่งและมุมการส่งสัญญาณ (ทดสอบที่ระยะ 2 เมตร): การติดตั้งโมดูลในเอียงกว่าตัวรับสัญญาณ (มุม 45 องศา) และได้ตัวรับสัญญาณ (มุม 90 องศา) ให้อัตราความสำเร็จสูงสุดร้อยละ 100 ในขณะที่การติดตั้งแบบระดับเดียวกับตัวรับสัญญาณ (มุม 0 องศา) ทำให้อัตราความสำเร็จลดลง (ร้อยละ 80 - 90) และหากมี สิ่งกีดขวางบางส่วน อัตราความสำเร็จจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ระบบสามารถส่งสัญญาณและสั่งการเครื่องปรับอากาศ (เช่น การเปิด-ปิด, การปรับอุณหภูมิ, ความเร็วพัดลม) ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำร้อยละ 100 ณ ระยะห่างที่เหมาะสมไม่เกิน 2 เมตร และจำเป็นต้องติดตั้งในแนวตรงหรือแนวได้ตัวรับสัญญาณของเครื่องปรับอากาศโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight)

6.3 ผลการทดสอบความแม่นยำในการนับจำนวนผู้ใช้งานในห้องทดสอบจริง

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบตรวจจับและนับจำนวนคนด้วยโมเดล YOLOv8n บนฮาร์ดแวร์ Raspberry Pi ในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง ณ ห้องปฏิบัติการขนาด 12 × 8 เมตร โดยเก็บรวบรวมบันทึก Log กิจกรรมทั้งหมด 791

รายการ เพื่อประเมินความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy) และค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ภายใต้ตัวแปรสภาพแสงที่หลากหลาย ดังแสดงใน Table 2.

Table 2. Detection Performance Comparison Across Daytime and Nighttime Conditions

Testing Period	Recorded Events	MAE	Weighted Accuracy
Daytime	413	0.51	91.62%
Nighttime	378	0.37	92.86%
Overall	791	0.44	92.21%

ผลการทดสอบใน Table 1. และ Table 2. ยืนยันว่าระบบควบคุมควบคุมที่พัฒนาขึ้นมีความทนทานสูง (Robustness) ต่อสภาพแสงที่แปรปรวน โดยภาพรวมสามารถรักษาความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักในการนับคนได้สูงถึงร้อยละ 92.21% มีค่าความคลาดเคลื่อนรวมเฉลี่ยต่ำเพียง 0.44 คน มีความคงที่ ลดการเกิดเงาที่ซับซ้อน ต่างจากช่วงเวลากลางวันที่มีปัจจัยเรื่องแสงธรรมชาติและแสงย้อนที่ส่งผลให้ค่า MAE สูงขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.51 คน ประสิทธิภาพตามความหนาแน่นในภาพรวมทั้งสองช่วงเวลา ระบบมีความแม่นยำสูง กว่าร้อยละ 96-97 เมื่อมีผู้ใช้งานในพื้นที่น้อย (1-4 คน) อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนผู้ใช้งานในห้องเพิ่มขึ้นสูงตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป อัตราความถูกต้องมีแนวโน้มลดลงตามลำดับลงมาอยู่ในช่วงร้อยละ 77.82% - 89.71% โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน MAE เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2.44 คน ในขณะที่มีคนใช้งานหนาแน่นสูง 11 คน จากการตรวจสอบพฤติกรรมเชิงลึกของข้อมูล พบว่าสาเหตุหลักของข้อจำกัดนี้เกิดจาก การเดินบดบังกันเองทางกายภาพของบุคคล (Person-to-Person Occlusion) และขีดจำกัดจากมุมมองของกล้องที่มีพิกัดคงที่ ไม่ใช่อุปกรณ์ระดับความเข้มของแสงภายในพื้นที่แต่อย่างใด

6.4 ผลการทดสอบการควบคุมเครื่องปรับอากาศและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้อง

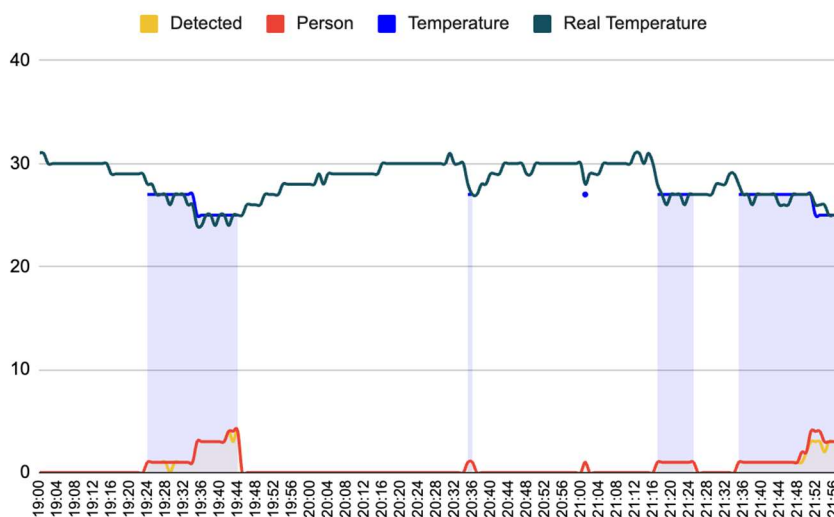


Figure 4. Comparative Analysis of Setpoint Temperature vs. Ambient Room Temperature during Nighttime Operations

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 19.00 – 22.00 น. ระบบสามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศผ่านสัญญาณอินฟราเรดได้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้งานและตรรกะที่กำหนดอย่างแม่นยำ โดยเมื่อตรวจพบผู้ใช้งาน 1–2 คน ระบบจะปรับอุณหภูมิเป้าหมายเป็น 27 องศาเซลเซียส ทำให้อุณหภูมิห้องลดลงจาก 30 องศาเซลเซียสมาอยู่ในเกณฑ์น่าสบายเฉลี่ยที่ระดับ 25–27 องศาเซลเซียส และในกรณีที่ไม่มีพบผู้ใช้งาน (0 คน) ติดต่อกันเกิน 12 รอบประมวลผล (36 วินาที) ระบบจะ

ส่งสัญญาณปิดเครื่องปรับอากาศ (Power Off) โดยอัตโนมัติทันที เพื่อลดพลังงานสูญเสียไปในสภาวะห้องว่าง จากการเปรียบเทียบฐานข้อมูล Log การทำงานจริงรวม 323 นาที ของระบบควบคุมอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น กับระบบปรับอากาศแบบตั้งค่าอุณหภูมิคงที่ทั่วไป ระบบที่นำเสนอสามารถสั่งปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติในขณะที่ไม่มีผู้ใช้งานได้สะสมเป็นเวลา 53 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 16.41% ของเวลาทั้งหมด ช่วยลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับระบบทั่วไปที่เปิดแอร์ต่อเนื่อง

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การวิจัยเพื่อพัฒนาและทดสอบต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบตอบสนองต่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานภายในห้อง โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจจับบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับบอร์ดประมวลผล Raspberry Pi สามารถสรุปผลการทดลองและการทำงานของระบบได้ 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

1. ระบบควบคุมอัจฉริยะสามารถวิเคราะห์ความหนาแน่นของผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ได้เป็นอย่างดี โดยผลการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าโมเดล YOLOv8n มีความเหมาะสมเชิงวิศวกรรมมากที่สุดสำหรับการติดตั้งบนบอร์ดประมวลผลขนาดเล็ก โดยมีความเร็วในการตรวจจับ 3.90 FPS

2. งานวิจัยนี้สามารถประกอบและติดตั้งระบบควบคุมต้นแบบบนบอร์ด Raspberry Pi ร่วมกับกล้องและโมดูลส่งสัญญาณอินฟราเรด (IR Transmitter) ได้สำเร็จ โดยผลการทดสอบการส่งสัญญาณควบคุมเครื่องปรับอากาศทางกายภาพมีอัตราความสำเร็จสูงถึงร้อยละ 100 ณ ระยะห่างที่ไม่มีสิ่งกีดขวางไม่เกิน 2 เมตร

3. จากการเก็บข้อมูลบันทึก Log การทำงานจริงในห้องปฏิบัติการอัจฉริยะต่อเนื่อง 5 วันทำการ (รวม 791 รายการ) พบว่าระบบตรวจจับบุคคลมีความทนทานและมีความถูกต้องเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Accuracy) สูงถึงร้อยละ 92.21% และมีค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ต่ำเพียง 0.44 คน โดยสภาวะเวลากลางคืนที่มีแสงคงที่จากหลอดไฟมีความถูกต้องสูงที่สุด (ร้อยละ 92.86%)

4. ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมระดับอุณหภูมิห้องให้อยู่ในสภาวะน่าสบายเฉลี่ยที่ 25–27 องศาเซลเซียสได้ตามตรรกะที่กำหนด และเมื่อพิจารณาฐานข้อมูล Log จริง 323 นาที พบว่าระบบสามารถปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติในสภาวะห้องว่างได้สะสมถึง 53 นาที คิดเป็นอัตราการลดเวลาทำงานที่ไม่จำเป็น (Duty Cycle) ลงร้อยละ 16.41% และรักษาอุณหภูมิเป้าหมายเฉลี่ยที่ 25.42 องศาเซลเซียส (สูงกว่าระบบตั้งค่าคงที่ทั่วไป 1.42 องศาเซลเซียส)

สรุปภาพรวมการวิจัย: ต้นแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งานที่พัฒนาขึ้น สามารถทำงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยช่วยรักษาสภาพความสบายของผู้ใช้งานไปพร้อมกับการลดการสิ้นเปลือง พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นได้อย่างเป็นรูปธรรม ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบควบคุมพลังงานอัจฉริยะ (Smart Energy Control System) และระบบอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) ในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศตามปริมาณผู้ใช้งานที่ตรวจสอบด้วย AI โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi สามารถนำผลการวิจัยมาอภิปรายได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพและความทนทานของโมเดล YOLOv8n ในสภาวะแวดล้อมจริง: ผลการวิจัยพบ ว่าระบบสามารถ ตรวจจับและนับจำนวนผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำตลอดทั้งวัน โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมสูงถึงร้อยละ 92.21 และมีค่า MAE รวมเพียง 0.44 คน การที่ผลการวิจัยแสดงให้เห็นความแม่นยำในระดับสูงทั้งในสภาพแสงธรรมชาติ (กลางวัน) และแสงจากหลอดไฟ (กลางคืน) สะท้อนให้เห็นถึงความทนทาน (Robustness) ของโมเดล YOLOv8n ที่ถูกออกแบบมาให้ประมวลผลได้รวดเร็วและแม่นยำแม้บนอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัดอย่าง Raspberry Pi อย่างไรก็ตาม แม้สภาพแสงจะไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ แต่ระบบยังคงเผชิญความท้าทายเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น (ตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการบดบังกันเอง (Occlusion) ประเด็นนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen et al. (2025) และ Jayaram et al. (2024) ที่ระบุว่า การตรวจจับบุคคลในพื้นที่หนาแน่นมักประสบปัญหาการบดบัง อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดหลักทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์มากกว่าปัจจัยด้านความเข้มของแสง

2. การควบคุมอัตโนมัติและสภาวะความสบาย ระบบสามารถรักษาระดับอุณหภูมิห้องจริงให้อยู่ในเกณฑ์ 25 – 27 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่สอดคล้องกับทฤษฎีสภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ของผู้อยู่อาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นตามงานวิจัยของ Rangsiraksa (2006) และ Intharachathorn et al. (2023) ที่ระบุว่ามนุษย์สามารถมีความพึงพอใจและรู้สึกสบายทางอุณหภูมิได้ในช่วงดังกล่าวโดยไม่จำเป็นต้องตั้งอุณหภูมิคงที่ไว้ที่ 24 องศาเซลเซียสตลอดเวลา การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติผ่านกลไกป้อนกลับ (Feedback Control) นี้จึงตอบโจทยทั้งด้านความสบายและสนับสนุนแนวคิดระบบควบคุมอัตโนมัติเชิงอุตสาหกรรม

3. ด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารอัจฉริยะการปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติเมื่อห้องว่างช่วยลดเวลาการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้ทันทีร้อยละ 16.41% ประกอบกับการปรับเพิ่มอุณหภูมิเป้าหมายเฉลี่ยขึ้นมาอยู่ที่ 25.42 องศาเซลเซียส สอดคล้องอย่างมีนัยสำคัญกับข้อกำหนดการอนุรักษ์พลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency, 2017) ที่ระบุว่าการปรับเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศขึ้นทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 6–10 ดังนั้นระบบที่นำเสนอจึงเป็นแนวทางที่ใช้งานได้จริงในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์และ IoT เพื่อยกระดับอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) สอดรับกับแนวคิดการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืนในยุคปัจจุบัน (Massey, 2025)

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากผลการวิจัยและข้อจำกัดที่พบ งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์และการพัฒนาต่อยอดในงานวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. การติดตั้งและปรับมุมมองของกล้อง: มุมมองและตำแหน่งของกล้องมีผลโดยตรงต่อความแม่นยำของการตรวจจับ ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริง ควรพิจารณาเพิ่มจำนวนกล้องหรือปรับปรุง ตำแหน่งการติดตั้งกล้องให้เหมาะสมกับขนาดและสภาพแวดล้อมของห้อง เพื่อลดมุมมองและเพิ่มความครอบคลุมในการตรวจจับบุคคลภายในห้องให้แม่นยำที่สุด
2. การบูรณาการร่วมกับระบบอาคารอัจฉริยะ: สามารถนำระบบประมวลผลและควบคุมที่พัฒนา ขึ้นไปต่อยอดเพื่อใช้งานร่วมกับระบบจัดการพลังงานของอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและประหยัดพลังงานในระดับอาคารหรือระดับองค์กร ได้อย่างเป็นรูปธรรม

9.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การพัฒนาอัลกอริทึมติดตามบุคคล (Object Tracking): งานวิจัยในอนาคตควรรนำอัลกอริทึมสำหรับ การติดตามบุคคลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ YOLOv8 เพื่อช่วยลดปัญหาการนับจำนวนคนซ้ำ หรือการตรวจจับตกหล่น ในกรณีที่ผู้ใช้งานเดินบดบังกัน ซึ่งจะทำการนับจำนวนมีความเสถียรมากยิ่งขึ้น
2. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT): ควรพัฒนาให้ระบบสามารถเชื่อมต่อ กับเครือข่าย Internet of Things (IoT) เพื่อขยายขีดความสามารถให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบสถานะ การทำงาน ควบคุมเครื่องปรับอากาศ และเก็บข้อมูลสถิติการใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบศูนย์กลางได้
3. การขยายพื้นที่ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย: เนื่องจากงานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบใน พื้นที่ห้องทดลองเพียงห้องเดียว งานวิจัยครั้งต่อไปจึงควรรนำระบบไปทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ห้องเรียน ห้องประชุม หรือพื้นที่สำนักงาน เพื่อประเมินและปรับปรุงประสิทธิภาพ ของระบบให้พร้อมรองรับสถานการณ์การใช้งานจริงในทุกรูปแบบ[คลิกที่นี่เพื่อพิมพ์รายละเอียด]

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยนี้ขอเปิดเผยการใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) ในกระบวนการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ โดยมีการใช้เครื่องมือ GitHub Copilot เพื่อสนับสนุนในขั้นตอนการเขียนและพัฒนาชุดคำสั่ง (Source Code) ด้วยภาษา Python

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Tarin Gurin: Investigation, Data Curation, Software, Writing – Original Draft

Chaiyaporn Khemapatapan: Conceptualization, Methodology, Validation, Supervision, Writing – Review & Editing

The authors read and approved the final manuscript.

12. เอกสารอ้างอิง (References)

- Alashrafi, L., Badawood, R., Almagrabi, H., Alrige, M., Alharbi, F., & Almatrafi, O. (2025). Benchmarking Lightweight YOLO Object Detectors for Real-Time Hygiene Compliance Monitoring. *Sensors*, 25(19), 6140. <https://doi.org/10.3390/s25196140>
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- Chen, Z., Xie, X., Qiu, T., & Yao, L. (2025). Dense-Stream YOLOv8n: A Lightweight Framework for Real-Time Crowd Monitoring in Smart Libraries. *Scientific Reports*, 15(1), 11618. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94659-x>
- Department of Alternative Energy Development and Energy Efficiency. (2017). *Guidelines for Energy-Efficient Building Design*. Ministry of Energy. <https://2e-building.dede.go.th/content/คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน> (In Thai)
- Intharachathorn, K., Jareemit, D., & Rujikieygunjorn, S. (2023). Skin Temperature and Thermal Sensation: A preliminary study for development of personal comfort model based on physiological responses. *Built Environment Inquiry*, 22(1), 55–72. <https://doi.org/10.14456/bei.2023.4>
- Jayaram, D., Vedagiri, S., & Ramachandra, M. (2024). Framework for Multiple Person Identification Using YOLOv8 Detector: A Transfer Learning Approach. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(3), 2790-2802. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i3.pp2790-2802>
- Krishna, R. A., Sandeep, P., & Sonu, P. (2024, June 24-28). An Efficient Model for Camera Mounted Helmet and Number Plate Detection on Custom Dataset. *2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10724182>
- Massey, J. (2025). *What is Sustainable Energy Management?*. MRI Software AE. <https://www.mrisoftware.com/ae/blog/what-is-sustainable-energy-management>
- National Statistical Office. (2025). *Report on Household Energy Expenditure 2024*. Ministry of Digital Economy and Society. https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2025/20250529151158_12832.pdf (In Thai)
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Rangsiraksa, P. (2006, September 6-8). Thermal Comfort in Bangkok Residential Buildings, Thailand. *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. 1-6. Passive and Low Energy Architecture.
- Sohan, M., Sai Ram, T., & Rami Reddy, Ch. V. (2024). A Review on YOLOv8 and Its Advancements. In Jacob, I. J., Piramuthu, S., & Falkowski-Gilski, P. (Eds), *Data Intelligence and Cognitive Informatics*, 529–545. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7962-2_39
- Yulita, W., Ramadhani, U. A., Mufidah, Z., Atmajaya, G. K., Bagaskara, R., Kesuma, R. I., & Apriianda, M. M. (2025). Improved Human Image Density Detection with Comparison of YOLOv8 Depth Level Architecture and Drop-Out Implementation. *Journal of Soft Computing Exploration*, 6(1), 33–39. <https://doi.org/10.52465/joscex.v6i1.556>