

การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือก บนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

สิทธิโชค อุ่นแก้ว^{1,*}, และ นัสรี ม่องพร้าว¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: sittichok.a@rmutsv.ac.th โทรศัพท์: 094-5982453

(รับบทความ: 5 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 30 พฤษภาคม 2568; ตอรับบทความ: 4 มิถุนายน 2568)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันกระบวนการรับจดหมายหรือพัสดุที่มีความสำคัญยังคงพึ่งพาการตรวจสอบด้วยตนเองเป็นหลัก ซึ่งอาจก่อให้เกิดความล่าช้าหรือการพลาดข้อมูลสำคัญได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบตู้จดหมายอัจฉริยะที่สามารถแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ โดยใช้พลังงานทางเลือกร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที เพื่อเพิ่มความสะดวก ความปลอดภัย และความแม่นยำในการตรวจจับจดหมาย ระบบต้นแบบประกอบด้วยหน่วยงานหลัก 4 ส่วน ได้แก่ (1) หน่วยจ่ายพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ประจุด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (2) หน่วยควบคุมกลางที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เอสพี-32 (3) หน่วยตรวจจับที่สามารถตรวจจับการเปิดฝาตู้และการเคลื่อนไหว และ (4) หน่วยแจ้งเตือนที่ส่งภาพพร้อมข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์โดยอัตโนมัติ ระบบได้ถูกติดตั้งและทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงภายใต้เงื่อนไขที่หลากหลาย ตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ในการประเมินผลประกอบด้วย ความแม่นยำในการตรวจจับ ระยะเวลาในการตอบสนองของการแจ้งเตือน และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทางเลือก ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ โดยสามารถแจ้งเตือนได้อย่างแม่นยำร้อยละ 100 และรักษาระดับพลังงานของแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละวันโดยไม่ต้องพึ่งพาแหล่งจ่ายไฟภายนอก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตู้จดหมายอัจฉริยะที่นำเสนอมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ช่วยลดภาระในการตรวจจดหมายด้วยตนเอง เพิ่มความสะดวกและปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน และสามารถบูรณาการเข้ากับระบบสมาร์ทโฮมในยุคปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตู้จดหมายอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พลังงานทางเลือก ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ เซลล์สุริยะ

การอ้างอิงบทความ: สิทธิโชค อุ่นแก้ว และ นัสรี ม่องพร้าว, "การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 3, หน้า 69-83, 2568.

Design and Development of a Smart Mailbox System Powered by Alternative Energy Based on the Internet of Things

Sittichok Aunkaew^{1*}, Natsaree Mongpra¹

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding Author: sittichok.a@rmutsv.ac.th, Tel: 094-5982453

(Received: April 5, 2025; Revised: May 30, 2025; Accepted: June 6, 2025)

Abstract

In the present day, the process of receiving important mail or parcels still relies heavily on manual checking, which can lead to delays or missed information. This research aims to design and develop a prototype of a smart mailbox that provides automatic notifications powered by alternative energy, utilizing Internet of Things (IoT) technology to enhance convenience, security, and accuracy in mail detection. The prototype system comprises four main modules: (1) a power supply unit utilizing solar-charged batteries, (2) a central control unit based on the ESP32 microcontroller, (3) a sensing unit capable of detecting mailbox openings and motion, and (4) a notification unit that automatically sends images and alert messages via the LINE application. The system was deployed and tested in a real-world environment under various conditions. Key performance indicators included detection accuracy, notification response time, and energy efficiency of the alternative power source. Experimental results demonstrated that the system operated accurately and reliably, achieving 100% notification accuracy and maintaining sufficient battery charge for daily operation without external power sources. The findings indicate that the proposed smart mailbox has strong potential for practical implementation. It effectively reduces the burden of manual mail checking, enhances user convenience and security, and can be integrated efficiently into modern smart home ecosystems.

Keywords: Smart Mailbox, Internet of Things (IoT), Alternative Energy, Automatic Notification System, Solar Cell

Please cite this article as: S. Aunkaew and N. Mongpra, "Design and Development of a Smart Mailbox System Powered by Alternative Energy Based on the Internet of Things," *The Journal of Engineering and Industrial Technology*, Kalasin University, vol. 3, no. 3, pp. 69-83, 2025.

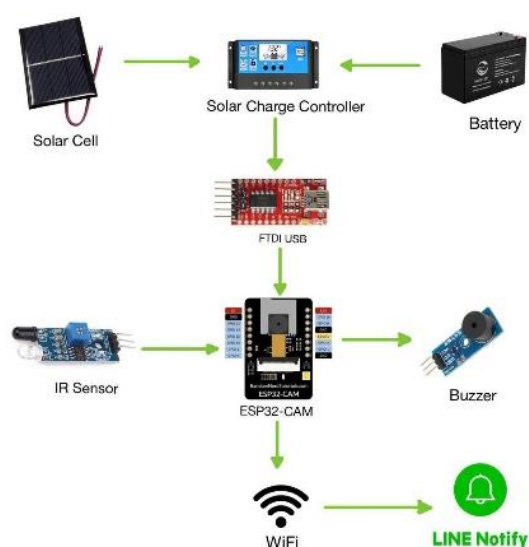
บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ระบบอัตโนมัติและการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้คนมากยิ่งขึ้น หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาตู้รับจดหมายอัจฉริยะที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและแจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อมีจดหมายหย่อนลงตู้ [1, 2] ระบบนี้จึงถูกออกแบบมาเพื่อตอบโจทย์การเพิ่มความสะดวกและทันต่อเวลาในการรับจดหมาย ซึ่งนำหลักการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงภาคส่วนต่าง ๆ ที่นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและการปรับปรุงคุณภาพชีวิต [3, 4] เพื่อพัฒนาวิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปใช้ในวงกว้าง งานวิจัยด้านสมาร์ทโฮมและสมาร์ทซิตี้ได้แสดงให้เห็นศักยภาพของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการสร้างสภาพแวดล้อมที่มีความปลอดภัยและสะดวกยิ่งขึ้น [5-7] การพัฒนาระบบกล่องจดหมายอัจฉริยะจึงเป็นก้าวสำคัญในการแก้ไขความท้าทายของการจัดส่งพัสดุในยุคปัจจุบัน [2], [8] โดยการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้มีความปลอดภัย ความสะดวกสบาย และความสามารถในการตรวจสอบแบบเวลาจริง [9-11] การตอบรับเชิงบวกจากผู้ใช้งานแสดงให้เห็นว่าการนำนวัตกรรมเช่นนี้มาใช้สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น การโจรกรรมและการจัดส่งที่พลาดไปทำให้กล่องจดหมายอัจฉริยะมีคุณค่าในสังคมที่ขับเคลื่อนในปัจจุบัน

นอกจากนี้ ความก้าวหน้าในเทคโนโลยีพลังงานทางเลือก เช่น เซลล์สุริยะขนาดเล็ก [12] ทำให้สามารถลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อรวมเข้ากับเทคโนโลยีการจัดการพลังงานอัจฉริยะ [4] ในด้านโครงสร้างระบบ ตู้จดหมายอัจฉริยะนี้ได้ผสานเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เช่น ESP32 ซึ่งเป็นที่นิยมในการพัฒนาอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในปัจจุบัน [1, 3] การใช้ตัวรับรู้ (Sensor) ตรวจสอบการเปิดและการเคลื่อนไหวในระบบยังอาศัยแนวคิดการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายที่มีความเสถียรและประหยัดพลังงาน [13] และยังมีการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันไลน์หรือ 텔레แกรม (Telegram) [14] เพื่อส่งข้อมูลแจ้งเตือนแบบทันที ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ Mobile Cloud Computing ที่กำลังเป็นที่นิยมในการส่งข้อมูล IoT [2, 15] ภาพรวมของตู้จดหมายอัจฉริยะ ดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบ 4 หน่วย คือ (1) หน่วยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ที่ประจุผ่านเซลล์สุริยะ (2) หน่วยควบคุมกลางโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี-32 (ESP-32) (3) หน่วยตรวจการเปิดตู้และการเคลื่อนไหว และ (4) หน่วยแจ้งเตือนที่ส่งภาพถ่ายพร้อมข้อความผ่านแอปพลิเคชันไลน์อัตโนมัติ [11] ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่องค์การสากลกำหนดในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานอัจฉริยะสำหรับบ้านและเมืองอัจฉริยะ [3, 10] ทั้งนี้ สมมติฐานของระบบคาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนและลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานไฟฟ้าภายนอกได้อย่างมีจริงทั้งในพื้นที่เมืองและชนบท [8, 16]



รูปที่ 1 ภาพรวมของตู้จดหมายอัจฉริยะ

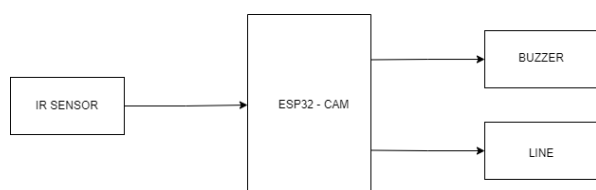
สิทธิโชค อุ่นแก้ว และ นสรี ม่องพรา, การออกแบบและพัฒนาระบบตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

บทความวิจัย (Research Article)

2. การออกแบบและสร้างวงจร

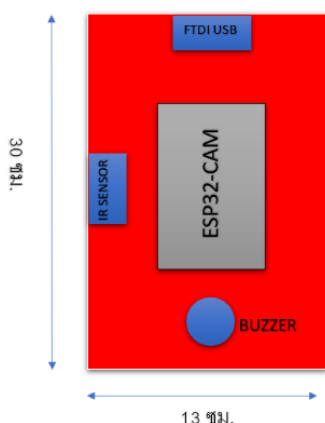
2.1 การออกแบบ การจัดวางอุปกรณ์

การออกแบบระบบดังรูปที่ 2 จะประกอบด้วย ส่วนควบคุม (Control) ส่วนระบบ (System) และ ส่วนตัวชี้บอก (Indicator)



รูปที่ 2 การออกแบบระบบ

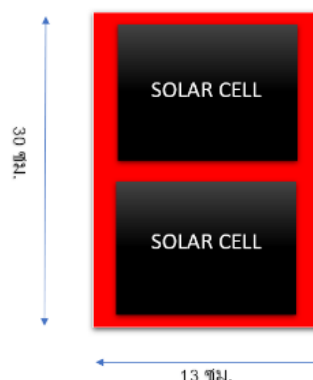
โดยลักษณะการออกแบบภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะที่มีความกว้างขนาด 13 เซนติเมตร และความยาวขนาด 30 เซนติเมตร จะจัดวางให้ตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด (IR Sensor) บัซเซอร์ (Buzzer) ตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรม (FTDI USB) และกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 (ESP32-CAM) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะ

ลักษณะการออกแบบภายนอกของตู้จดหมายส่วนบนมีความกว้างขนาด 13 เซนติเมตร และความ

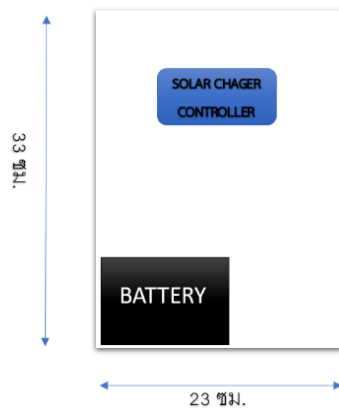
ยาวขนาด 30 เซนติเมตร โดยจัดวางให้เซลล์สุริยะจำนวน 2 แผง ความกว้างขนาด 110 มิลลิเมตร และความยาวขนาด 136 มิลลิเมตร วางไว้ที่ส่วนบนสุดของตู้จดหมายอัจฉริยะที่เป็นรูปทรงเหมือนหลังคาบ้านทรงจั่ว (Gable Roof) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภายนอกตู้จดหมายอัจฉริยะส่วนบนสุด

ลักษณะการออกแบบภายในของตู้ไฟกั้นน้ำที่มีความกว้างขนาด 23 เซนติเมตร และความยาวขนาด 33 เซนติเมตร โดยจัดวางให้ตัวควบคุมการชาร์จสุริยะ (Solar Charge Controller) อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางค่อนไปทางส่วนบน และแบตเตอรี่อยู่ตำแหน่งด้านล่างซ้ายของตู้ไฟกั้นน้ำ ซึ่งเลือกใช้แผงเซลล์สุริยะขนาด 10 วัตต์ ที่แรงดัน 12 โวลต์ จำนวน 2 แผงต่อขนานกันได้ 20 วัตต์ โดยพลังงานรวมทั้งระบบ 0.25 แอมแปร์ x 24 ชั่วโมง เท่ากับ 6 แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) โดยกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 ใช้ 160-200 มิลลิแอมแปร์ ในโหมดปกติ และ 70-100 มิลลิแอมแปร์ ในโหมดนอน (Sleep) และระบบเลือกใช้แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 โวลต์ 8 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังรูปที่ 5

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 5 การจัดวางอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟภายใต้แผงน้ำ

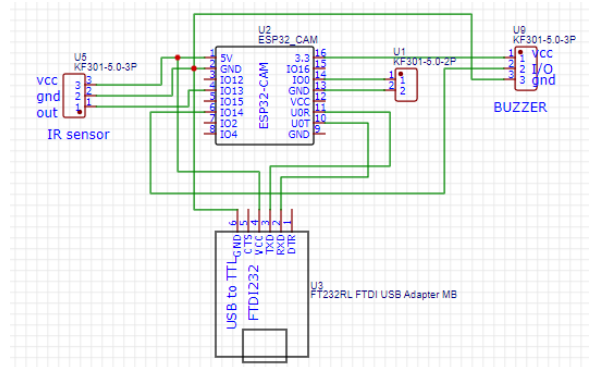
2.2 การออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนแรกก่อนจะเริ่มออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะนำโมดูลที่เกี่ยวข้องกับวงจรทั้งหมดที่จะใช้มาเรียงต่อกัน เริ่มจากตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด บัสเซอร์ ตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรม นำทั้งหมดไปต่อเข้ากับกล้องถ่ายรูปแบบอีเอสพี-32 ดังรูปที่ 6

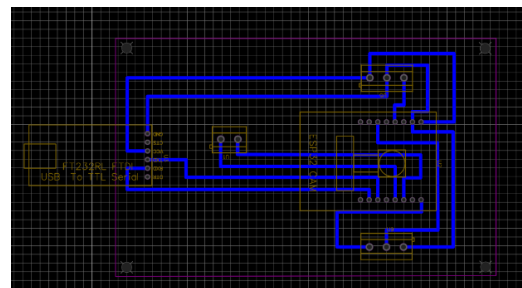


รูปที่ 6 ส่วนประกอบก่อนออกแบบวงจร

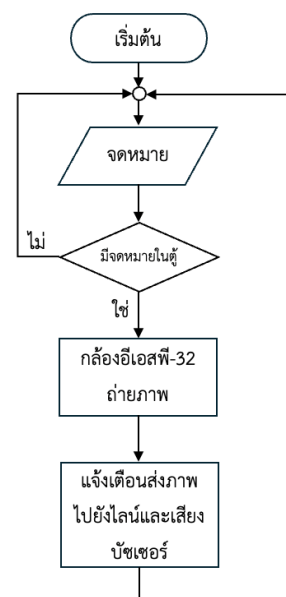
ทำการออกแบบวงจรในโปรแกรม Easy EDA ที่ช่วยในการสร้างวงจรเคอร์ร่าง (Circuit Schematic) ที่ต่อประสานวงจรดังรูปที่ 7 ที่ใช้สำหรับการนำไปสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board: PCB) ดังรูปที่ 8 และมีขั้นตอนวิธีการทำงานดังรูปที่ 9



รูปที่ 7 การออกแบบวงจรตู้จดหมายอัจฉริยะ



รูปที่ 8 การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์

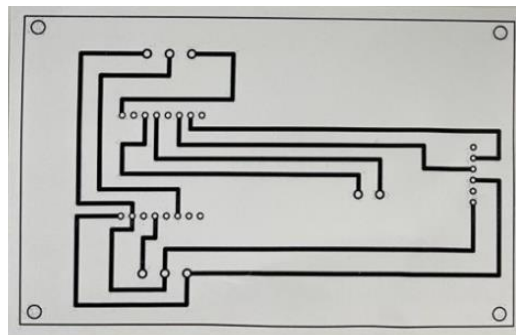


รูปที่ 9 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

2.3 การสร้างวงจรต้นแบบตู้จดหมายอัจฉริยะ

หลักจากได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 8 นำไปพิมพ์ลงในกระดาษโฟโต้ขนาด A4 (A4 Photo) ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์จุดได้ดังรูปที่ 10 จากนั้นนำแผ่นทองแดงสำหรับทำแผ่นวงจรพิมพ์โดยตัดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการหรือมีขนาดเท่ากับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้จัดพิมพ์ไว้ดังรูปที่ 11 ขัดผิวแผ่นทองแดงด้วยสก๊อตช์ไบรต์ (Scotch-Brite) และล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด เช็ดให้แห้งดังรูปที่ 12 หลังจากนั้นนำกระดาษวงจรพิมพ์ที่ตัดไว้แล้วมาวางบนแผ่นทองแดงพรมน้ำให้ทั่วกระดาษและชุบให้ทั่วทั้งแผ่นไม่ให้เหลือฟองอากาศ และนำไปห่อกระดาษ 1 ชั้นเพื่อทำการรีดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเตารีด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที โดยใช้ความร้อนที่เหมาะสมดังรูปที่ 13 เมื่อรีดเสร็จแล้วนำมาแช่น้ำประมาณ 10-15 นาที เพื่อเอากดาษออกจากแผ่นทองแดงแล้วตรวจสอบความสมบูรณ์ของลายเส้นแผ่นวงจรพิมพ์ หากมีรอยขาดหรือไม่คมชัดจะต้องทำการใช้ปากกาหมึกถาวร (Permanent Marker) วาดลายเส้นให้สมบูรณ์

นำแผ่นวงจรพิมพ์ไปแช่น้ำยากัดแผ่นวงจรพิมพ์ สัดส่วนน้ำยากัด 1 ผาต่อน้ำ 2 ผา แล้วใช้เครื่องเขย่าอัตโนมัติจนกััดเสร็จเรียบร้อยดังรูปที่ 14 สุดท้ายของขั้นตอนนี้ให้นำไปล้างให้สะอาดและเช็ดให้แห้งทำการตรวจสอบด้วยมัลติมิเตอร์ว่าวงจรที่ได้สมบูรณ์หรือไม่ เช่น ลายเส้นขาดหรือลัดวงจร เป็นต้น หากมีปัญหาให้รีบทำการแก้ไข หลังจากนั้นเช็ดหมึกพิมพ์และรอยเส้นจากการวาดบนแผ่นวงจรพิมพ์ออกด้วยทินเนอร์เพื่อทำความสะอาดได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 10 การตัดกระดาษแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 11 การตัดแผ่นทองแดงตามขนาดต้องการ



รูปที่ 12 การขัดผิวแผ่นทองแดง

จากนั้นการนำไปเจาะรูตามทีออกแบบไว้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้ดอกสว่านขนาด 0.8 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 16 และนำไปทาน้ำยาเคลือบแผ่นทองแดงเพื่อไม่ให้เส้นทองแดงเกิดสนิมทองแดงแล้วตากแดดให้แห้งสนิท

บทความวิจัย (Research Article)



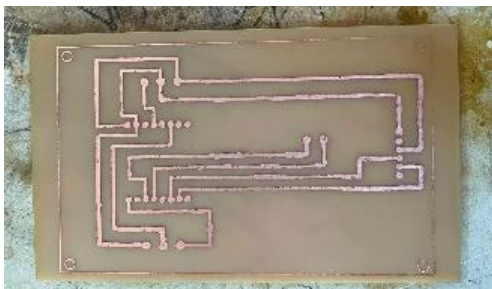
รูปที่ 13 การรีดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเตารีด



รูปที่ 16 การเจาะรูบนแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 14 การกัดแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเขย่า
อัลตราโซนิก



รูปที่ 15 การเซตแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยทินเนอร์



รูปที่ 17 การบัดกรีอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์

บัดกรีอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 17 และรูปที่ 18 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่วางและบัดกรีเสร็จสมบูรณ์แล้ว เพื่อให้แน่ใจหลังจากการบัดกรีวงจรทั้งหมดบนแผ่นวงจรพิมพ์แล้วต้องตรวจสอบรอยบัดกรีและลายทองแดงว่าเกิดความเสียหายจากความร้อนการบัดกรีหรือไม่ด้วยมัลติมิเตอร์ หลังจากนั้นทดสอบจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรเพื่อตรวจสอบจุดแต่ละจุด (Test Point) การทำงานของวงจรโดยรวม

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 18 แผ่นวงจรพิมพ์เสร็จสมบูรณ์

3. การประกอบอุปกรณ์ของตู้จดหมายอัจฉริยะและเซลล์สุริยะ

3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านในตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนที่ 1 ใช้ท่อหัดขนาด 8 มิลลิเมตร ในการหุ้มสายไฟฟ้าเพื่อความเป็นระเบียบของสายไฟ ต่อมาติดตั้งกล่องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 ตัวรับรู้วัตถุแบบอินฟราเรด บัสเซอร์ และตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรมเข้ากับแผงวงจร และใช้เทปพันสายไฟ 3M พันรอบข้อต่อของตัวแปลงยูเอสบีเป็นอนุกรมเข้ากับแผงวงจรกับขาถังปลาตัวเมียที่อยู่บนแผงวงจร เพื่อกันการหลวมและหลุดของสายไฟดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 การใช้ท่อหัดหุ้มสายไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 เจาะข้างกล่องของตู้จดหมายเพื่อใช้เป็นทางเดินสายไฟของแหล่งจ่ายไฟ โดยจะทำเครื่องหมายก่อนเจาะ จากนั้นทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดก่อนนำไปติดตั้งภายในตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 การเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 3 การเชื่อมต่อสายไฟและสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้วนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปยึดติดกับผนังภายในของตู้จดหมายอัจฉริยะและทำการจัดระเบียบสายไฟและสายสัญญาณให้เรียบร้อยสวยงาม โดยสายไฟและสายสัญญาณแต่ละเส้นต้องเผื่อความยาวเอาไว้ เพราะถ้าเกิดสายไฟสั้นเกินไปหรือมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น การแก้ไขจะทำได้ค่อนข้างยากลำบากดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การนำแผ่นวงจรไปยึดติดกับผนังด้านในของตู้จดหมายอัจฉริยะ

บทความวิจัย (Research Article)

3.2 อุปกรณ์ที่ติดตั้งภายนอกตู้จดหมายอัจฉริยะ

การต่อสายไฟแผงโซลาร์เซลล์เข้าด้วยกันโดยจะใช้รูปแบบการต่อแบบขนาน เพื่อต้องการเพิ่มจำนวนวัตต์จะเป็นการนำสายไฟขั้วบวกต่อกับขั้วบวก และขั้วลบต่อกับขั้วลบ จากนั้นใช้สายยางใสขนาด 4 มิลลิเมตรหุ้มสายไฟเอาไว้ เพื่อป้องกันน้ำหรือฝนที่ตกลงมาที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสายไฟ และติดตั้งแผงเซลล์สุริยะส่วนบนของตู้จดหมายอัจฉริยะที่เป็นรูปทรงเหมือนหลังคาบ้านทรงจั่ว หลังจากนั้นทำการยึดติดเข้ากับไม้กระดานที่มีความกว้างขนาด 17.5 เซนติเมตร และความยาวขนาด 59.5 เซนติเมตร ให้แน่นดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 การต่อสายไฟกับแผงเซลล์สุริยะแบบขนาน

3.3 อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านในตู้ไฟกันน้ำ

ขั้นตอนที่ 1 เจาะรูด้านข้างของกล่องในตำแหน่งเดียวกันกับรูที่เจาะตู้จดหมายอัจฉริยะเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่ระบบทั้งหมด หลังจากนั้นทำการยึดตู้ไฟกันน้ำเข้ากับไม้กระดานที่มีความกว้างขนาด 17.5 เซนติเมตร และความยาวขนาด 59.5 เซนติเมตร ให้แน่น และทำการเชื่อมสายไฟเข้ากับอุปกรณ์ภายในตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การยึดตู้ไฟกันน้ำเข้ากับไม้กระดาน

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้งตัวควบคุมการชาร์จสุริยะและแบตเตอรี่ตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 5 และทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้าด้วยกันดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้จดหมายอัจฉริยะ

ขั้นตอนสุดท้าย นำสายยูเอสบีซีเชื่อมต่อจากตัวควบคุมการชาร์จสุริยะเข้ากับตัวแปลงยูเอสบีซีเป็นอนุกรมผ่านรูที่ได้เจาะไว้ก่อนหน้านี้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟเข้ากับระบบทั้งหมดดังรูปที่ 25

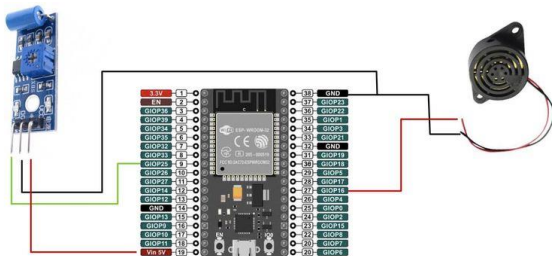
บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 25 การเชื่อมต่อสายไฟผ่านรูที่ได้เจาะไว้

3.4 อุปกรณ์เพิ่มเติม

ระบบตู้จดหมายอัจฉริยะได้มีการเพิ่มระบบกันขโมยอัจฉริยะเข้ามาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกในการใช้งานดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 วงจรระบบกันขโมยอัจฉริยะ

ระบบกันขโมยนี้ทำหน้าที่ตรวจจับการสั่นสะเทือนหรือการกระแทกที่เกิดขึ้นกับตู้จดหมาย หากมีการสั่นสะเทือนหรือพยายามบุกรุก ระบบจะแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานในทันทีผ่านแอปพลิเคชันไลน์และบัสเซอร์ เพื่อทำการเพิ่มความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัยของตู้จดหมายอัจฉริยะดังรูปที่ 27



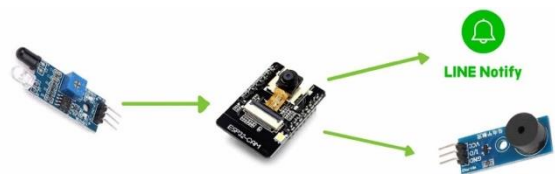
รูปที่ 27 การติดตั้งระบบกันขโมยอัจฉริยะ

4. การทดสอบการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบนี้จะอธิบายเกี่ยวกับการรับข้อมูลภาพ และการทำงานของระบบกันขโมย เพื่อให้เข้าใจง่ายมากขึ้นจะแบ่งการทดสอบดังนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของกล้อง

การทำงานของกล้องโดยจะมีการจับภาพจากกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 และส่งข้อมูลการรับภาพที่ได้เมื่อตัวรับรู้อินฟราเรดตรวจรู้วัตถุแล้วจะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และแจ้งเตือนแบบเสียงผ่านบัสเซอร์เพื่อแสดงว่าทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 ลำดับการทำงานของกล้อง

บทความวิจัย (Research Article)

4.2 การทดสอบการแจ้งเตือนภาพ

การเขียนโปรแกรมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การจับภาพที่เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C++ โดยเขียนแบบโครงสร้าง (Procedure Programming: PP) ในการรับข้อมูลภาพในรหัส (Source code) ใช้คลังโปรแกรม (Library) ของกล้องเข้ามาช่วย คือ esp_camera.h และใช้ Line_token ในการแสดงภาพผ่านแอปพลิเคชันไลน์

4.2.1 esp_camera.h

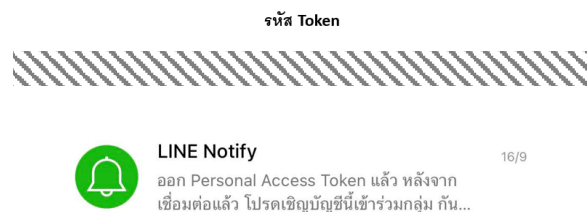
คลังโปรแกรมที่มีความสามารถสำหรับให้อีเอสพี-32 ทำงานร่วมกับกล้อง โดยใช้ฟังก์ชันที่ช่วยในการเชื่อมต่อกับกล้อง จะมีรายละเอียด เช่น การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ การตั้งค่าตัวรับรู้กล้อง เป็นต้น ตัวอย่างดังรูปที่ 29

```
cpp
camera_config_t config;
config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
config.xclk_freq_hz = 20000000; // ความถี่นาฬิกา
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
```

รูปที่ 29 ตัวอย่างการใช้งานคลังโปรแกรม esp_camera.h

4.2.2 รหัสลับไลน์ (Line token)

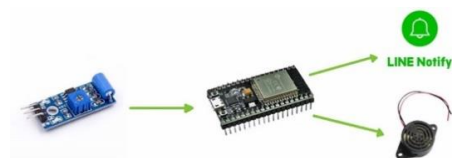
รหัสลับเป็นรหัสผ่านหรือกุญแจที่ใช้ในการเข้าถึงการต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface: API) โดยการสุ่มรหัสหรือกุญแจตามสิทธิผู้ใช้เพื่อให้เชื่อมต่อเข้ากับแอปพลิเคชันไลน์ที่ต้องการให้แจ้งเตือนข้อมูลจะสร้างตัวบอตแชตที่มีชื่อว่าการแจ้งเตือน (Line notify) ดังรูปที่ 30 หรืออาจจะการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันอื่นก็ได้



รูปที่ 30 การแสดงผลผ่านไลน์

4.3 ระบบกันขโมย

ส่วนการทำงานของระบบกันขโมยจะมีการทำงานโดยตัวรับรู้การสั่นสะเทือน (Vibration Sensor) จะตรวจรู้การสั่นสะเทือนและส่งค่าไปยังอีเอสพี-32 โดยกำหนดเกณฑ์การสั่นเทือนมากกว่าเท่ากับ 15 จะสั่งให้บีซเซอร์ทำงานโดยจะเปล่งเสียงออกมาเป็นจังหวะเพื่อใช้เป็นเสียงเมื่อกำลังจะถูกขโมยหลังจากนั้นส่งการแจ้งเตือนไปยังไลน์ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ลำดับการทำงานของระบบกันขโมย

4.4 เกณฑ์การทดสอบ

การทดสอบและประเมินผลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถในการสอดคล้องตามความต้องการ การตรวจจับการสั่นสะเทือน และการแจ้งเตือน เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นงานสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยการทดลองในแต่ละหัวข้อจะต้องมีจำนวนผลการทดลองรวมไม่น้อยกว่า 32 ครั้ง (คิดเป็น 80% ของจำนวนการทดลองทั้งหมด) และต้องผ่านเกณฑ์ของแต่ละหัวข้อคือ 15 ครั้ง หากไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด ควรดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อพัฒนาชิ้นงานให้

บทความวิจัย (Research Article)

สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับมาตรฐานที่วางไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การทดสอบและการประเมินผล

หัวข้อการประเมิน	จำนวนการทดลอง	เกณฑ์ผ่าน	เงื่อนไขผ่าน/ไม่ผ่าน
การสอดคล้องตาม/การสันสะท้อน	20	16	ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ ≥ 16 ไม่ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ < 16
การแจ้งเตือน	20	16	ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ ≥ 16 ไม่ผ่าน เมื่อจำนวนที่ได้ < 16
จำนวนการทดลองทั้งหมด	40	32	ผ่าน เมื่อผลการทดลองรวม ≥ 32 (80% ของจำนวนการทดลองทั้งหมด) ไม่ผ่าน เมื่อผลการทดลองรวม < 32

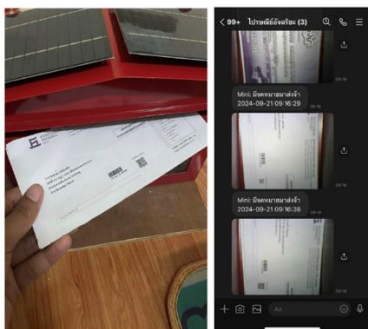
5. ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะกล่าวถึงการทดลองการทำงานของระบบ

- 1) การจับภาพและส่งข้อมูลภาพผ่านไลน์
- 2) การทดสอบระบบกันขโมยที่แจ้งเตือนแบบเสียง และ
- 3) ส่งผ่านไลน์ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1 การจับภาพและส่งข้อมูลภาพผ่านไลน์

การทดลองใส่จดหมายเข้าไปในตู้รับจดหมายอัจฉริยะ และรอให้ปั๊มเซอร์ทำงานเสร็จสิ้น หลังจากนั้นจะถ่ายภาพผ่านกล้องถ่ายภาพแบบอีเอสพี-32 และแจ้งเตือนผ่านไลน์ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 การใส่จดหมายและแจ้งเตือนผ่านไลน์

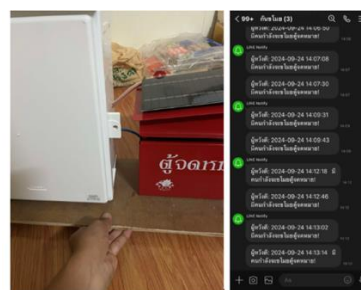
การบันทึกผลการทดลองการสอดคล้องหมาย โดยจะสอดคล้อง 20 ครั้ง เพื่อบันทึกการแจ้งเตือนโดยการส่งภาพ 20 ภาพ ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำการจับภาพได้ถูกต้องร้อยละ 100 และผ่านเงื่อนไขดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการแจ้งเตือนโดยการส่งภาพ

สอดคล้องตาม/แจ้งเตือน	ทดลอง/ครั้ง	ผลทดลอง/ครั้ง	คิดเป็นร้อยละ
การสอดคล้องตาม	20	20	100
การแจ้งเตือน	20	20	100
รวม	40	40	100

5.2 การทดสอบระบบกันขโมยที่แจ้งเตือนแบบเสียงและส่งผ่านไลน์

การทดลองระบบกันขโมยโดยติดตั้งไว้ด้านในตู้ไฟกันน้ำ เพื่อตรวจสอบความละเอียดในกรณีที่อุปกรณ์มีการขยับหรือกำลังจะถูกขโมยจะมีการแจ้งเตือนทั้งแบบเสียงและทางไลน์ดังรูปที่ 32 และตารางที่ 3



รูปที่ 32 ระบบกันขโมยและการแจ้งเตือนผ่านไลน์

ตารางที่ 3 การบันทึกผลการทดสอบระบบกันขโมยด้วยการทดลองเขย่า ยก และเคาะ 20 ครั้ง ระบบตอบสนองการแจ้งเตือนได้ถูกต้องร้อยละ 100

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบระบบกันขโมย

สันสะท้อน/แจ้งเตือน	ทดลอง/ครั้ง	ผลทดลอง/ครั้ง	คิดเป็นร้อยละ
การสันสะท้อน	20	20	100
การแจ้งเตือน	20	20	100
รวม	40	40	100

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 4 ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานด้วยการวัดค่าเวลาในการตอบสนองของกระบวนการสอดคล้องความเร็วนเฉลี่ย 5 วินาที/ครั้ง และการแจ้งเตือนที่ 3 วินาที/ครั้ง รวมทั้งกระบวนการเท่ากับ 8 วินาที/ครั้ง

ตารางที่ 4 ความเร็วในการตอบสนอง

สอดคล้องความ/แจ้งเตือน	ทดลอง/ครั้ง	เวลาที่ใช้(วินาที)	หมายเหตุ
การสอดคล้องความ	20	5	ถ้ารูปและประมวลผลภาพ
การแจ้งเตือน	20	3	แจ้งเตือนรูปภาพมายังผู้ใช้
รวม	40	8	เฉลี่ยเวลาในการทำงานทั้งหมด

6. สรุปผลการทดลอง

ผู้รับจดหมายอัจฉริยะสามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแจ้งเตือนการทำงานต่าง ๆ ได้ถูกต้องแม่นยำร้อยละ 100 ได้แก่ การถ่ายภาพจดหมายเพื่อแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และระบบป้องกันขโมยอัจฉริยะ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกันตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดทุกประการคือ 1) การจับภาพและแจ้งเตือนข้อความภาพได้ตามกำหนด 2) กล้องสามารถส่งภาพแบบเวลาจริง (Realtime) หรือทันทีที่ และ 3) การตรวจรู้การสั่นสะเทือนและแจ้งเตือนข้อความได้ตามกำหนด เนื่องจากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในปัจจุบันได้ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน รวมถึงการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชันหลากหลาย แต่ปัญหาสำคัญที่ตามมาคือ การไม่มีที่จัดเก็บพัสดุที่ปลอดภัยเมื่อมาส่ง อาจนำไปสู่การสูญหายหรือความเสียหาย ดังนั้นจึงได้พัฒนากล่องรับพัสดุอัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบการมาถึงของพัสดุอัตโนมัติพร้อมเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันมือถือเพื่อแจ้งเตือนสถานะพัสดุได้ทุกที่ทุกเวลากล่องดังกล่าวมาพร้อมเซ็นเซอร์ตรวจจับการเปิดกล่องและระบบล็อกอัจฉริยะที่ควบคุมผ่านมือถือ เพื่อเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้ยังใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ ลดการพึ่งพาแหล่งพลังงาน

ภายนอก ถือเป็นนวัตกรรมที่ช่วยแก้ปัญหาการจัดเก็บพัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์การใช้งานในยุคปัจจุบัน

7. อภิปรายผลการทดลองและการพัฒนาต่อไป

แม้ว่าระบบจัดจดหมายอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยเฉพาะในด้านการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และระบบกันขโมยที่ตอบสนองได้ดีภายใต้เงื่อนไขการทดสอบ แต่ยังมีหลายประเด็นที่ควรพิจารณาเพื่อพัฒนาให้ระบบมีความสมบูรณ์และสามารถใช้งานได้ในสเกลที่ใหญ่ขึ้นในอนาคตดังนี้

ข้อจำกัดของระบบปัจจุบัน (1) การพึ่งพาแอปพลิเคชันไลน์เป็นหลัก หากแอปพลิเคชันมีปัญหาในการเชื่อมต่อหรือเกิดข้อจำกัดด้านเอพีไอ (API) ระบบจะแจ้งเตือนไม่ได้ ควรพิจารณารองรับแอปพลิเคชันอื่น ๆ หรือระบบสำรอง เช่น เทเลแกรม (Telegram) หรือระบบเอสเอ็มเอส (SMS) (2) ขาดระบบล็อกหรือควบคุมการเข้าถึงตัวตู้ ปัจจุบันไม่มีระบบล็อกแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือกลไกป้องกันการเปิดตู้โดยไม่ได้รับอนุญาต (3) ไม่มีการตรวจสอบวัตถุภายในอย่างละเอียด: แม้ระบบสามารถตรวจจับและส่งภาพจดหมายได้ แต่ยังไม่สามารถจำแนกประเภทของวัตถุ หรือระบุว่าเป็นเอกสาร พัสดุ หรือสิ่งแปลกปลอม

แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต (1) เพิ่มระบบล็อกอัจฉริยะควบคุมผ่านมือถือ เช่น ล็อกอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเปิด-ปิดผ่านแอป หรือรหัสผ่าน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ (2) บูรณาการ AI Vision เพื่อให้ระบบสามารถแยกแยะวัตถุที่หย่อนเข้ามาได้ เช่น จดหมาย พัสดุ หรือสิ่งแปลกปลอม โดยใช้โมเดลการเรียนรู้เครื่องจักร (Machine Learning) บน ESP32-CAM หรือส่งข้อมูลไปประมวลผลบนคลาวด์ (3) ติดตั้งตัวรับรู้ตรวจสอบสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นหรืออุณหภูมิภายในตู้

บทความวิจัย (Research Article)

เพื่อป้องกันความเสียหายของเอกสารในกรณีสภาพอากาศไม่เหมาะสม (4) ออกแบบระบบให้ปรับขนาดได้ (Scalable) สำหรับใช้งานในอาคารชุด สำนักงาน หรือพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก โดยพัฒนาเป็นระบบศูนย์กลางที่สามารถจัดการจัดหมายหลายใบผ่านแดชบอร์ดเดียว (5) เพิ่มระบบบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำ เช่น SD card หรือ Cloud Logging เพื่อเก็บประวัติการเปิดตู้และแจ้งเตือนย้อนหลัง (6) เพิ่มระบบพลังงานที่ใช้ให้เพียงพอ และปรับเปลี่ยนแผงพลังงานแสงสุริยะและแบตเตอรี่สำรองใช้ในกรณีแสงแดดไม่เพียงพอ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนและส่งเสริมการทำโครงการวิจัยเรื่อง “ตู้จดหมายอัจฉริยะพลังงานทางเลือกบนฐานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง” จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. การเขียนเอกสารอ้างอิง

- [1] T. Khan, "A solar-powered IoT connected physical mailbox interfaced with smart devices," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 128–144, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/iot1010008>
- [2] A. A. Sidek, A. Samsudin, and M. M. Rahman, "Smart mailbox notification system with solar battery charging based on IoT," *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*, vol. 24, pp. 90–97, 2023. [Online]. Available: <https://jeesr.uitm.edu.my/v1/JEESR/Vol.24/article14.pdf>
- [3] Y. Li, Y. Wang, and Y. Wang, "The role of Internet of Things in the development of smart cities," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 15, no. 11, pp. 1–11, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/1550147719888109>
- [4] W. Ji and E. H. W. Chan, "Critical factors influencing the adoption of smart home energy technology in China," *Energies*, vol. 12, no. 21, p. 4180, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/en12214180>
- [5] A. Bhati, M. Hansen, and C. M. Chan, "Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households," *Energy Policy*, vol. 104, pp. 230–239, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>
- [6] K. Ishaq and S. S. Farooq, "Exploring IoT in smart cities: Practices, challenges and way forward," *arXiv*, 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2309.12344>
- [7] R. F. Al-Mutawa and F. A. Eassa, "A smart home system based on Internet of Things," *arXiv*, 2020. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2009.05328>
- [8] M. Baláž, J. Vaculík, and T. Corejova, "Evaluation of the impact of the Internet of Things on postal service efficiency in Slovakia," *Economies*, vol.

บทความวิจัย (Research Article)

- 12, no. 10, p. 271, 2024. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/economies12100271>
- [9] W. Hurst, C. A. Curbelo Montañez, and N. Shone, "Time-pattern profiling from smart meter data to detect outliers in energy consumption," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 92–108, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/iot1010006>
- [10] M. Picone, "IoT: A new open access journal for Internet of Things," *IoT*, vol. 1, no. 1, pp. 145–146, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.3390/iot1010009>
- [11] M. M. Mohan *et al.*, "Automatic copra quality analyser using ESP-32 camera module," in *Proc. 2nd Int. Conf. Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS)*, 2024, pp. 1465–1468. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/ICSSAS64001.2024.10760899>
- [12] M. A. Green *et al.*, "Solar cell efficiency tables (version 56)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 28, no. 7, pp. 629–638, 2020. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1002/pip.3303>
- [13] Y. Siregar, E. S. Marbun, and N. N. binti Mohamed, "Monitoring system for pico hydropower plants on Pelton turbines based on the Internet of Things," in *Proc. 8th Int. Conf. Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (EL TICOM)*, 2024, pp. 254–258. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/ELTICOM64085.2024.10864656>
- [14] N. Raghu, I. Miah, and A. B. R. Tonmoy, "Ultrasonic sensor based door security camera with wireless data transfer in Telegram bot using Wi-Fi," in *Proc. Int. Conf. Intelligent and Innovative Technologies in Computing, Electrical and Electronics (IITCEE)*, 2023, pp. 402–405. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/IITCEE57236.2023.10090954>
- [15] C. Esposito, F. Palmieri, and K. K. R. Choo, "Cloud message queueing and notification: Challenges and opportunities," *IEEE Cloud Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 11–16, 2018. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/MCC.2018.022171662>
- [16] H. Wang, "Research on the application scenario of Internet of Things technology in the construction of smart countryside," in *Proc. Smart City Challenges & Outcomes for Urban Transformation (SCOUT)*, 2023, pp. 242–248. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1109/SCOUT58937.2023.00054>