



การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว  
บนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยใช้รหัสเบอร์รี่พาย



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
วิทยาลัยนวัตกรรมการดิจิทัลเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต  
ปีการศึกษา 2566



**DEVELOPMENT OF SURVEILLANCE SYSTEMS WITH CAMERA AND  
MOTION SENSOR ON INTERNET OF THINGS USING RASPBERRY PI**

**BY**

**KAVEEPON CHAICHANA**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN INFORMATION TECHNOLOGY  
COLLEGE OF DIGITAL INNOVATION TECHNOLOGY**

**GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY**

**ACADEMIC YEAR 2023**

วิทยานิพนธ์เรื่อง

การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว  
บนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยใช้รหัสเบอร์พาย

โดย

กวีพล ชัยชนะ

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2566

ผศ. ดร.มินนภา รักษ์หิรัญ  
ประธานกรรมการสอบ

ผศ. ดร.กวีวัฒน์ อำนาจโชติพันธุ์  
กรรมการ

รศ. ดร.ปณิธิ เนดินันท์  
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ. ร.ต. หญิง ดร.วรรณิ์ สุขสาตร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

27 กรกฎาคม 2566

Thesis entitled

**DEVELOPMENT OF SURVEILLANCE SYSTEMS WITH CAMERA AND  
MOTION SENSOR ON INTERNET OF THINGS USING RASPBERRY PI**

by

KAVEEPON CHAICHANA

was submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Science in Information Technology

Rangsit University  
Academic Year 2023

---

Asst. Prof. Meennapa Rukhiran, Ph.D.  
Examination Committee Chairperson

Asst. Prof. Kawiwat Amnatchotiphan, Ph.D.  
Member

---

Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.  
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Asst. Prof. Plt.Off. Vanee Sooksatra, D.Eng.)

Dean of Graduate School

July 27, 2023

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่เป็นกำลังใจ เป็นแรงกระตุ้นเป็น ผู้สนับสนุนให้การช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จนการศึกษาในหลักสูตรนี้ของข้าพเจ้าเป็นผลสำเร็จ ขอขอบคุณอาจารย์มหาวิทยาลัยรังสิตทุกท่านที่ได้ประสาทวิชาให้ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยรังสิตและสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ กองบัญชาการกองทัพไทย ที่ได้ร่วมกันมอบทุนการศึกษาให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสศึกษา ณ มหาวิทยาลัยแห่งนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษา แนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อบุคคล ที่ได้มีส่วนร่วมและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา ผศ. ดร.มินนภา รักษ์หิรัญ ผศ. ดร.กวีวัฒน์ อำนางโชติพันธุ์ และคณาจารย์ทุกท่าน ขอขอบคุณกำลังใจและการแบ่งปันซึ่งกันและกันจาก เพื่อนๆร่วมหลักสูตรทุกคน ที่เป็นกำลังใจ อดทน และร่วมสนับสนุนให้ข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

กวีพล ชัยชนะ

ผู้วิจัย

6406099 : กวีพล ชัยชนะ  
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยใช้ราสเบอร์รี่พาย  
 หลักสูตร : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันท์

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือ IoT (Internet of Things) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญสูงในชีวิตประจำวัน เพราะมีผลต่อการใช้ชีวิตของเราในหลายๆ ด้าน เช่น การเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้ชีวิต การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน การประหยัดทรัพยากร และในด้านความปลอดภัย ผู้วิจัยจึงเสนอการใช้ IoT ในระบบรักษาความปลอดภัยในการตรวจจับผู้บุกรุกภายในบ้านเพื่อช่วยป้องกันการเข้าถึงจากบุคคลที่ไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ IoT ยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเฝ้าระวังและรับการแจ้งเตือนได้ในทุกเวลาแม้จะไม่อยู่ที่บ้าน โดยใช้ Raspberry Pi เป็นเครื่องมือช่วยสร้างและพัฒนาโปรแกรม เนื่องจาก มีขนาดเล็กและราคาไม่แพง นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ทำให้เหมาะสำหรับการพัฒนาระบบ อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกโดยใช้ Raspberry Pi ร่วมกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ด้วยภาษา Python และ OpenCV สามารถตรวจจับผู้บุกรุกโดยการใ้กล้องตรวจจับใบหน้าของบุคคล (Face Detection) ร่วมกับการตรวจจับความเคลื่อนไหวจากเซ็นเซอร์ PIR (Passive Infrared Sensor) และให้แจ้งเตือนผ่าน Line Notify ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) วัตถุประสงค์เพื่อนำมาช่วยในการเฝ้าระวังพื้นที่ และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 78 หน้า)

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, การตรวจจับใบหน้า, ความปลอดภัย, ตรวจจับความเคลื่อนไหว, ราสเบอร์รี่พาย, คอมพิวเตอร์วิทัศน์

6406099 : Kaveepon Chaichana  
 Thesis Title : Development of Surveillance Systems with Camera and Motion Sensor  
 on Internet of Things Using Raspberry Pi  
 Program : Master of Science in Information Technology  
 Thesis Advisor : Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.

### Abstract

The Internet of Things (IoT) has emerged as an indispensable piece of technology in contemporary life due to the numerous ways in which IoT affects our lives. IoT improves our overall performance, helps us conserve resources, and creates a more comfortable living environment. In addition, the IoT plays a crucial role in preserving our safety. Therefore, this research recommends implementing Internet of Things (IoT) intrusion detection security systems within a residence to prevent unauthorized access by unknown individuals, even when no one is present to monitor the system. In order to accomplish this, the Raspberry Pi is proposed as a suitable instrument for developing and constructing programs, given that the system cost is small, inexpensive, and can be connected to a variety of sensors and devices. Consequently, this approach is an expedient and cost-effective solution.

This research aims to develop an intrusion detection system by utilizing Raspberry Pi along with various sensor devices and programming it with the languages Python and OpenCV. With the assistance of the camera's face detection capability and the PIR sensor's (Passive Infrared Sensor) motion detection capability, the system can identify potential hazards and send an alert to the user using Line Notify, combining Internet of Things (IoT) technology. This system was created to assist in the process of area surveillance, and its capabilities could be expanded through further development.

(Total 78 pages)

Keywords: Internet of Thing, Face detection, Security, Passive Infrared Sensor, Computer Vision, Raspberry pi, OpenCV

Student's Signature ..... Thesis Advisor's Signature .....

## สารบัญ

|                    | หน้า                                                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------|
| กิตติกรรมประกาศ    | ก                                                      |
| บทคัดย่อภาษาไทย    | ข                                                      |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค                                                      |
| สารบัญ             | ง                                                      |
| สารบัญตาราง        | จ                                                      |
| สารบัญรูป          | ช                                                      |
| <b>บทที่ 1</b>     | <b>บทนำ</b>                                            |
| 1.1                | ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                         |
| 1.2                | วัตถุประสงค์การวิจัย                                   |
| 1.3                | คำถามการวิจัย / สมมติฐานการวิจัย                       |
| 1.4                | กรอบแนวคิดการวิจัย                                     |
| 1.5                | นิยามศัพท์                                             |
| <b>บทที่ 2</b>     | <b>ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b> |
| 2.1                | IoT (Internet of Thing)                                |
| 2.2                | Raspberry Pi                                           |
| 2.3                | เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (PIR Motion Sensor)     |
| 2.4                | USB Webcam                                             |
| 2.5                | คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)                   |
| 2.6                | ขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้า (Face Detection Algorithm)  |
| 2.7                | Line Application                                       |
| 2.8                | ทบทวนวรรณกรรม                                          |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                             | หน้า |
|-------------------------------------------------------------|------|
| <b>บทที่ 3</b>                                              |      |
| ระเบียบวิธีการวิจัย                                         | 36   |
| 3.1 กรอบงานที่นำเสนอ (Proposed Framework)                   | 36   |
| 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ                                   | 40   |
| 3.3 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล                              | 41   |
| <b>บทที่ 4</b>                                              |      |
| ผลการวิจัย                                                  | 44   |
| 4.1 ผลการพัฒนาระบบ                                          | 44   |
| 4.2 ผลการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว                     | 46   |
| 4.3 ผลการทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า                             | 47   |
| 4.4 ผลการทดสอบระบบส่งแจ้งเตือน                              | 48   |
| 4.5 ผลการทดสอบระบบ                                          | 49   |
| 4.6 ผลการทดสอบการใช้พลังงานระบบ                             | 50   |
| <b>บทที่ 5</b>                                              |      |
| สรุปผลและข้อเสนอแนะ                                         | 52   |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย                                          | 52   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                              | 54   |
| <b>บรรณานุกรม</b>                                           | 55   |
| <b>ภาคผนวก</b>                                              |      |
| บทความที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ 2023 7 <sup>TH</sup> | 60   |
| INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-COMMERCE, E-                  |      |
| BUSINESS AND E-GOVERNMENT ฐานข้อมูล Association             |      |
| for Computing Machinery: ACM                                |      |
| <b>ประวัติผู้วิจัย</b>                                      | 78   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                           | หน้า |
|----------------------------------------------------|------|
| 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติการเพิ่มประสิทธิภาพใน OpenCV | 22   |
| 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว   | 46   |
| 4.2 ตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix)      | 47   |
| 4.3 ตารางผลการทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า               | 48   |
| 4.4 ตารางผลการทดสอบระบบส่งแจ้งเตือน                | 49   |
| 4.5 ตารางผลการทดสอบระบบ                            | 49   |
| 4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานระบบ           | 50   |



## สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|------|
| 1.1    | 4    |
| 2.2    | 9    |
| 2.3    | 9    |
| 2.4    | 10   |
| 2.5    | 11   |
| 2.6    | 12   |
| 2.7    | 13   |
| 2.8    | 14   |
| 2.9    | 15   |
| 2.10   | 18   |
| 2.11   | 20   |
| 2.12   | 21   |
| 2.13   | 24   |
| 2.14   | 24   |
| 2.15   | 25   |
| 2.16   | 26   |
| 2.17   | 27   |
| 2.18   | 29   |
| 2.19   | 30   |
| 3.1    | 36   |
| 3.2    | 37   |
| 3.3    | 38   |
| 3.4    | 38   |
| 3.5    | 40   |
| 3.6    | 41   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ |                                 | หน้า |
|--------|---------------------------------|------|
| 4.1    | ภาพการติดตั้งและการทำงานของระบบ | 45   |
| 4.2    | ภาพการรายงานใน Application Line | 45   |
| 4.3    | ภาพที่ระบบตรวจจับได้            | 46   |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก เช่น เช่น การขนส่งและโลจิสติกส์ การเกษตรและการผลิต การศึกษา การแพทย์และสุขภาพ และด้านอื่นๆ อีกมากมาย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการดำเนินงาน นอกจากนี้ยังมีการพัฒนา IoT ในส่วนของเมืองอัจฉริยะ (Smart City) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการเมือง และการให้บริการสาธารณูปโภคให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีการพัฒนาโครงข่ายสื่อสาร IoT ในระดับชาติ เพื่อให้มีการเชื่อมต่อและใช้งานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ในการรักษาความปลอดภัยในบ้านมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยมีการพัฒนาหลายๆ อุปกรณ์ที่สามารถติดตั้งในบ้านได้ เช่น กล้องวงจรปิด (CCTV) ที่สามารถเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์ได้ ระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับควันและแก๊สเพื่อป้องกันอัคคีภัยจากไฟฟ้าส่วนบุคคล (PHEV) และระบบประตูอัตโนมัติที่สามารถเปิด-ปิดได้ด้วยการสั่งงานผ่านโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ต ทั้งนี้การใช้ IoT ในการรักษาความปลอดภัยในบ้านนั้นมีประโยชน์ในการเพิ่มความปลอดภัยให้กับบ้านและผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการดูแลและควบคุมบ้านได้อย่างรวดเร็วและสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

Raspberry Pi กับเทคโนโลยี IoT มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในการประยุกต์ใช้งานทั้งในอุตสาหกรรมและบ้านเรือน เพราะ Raspberry Pi เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในการพัฒนาระบบและมีความสามารถใช้งานได้หลากหลาย การใช้ Raspberry Pi จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในการใช้งานและการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ

แอปพลิเคชันพลิเคชัน Line เป็นแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารในปัจจุบัน โดยมีการใช้งานแบบหลากหลาย เช่น การสื่อสารแบบข้อความ การโทรศัพท์เสียงและ

วิถีโอคอด การใช้งานแอปพลิเคชันพลิเคชันในการช้อปปิ้งออนไลน์ การใช้งานเพื่อการทำธุรกิจ การใช้งานเพื่อการศึกษาและเรียนรู้ และอื่นๆ นอกจากนี้ ยังมีความสามารถและฟีเจอร์ใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน อนึ่ง Line ยังเป็นแพลตฟอร์มที่นำเสนอบริการและสินค้าต่างๆ ที่ตอบโจทย์การใช้งานในชีวิตประจำวันได้มากมาย มีการพัฒนาต่อยอดในอนาคตอีกมาก และยังสามารถใช้ Raspberry Pi เป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบรวมกับการใช้ Line Notify ซึ่งเป็นบริการหนึ่งของ Line ใช้ในการส่งการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน นำมาประกอบการพัฒนาระบบร่วมกับอุปกรณ์ IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเป็นไปได้สูงในอนาคต

IoT จะเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ทำให้เราสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในบ้านได้ผ่านสัญญาณ Internet โดยที่ไม่ต้องเดินไปกดปุ่มคำสั่งที่ตัวเครื่องอีกต่อไป ดังนั้น จึงตอบโจทย์ในเรื่องของความสะดวกสบาย แต่นอกเหนือไปจากนั้น เทคโนโลยีนี้ยังช่วยสนับสนุนในด้านความปลอดภัยได้อีกด้วย เพราะในปัจจุบัน นอกเหนือไปจากการดูแลความปลอดภัยแบบเก่าที่เราคุ้นเคยโดยเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย หรือ รปภ.อาจจะไม่เพียงพอ เพราะการรักษาความปลอดภัยอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีเทคโนโลยีคอยสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง การมีระบบตรวจสอบผู้เข้ามาในบ้าน ระบบ CCTV ที่ครอบคลุมในพื้นที่โดยรอบและในจุดเสี่ยง และมีเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยเดินตรวจตราในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งนี่ก็เป็นองค์ประกอบเบื้องต้นในการดูแลความปลอดภัย

ซึ่งการรักษาความปลอดภัยที่กล่าวมานี้ในปัจจุบันก็ยังสามารถทำงานได้ดีตามจุดประสงค์ แต่ความต้องการและคาดหวังต่อสิ่งเหล่านั้น สามารถประยุกต์ใช้ IoT ในการพัฒนาเพื่อให้ตอบสนองความต้องการในการแจ้งเตือนแบบทันที ผ่านระบบแจ้งเตือนบนโทรศัพท์มือถือที่อยู่ติดตัวเราตลอดเวลา โดยแจ้งเตือนผ่านระบบโซเชียลที่เราใช้งานเกือบทุกขณะ ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญที่กล่าวมานี้จึงได้พัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยราสเบอรี่พายเพื่อแก้ปัญหาและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยี IoT ด้วย Raspberry Pi, กล้อง, และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ให้สามารถทำงานร่วมกันได้และมีขนาดเล็ก

1.2.2 ประสิทธิภาพการใช้งานระบบ สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนผู้ใช้งานระบบได้ทันทีเมื่อตรวจพบการบุกรุกจากผู้ไม่พึงประสงค์

1.2.3 ประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้าของผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยีตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.2.4 ระบบมีการใช้พลังงานในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

### 1.3 คำถามการวิจัย / สมมติฐานการวิจัย

การวิจัยนี้มีการตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

สมมติฐาน H0: เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวตรวจจับได้ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์

สมมติฐาน H1: โมเดลการตรวจจับใบหน้ามีความแม่นยำสูง

สมมติฐาน H2: การตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องมีความแม่นยำสูง

สมมติฐาน H3: ส่งการแจ้งเตือนผ่าน Line โดยมีเงื่อนไขคือต้องตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้าบุคคลได้

สมมติฐาน H4: ระบบใช้พลังงานต่ำในการทำงาน

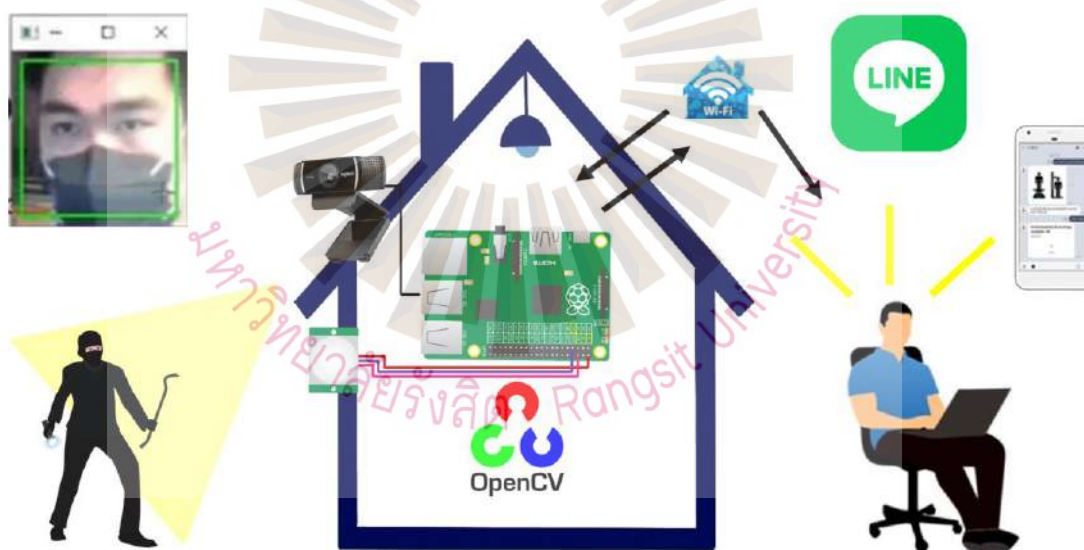
การวิจัยนี้มีคำถามการวิจัย 4 ข้อคำถาม ดังนี้

- 1) การตรวจจับความเคลื่อนไหวมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด
- 2) ระบบการตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด
- 3) ระบบมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ระยะเท่าไร
- 4) ระบบมีการใช้พลังงานเป็นอย่างไร

## 1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

พัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยระบบเออาร์พาย โดยการนำกล้องตรวจจับใบหน้าด้วยเทคโนโลยีตรวจจับใบหน้า และส่งแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ไปยังผู้ใช้งานได้ทันที โดยเชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

- 1) ติดตั้ง Python Open CV และซอฟต์แวร์โมดูลต่างๆ ให้พร้อมใช้งาน
- 2) ออกแบบและพัฒนาระบบการควบคุมเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยภาษาไพทอน
- 3) ออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องด้วยภาษาไพทอน
- 4) ออกแบบและพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและการตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องให้ทำงานร่วมกันด้วยภาษาไพทอน
- 5) ออกแบบและพัฒนาระบบเชื่อมระหว่างเซ็นเซอร์ตามเงื่อนไขและส่งการแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ด้วยภาษาไพทอน



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมกรอบงานที่นำเสนอ

ที่มา : ผู้วิจัย

## 1.5 นิยามศัพท์

**อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)** หมายถึง เครือข่ายรวมของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อถึงกันและเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับระบบคลาวด์

ตลอดจนระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันเอง จากการเกิดขึ้นของชิปคอมพิวเตอร์ราคาไม่แพงและการสื่อสารโทรคมนาคมที่มีแบนด์วิธสูง จึงทำให้ตอนนี้เรามีอุปกรณ์หลายพันล้านเครื่องที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น แปร่งสีพื้น เครื่องดูดฝุ่น รถยนต์ และเครื่องจักรสามารถใช้เซ็นเซอร์เพื่อรวบรวมข้อมูลและตอบสนองต่อผู้ใช้ได้อย่างชาญฉลาด

**ราสเบอร์รี่ พาย (Raspberry Pi)** หมายถึง คอมพิวเตอร์บอร์ดจัมมีประสิทธิภาพและขนาดเล็กเท่ากับบัตรเครดิตหนึ่งใบ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยองค์กร "Raspberry Pi" มูลนิธิเพื่อการกุศลจากประเทศอังกฤษที่มีเป้าหมายต้องการที่จะเผยแพร่ เทคโนโลยีดิจิทัล รวมถึงความรู้ด้านคอมพิวเตอร์ไปสู่ผู้คนทั่วโลก พวกเขามีทั้งกิจกรรมประชาสัมพันธ์ และการให้เปิดคอร์สให้ข้อมูลด้านเทคโนโลยีกับผู้คน

**เว็บแคม (Webcam)** หมายถึง กล้องวิดีโอที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป หลักการใช้งานเว็บแคมก็คือ การสื่อสารออนไลน์ในรูปแบบเห็นหน้าตาคู่สนทนาผ่านทางอินเทอร์เน็ต ในทางธุรกิจกล้องเว็บแคมช่วยในการประชุมออนไลน์โดยที่ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถประชุมร่วมกันโดยไม่จำเป็นต้องเดินทางมาอยู่ในสถานที่เดียวกัน นอกจากนี้มีการใช้งาน webcam สำหรับความปลอดภัยอื่นๆ

**คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Open Source Computer Vision - OpenCV)** หมายถึง ไลบรารีโอเพ่นซอร์สที่นิยมสำหรับการประมวลผลภาพขั้นพื้นฐาน เช่น การเบลอภาพ การผสมภาพ การเพิ่มคุณภาพของภาพ เพิ่มคุณภาพของวิดีโอ การรู้จำวัตถุต่าง ๆ ในภาพ หรือ การตรวจจับใบหน้าหรือวัตถุต่าง ๆ ในภาพและวิดีโอได้

**การตรวจจับใบหน้า (Face Detection)** หมายถึง กระบวนการค้นหาใบหน้าของบุคคลจากภาพหรือวิดีโอ จากนั้นก็จะทำการประมวลผลภาพใบหน้าที่ได้สำหรับขั้นตอนถัดไปเพื่อให้ภาพใบหน้าที่ตรวจจับได้ง่ายต่อการจำแนก

**ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Program Interface - API)** หมายถึง กลไกที่ช่วยให้ส่วนประกอบซอฟต์แวร์สองส่วนสามารถสื่อสารกันได้โดยใช้ชุดคำจำกัดความและโปรโตคอล ตัวอย่างเช่น ระบบซอฟต์แวร์ของสำนักพยากรณ์อากาศประกอบด้วยข้อมูลสภาพ

อากาศรายวัน แอปพลิเคชันสภาพอากาศในโทรศัพท์ของคุณจะ "สื่อสาร" กับระบบนี้ผ่าน API และแสดงการอัปเดตสภาพอากาศทุกวันบนโทรศัพท์ของคุณ

**แอปพลิเคชัน (Application)** หมายถึง โปรแกรม หรือชุดสั่ง ที่ใช้ควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์เคลื่อนที่และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ เพื่อให้ทำงานตามคำสั่ง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยแอปพลิเคชัน (Application) จะต้องมีสิ่งที่เรียกว่า ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface หรือ UI) เพื่อเป็นตัวกลางการใช้งานต่างๆ



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาระบบ ผู้จัดทำได้สังเกตเห็นว่าอุปกรณ์ IoT ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันอุปกรณ์ IoT หาซื้อได้ง่าย มี APT และ Sensor ให้เลือกใช้ได้หลากหลายครอบคลุมทุกความต้องการ ทางผู้จัดทำจึงได้มีแรงบันดาลใจศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาสนับสนุนความคิดที่จะนำอุปกรณ์ IoT มาใช้เป็นอุปกรณ์แจ้งเตือน ในการทำโครงการนี้ให้เกิดขึ้นมา

#### 2.1 Internet of Thing (IoT)

อุปกรณ์ทางกายภาพที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบอินเทอร์เน็ตตลอดเวลาและอุปกรณ์เหล่านี้จะมีเซ็นเซอร์และกลไกการถ่ายโอนข้อมูลอื่นๆ ซึ่งอุปกรณ์นี้มักจะถูกผนวกเข้ากับหน่วยควบคุมและ/หรือหน่วยประมวลผล IoT อื่นๆ ทางเครือข่ายตลอดเวลา โดยในอนาคตเราอาจจะได้เห็นอุปกรณ์ IoT เป็นรูปเป็นร่างขึ้นเรื่อยๆ มากกว่าปัจจุบันที่เป็นเพียงแค่บอร์ดทดลอง (ทางผู้จัดทำได้ใช้อุปกรณ์ Raspberry Pi ทำงานเปรียบเสมือนเป็น IoT เครื่องหนึ่ง) เช่น เครื่องซักผ้า, หลอดไฟ, กระจก, แปร่งสีพื้น หรือไม่ว่าแม้แต่กระทั่งเสื้อผ้าในอนาคต เพราะปัจจุบันคนเราหันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น IoT จึงอาจจะถูกนำมาเป็นอุปกรณ์สวมใส่เพื่อที่จะตรวจสอบและคอยเตือนในการใช้ชีวิตประจำวัน เพราะหลักการของ IoT มีเพียงแค่ เล็ก , ประหยัดไฟ และเชื่อมต่อเครือข่ายอยู่ตลอดเวลาทำให้สามารถตอบโจทย์ดังกล่าวได้อย่างดียิ่ง

ปัจจุบันก็พยายามมีการพัฒนาทั้งอุปกรณ์ IoT และเครือข่าย IoT ขึ้นมาเพื่อให้สามารถตอบโจทย์ต่างๆ มากยิ่งขึ้น ทางผู้จัดทำได้จำแนกให้เห็นภาพดังนี้

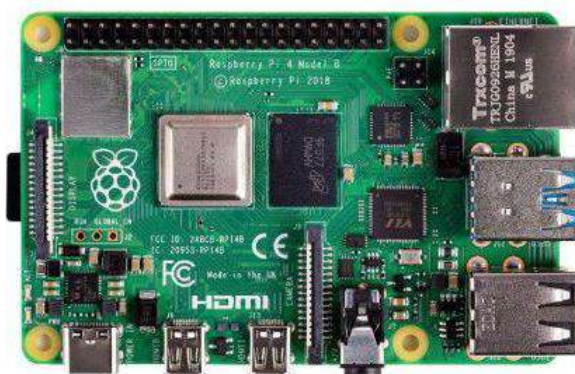
2.1.1 ด้านอุปกรณ์ IoT เช่น มีการพัฒนาบอร์ดที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเพื่อที่จะติดต่อกับ Sensor ต่างๆ มากมายเช่น Raspberry Pi , Arduino , Adafruit , Intel Stick และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งแต่ละบอร์ด ก็จะมีคุณสมบัติพิเศษตามโจทย์ที่หลากหลายไป

2.1.2 ด้านเครือข่าย IoT เช่น ปัจจุบันเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน ได้พัฒนาไปมากทำให้อุปกรณ์ IoT สามารถใช้ประโยชน์ในด้านเครือข่ายได้เป็นอย่างดี เช่น เครือข่าย 3G , 4G และ 5G แต่ยังไม่เพียงเท่านั้นเครือข่ายที่กล่าวมายังมีข้อจำกัดด้านการใช้ทรัพยากรการทำงานที่สูงคือการใช้งานด้านพลังงาน ถ้าใช้เครือข่าย Cellular แล้วแบตเตอรี่ 1000 mAh สามารถใช้ได้เพียงไม่เกิน 2-3 วัน (ยังไม่รวมการบริโภคพลังงานของ Sensor) จึงมีการพัฒนาเครือข่ายของ IoT ขึ้นมา เช่น LoRaWAN และ NB-IoT ซึ่ง สองเครือข่ายนี้ได้หลายข้อจำกัดของการใช้พลังงานจากเครือข่าย Cellular ได้สิ้นเชิง โดย Battery 1000 mAh สามารถใช้งานได้ถึง 10 ปี (ยังไม่รวมการบริโภคพลังงานของ Sensor) ซึ่งในอนาคตถ้าเครือข่าย LoRaWAN หรือ NB-IoT มีการให้บริการ เราน่าจะได้เห็นอุปกรณ์ IoT เป็นที่แพร่หลายมากขึ้น (Casals, Mir, Vidal, & Gomez, 2017, pp.1-30)

## 2.2 Raspberry Pi

เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ สมัยประมาณ 10 ปี ก่อนความเร็วประมาณ 700 – 800 MHz แต่มีขนาดเล็กเพียงความกว้าง ยาว เท่ากับขนาดบัตรเครดิตเท่านั้น และ ประหยัดพลังงานมาก ราคาไม่แพง และที่สำคัญมี Interface GPIO ที่สามารถนำมาต่อกับ Sensor ต่างๆ ที่มีขายทั่วไปอยู่ในท้องตลาดได้อย่างลงตัว และตัวบอร์ดนั้นก็ต่อเข้ากับจอคอมพิวเตอร์ หรือ จอโทรทัศน์ที่มี Port HDMI ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้อย่างง่ายดายโดยที่ไม่จำเป็นต้องตั้งค่าอะไรพิเศษเพิ่มเติม และนอกจากจอแสดงผลแล้ว อุปกรณ์ Raspberry Pi II ที่ผู้จัดทำเลือกมาใช้ก็สามารถรองรับเมาส์ และคีย์บอร์ดผ่าน USB port ตามปกติทำให้เราสามารถนำอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ ที่เป็น USB Port มาใช้กับอุปกรณ์ Raspberry Pi II ได้ทันที ส่วนระบบจ่ายไฟของ Raspberry Pi นั้นก็ใช้เพียงสาย USB C กับ Adapter ขนาด 2 A ขึ้นไป (1 A ก็สามารถใช้ได้แต่ถ้า มีอุปกรณ์ USB Port ต่อ อยู่เยอะและ CPU ทำงานหนักจะทำให้ไฟเลี้ยงไม่เพียงพอ)

Raspberry Pi บอร์ด alpha-test ได้ถือเกิดขึ้นเมื่อปี 2549 โดยมีการ พัฒนาต่อยอดมาจาก Board Controller ของ Atmel ATmega644 โดยมีผู้ก่อตั้งคือ อีเบน อัทตัน ซึ่งเป็นนักวิชาการผู้ที่ชื่นชอบการประดิษฐ์ โดยมีแรงบันดาลใจจากที่อยากจะประดิษฐ์ เครื่องคอมพิวเตอร์ ขนาดเล็กให้กับเด็กๆ และต่อมาก็ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้เป็นคอมพิวเตอร์ ราคาถูกเพื่อที่ทุกคนจะสามารถเข้าถึงระบบคอมพิวเตอร์ ได้และสามารถศึกษาการทำงานของคอมพิวเตอร์ เขียนโปรแกรม ง่ายๆ ได้ทันที โดยได้พัฒนาบนพื้นฐานของการใช้ชิพเซ็ต ARM มาเรื่อยๆ ตั้งแต่ โมเดล a , b และ b+

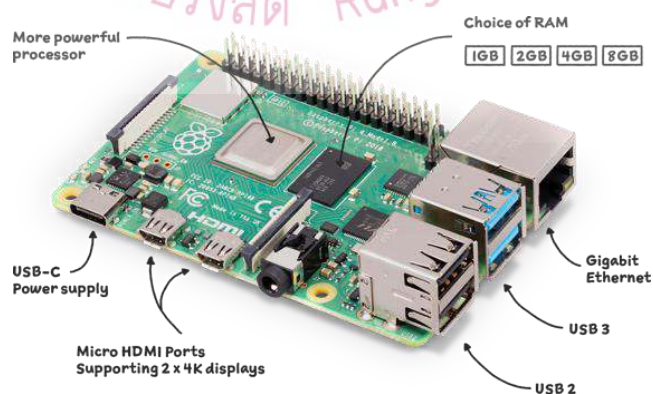


รูปที่ 2.2 แสดงรูปภาพ Raspberry Pi4  
ที่มา: Cytron Raspberry Pi4 Model B Product, 2020

### 2.2.1 ความสามารถของ Raspberry Pi

Raspberry Pi สามารถทำงานได้เหมือน Computer ทั่วไป เพียงแต่ความเร็วหรือประสิทธิภาพอาจจะไม่เร็วเท่า ในปัจจุบัน ได้เปรียบเรื่องการประหยัดพลังงานอย่างมากของ Raspberry Pi , ขนาดของตัวบอร์ดเองที่เล็กมาก แต่ก็มี Port เชื่อมต่อ อย่างครบครัน และราคาที่ไม่สูงทำให้ทุกคนสามารถใช้ Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ ประจำบ้านอีกเครื่องหนึ่งได้ส่วนระบบปฏิบัติการพื้นฐานของ Raspberry Pi นั้นคือ Raspbian ซึ่งก็จะมีโปรแกรมที่ติดมาทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ ได้เลย รวมทั้ง การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ง่ายด้วยอย่างเช่น ภาษา Python

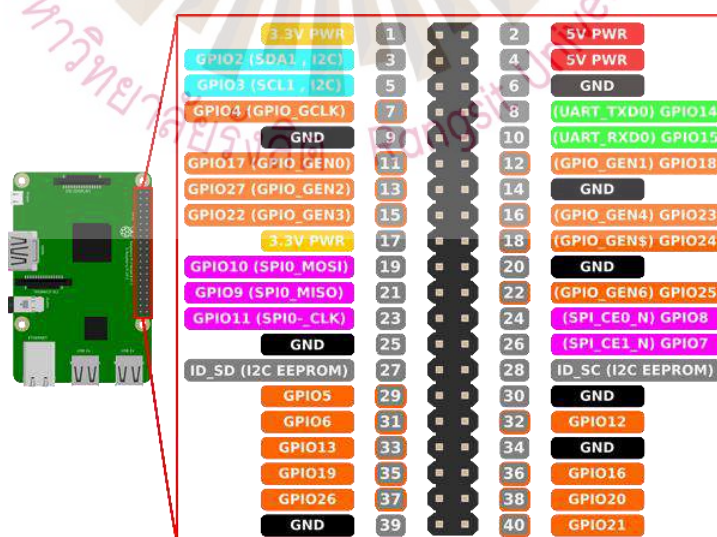
### 2.2.2 สเปกและส่วนประกอบของ Raspberry Pi



รูปที่ 2.3 แสดงภาพ Raspberry Pi และจุดเชื่อมต่อต่างๆ  
ที่มา: Cytron Raspberry Pi4 Model B Product, 2020

- 1) CPU
- 2) Memory
- 3) USB
- 4) GPIO
- 5) HDMI
- 6) Ethernet
- 7) ช่องสัญญาณเสียง
- 8) ช่องต่อกล้องแบบ CSI
- 9) ช่องต่อสัญญาณภาพแบบ DIS
- 10) ช่องใส่ SD CARD
- 11) หน่วยประมวลผลกราฟฟิค

ส่วนที่สำคัญการที่จะนำ Raspberry Pi ไปต่อกับ Sensor ต่างๆ คือ Port GPIO ซึ่งมีไว้สำหรับกำหนดการอ่านค่าแบบ Digital Interface โดยเราสามารถกำหนดโหมดให้เป็น Input หรือ Output ก็ได้ จากภาพที่ 2.4 จะอธิบาย GPIO ของ Raspberry Pi โดยมีขาเชื่อมต่อ คือ Power+, GND, I2C, UART, SPI และ GPIO ตามรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งต่างๆ บน PORT GPIO ของ Raspberry Pi

ที่มา: Framboise314.fr GPIO, 2018

### 2.2.3 วิธีการติดตั้ง Raspberry Pi

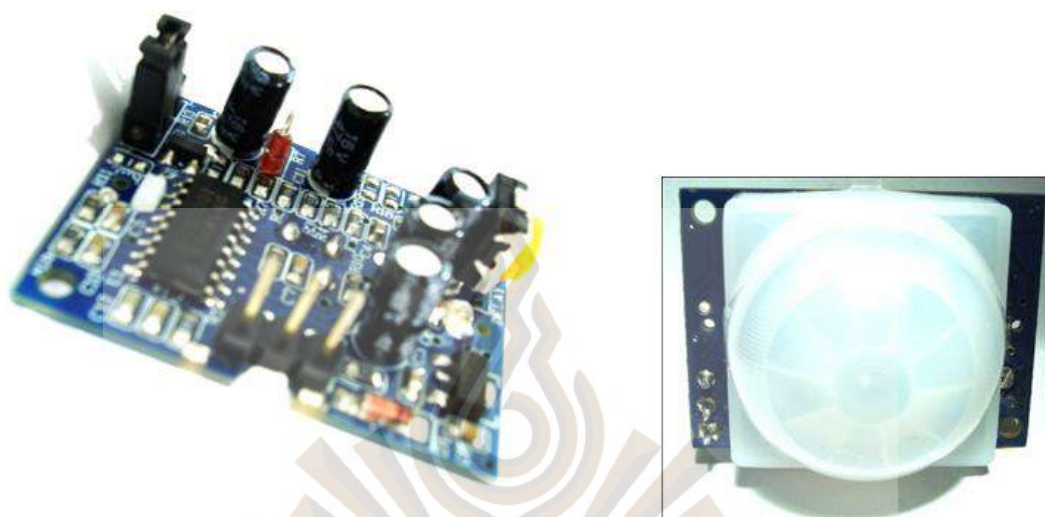
เริ่มต้นให้นำ Micro SD (Class 10 ขึ้นไปยิ่งมีความเร็วในการอ่าน-เขียนมากยิ่งดี) มาทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian เพราะเป็นระบบปฏิบัติการที่เป็นมาตรฐานการใช้งานของ Raspberry Pi ซึ่งสามารถไปดาวน์โหลดได้ที่ <https://www.raspberrypi.org/downloads/> เมื่อดาวน์โหลดเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการแตกไฟล์ Raspbian ออกมาจะได้ไฟล์อิมเมจเพื่อที่จะนำไปติดตั้งระบบปฏิบัติการลงบน Micro SD ทำการ Download โปรแกรมสำหรับเขียน SD card ทั่วไป เช่น Win32DiskImager , Etcher , SD Formatter ซึ่งผู้จัดทำจะยกตัวอย่างโปรแกรม in32DiskImager ให้ไป Download ที่ <http://sourceforge.net/> ต่อจากนั้นให้สร้าง Directory สำหรับเก็บโปรแกรมนี้ เช่น C:\Users\Desktop\Win32DiskImager จากนั้นทำการ Unzip ไฟล์ที่ Download ไปไว้ใน Directory ที่สร้างขึ้นรันโปรแกรม Win32DiskImager.exe ที่ Unzip มา แล้วเลือก Image File เป็น .img ที่ Unzip ไว้ จากนั้น เลือก Device ไปที่ SD card ที่จะเขียน กด Write แล้วรอจน โปรแกรม Process เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถดึง Micro SD ออกจาก Card Reader ได้ เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วนำไปใส่ Raspberry Pi จะแสดงผลตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงภาพระบบปฏิบัติการ Raspbian

ที่มา : ผู้วิจัย

## 2.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (PIR Motion Sensor)

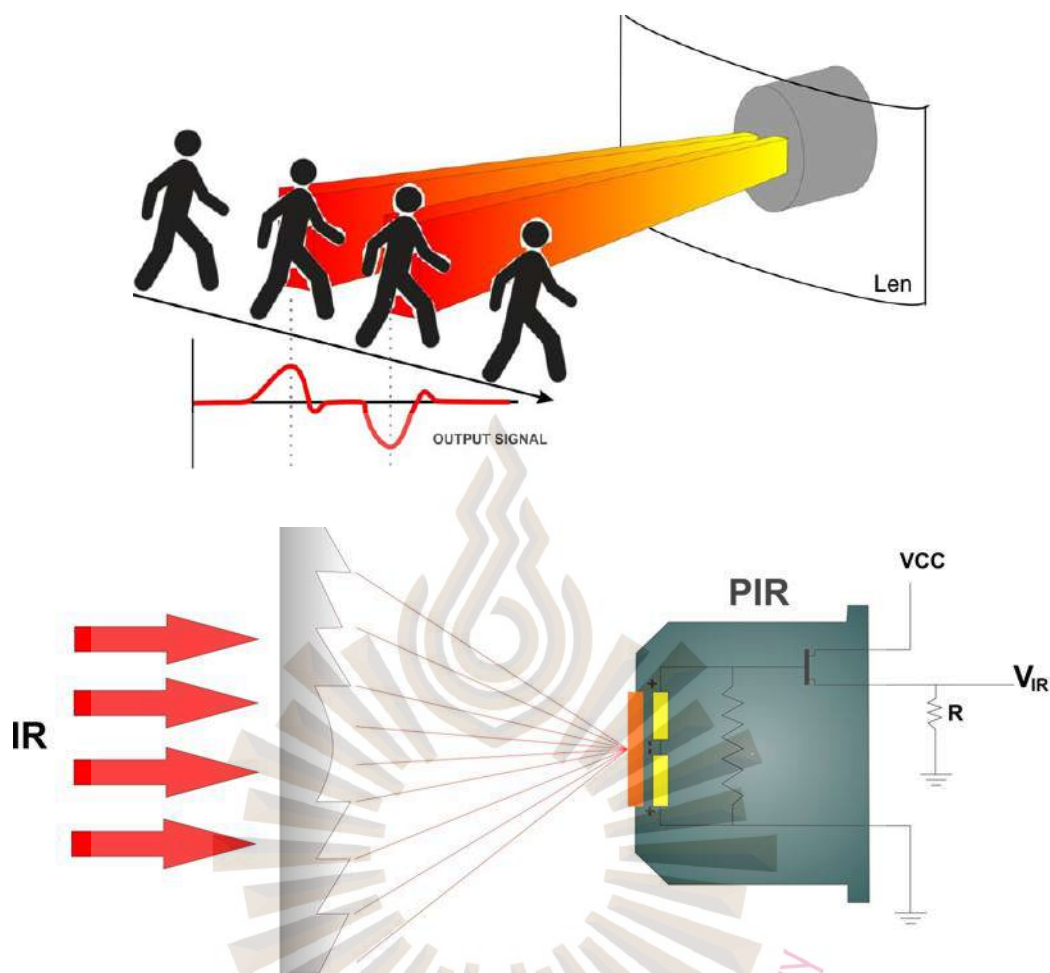


รูปที่ 2.6 แสดงภาพ PIR Motion Sensor

ที่มา: Thaieasyelec, 2017

PIR ย่อมาจาก Passive Infrared เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยการวัดความร้อนใน พื้นที่ที่ต้องการ โดยความร้อนสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจาก วัตถุ (สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาจากตัวเอง การแผ่รังสีเกิดจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอน ในอะตอมปริมาณรังสีจะมีมากน้อยตามแต่โครงสร้างทางเคมีและอุณหภูมิของวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตนั้นๆ) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นและนำมาแปลงเป็นเสียงหรือแสงสำหรับใช้เป็นเซ็นเซอร์ได้ จึงมีการนำเอา PIR มาประยุกต์ใช้งานเพื่อเป็นตรวจจับการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต หรือตรวจจับการบุกรุก ในงานรักษาความปลอดภัย หรือที่เรียกกันว่า PIR Motion Sensor

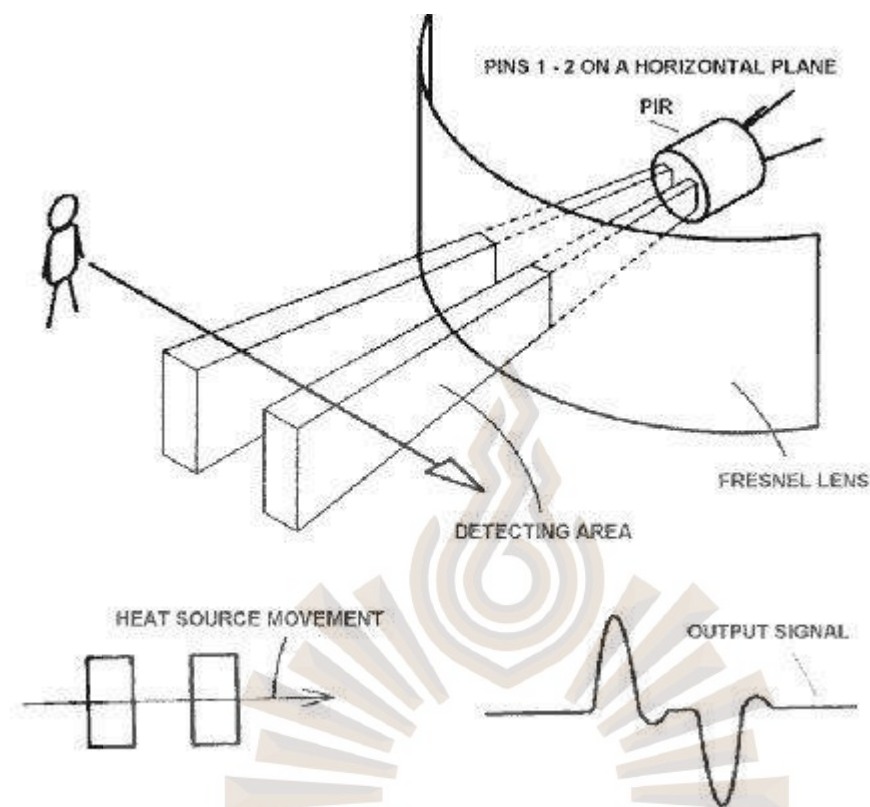
หลักการทำงานของ Passive Infrared Sensor การทำงานของ PIR จะซับซ้อนกว่าเซ็นเซอร์อื่นๆ เพราะมีหลายตัวแปรที่มีผลต่อเอาท์พุท และอินพุทของเซ็นเซอร์ตัวนี้



รูปที่ 2.7 แสดงภาพการทำงานของ PIR Motion Sensor

ที่มา: Thaieasyelec, 2017

ภายใน PIR จะมีอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอินฟราเรดอยู่สองชุดด้วยกันดังรูป โดยในแต่ละรูปของอุปกรณ์ จะทำจากวัสดุพิเศษที่ไวต่อรังสีอินฟราเรดมาก ส่วนเลนส์ (Fresnel Lens) ที่ครอบอยู่ทำหน้าที่คล้ายเลนส์นูน กระจายแสงจากจุดโฟกัสด้านหนึ่งเป็นลำแสงขนานออกไปในระยะไกลได้ เมื่อมี คนหรือสัตว์ที่ มีความอบอุ่นในร่างกายเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับ ซึ่งในขณะที่เคลื่อนไหวจะมีรังสี ความร้อนแผ่ออกมา รอบๆตัวในปริมาณที่แน่นอนอยู่จำนวนหนึ่ง ทำให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลง PIR สามารถ ตรวจจับคลื่นรังสี อินฟราเรดที่ แผ่ออกมาจากสิ่งมีชีวิตได้ PIR จะส่งคลื่นรังสีมายังตัว Pyro Electric ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดเป็นพลังงานไฟฟ้า ตามการเคลื่อนไหวนั้นออกมาทางขา เอาต์พุต แล้วจะถูกป้อนเข้าสู่ไอซี เพื่อทำการขยายสัญญาณต่อ



รูปที่ 2.8 แสดงภาพการทำงานของ PIR Motion Sensor เมื่อมีรังสีอินฟราเรดเปลี่ยนแปลง

ที่มา: Thaieasyelec, 2017

ในตอนที่ยังไม่มีสิ่งมีชีวิตผ่านเซ็นเซอร์ ไปทั้งสองอุปกรณ์ ตรวจจับคลื่นรังสี จะมีค่าแรงดันปกติ และเมื่อมีสิ่งมีชีวิตเคลื่อนที่ผ่าน อุปกรณ์ตรวจจับรังสี อินฟราเรดตัวที่หนึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาสูง กว่าแรงดันปกติ เมื่อเทียบกับแรงดันจากอุปกรณ์อีกตัวหนึ่ง และเมื่อสิ่งมีชีวิตเคลื่อนออกจากพื้นที่ตรวจจับ จะเกิดการย้อนกลับของแรงดัน ทำให้แรงดันเอาต์พุตต่ำกว่าแรงดันปกติ แล้วจึงกลับมาเท่าปกติในภายหลัง นั่นหมายความว่าสามารถตรวจจับสิ่งมีชีวิตที่เคลื่อนไหวผ่านเซ็นเซอร์นี้ได้แล้ว

## 2.4 USB Webcam

เว็บแคม (Webcam) หรือ เว็บแคมเรา (Web Camera) หมายถึงกล้องวิดีโอที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ แล็บท็อป หลักการใช้งานเว็บแคมก็คือ การสื่อสารออนไลน์

ในรูปแบบเห็นหน้าตาก่อนสนทนาผ่านทางอินเทอร์เน็ต ในทางธุรกิจกล้องเว็บแคมช่วยในการประชุมออนไลน์โดยที่ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถประชุมร่วมกันโดยไม่จำเป็นต้องเดินทางมาอยู่ในสถานที่เดียวกัน นอกจากนี้มีการใช้งาน Webcam สำหรับความปลอดภัยอื่นๆ

การเชื่อมต่อของกล้อง Webcam นั้นก็มีความสำคัญ บางคนใช้คอมพิวเตอร์รุ่นที่ต่างกันก็จะทำให้ USB Port อาจจะมีเวอร์ชันที่ต่างกันด้วย ซึ่งจะมีตั้งแต่เวอร์ชัน USB 1.1, เวอร์ชัน USB 2.0, เวอร์ชัน USB 3.0 และเวอร์ชัน USB 3.1 ซึ่งแต่ละเวอร์ชัน นั้นก็จะมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่างกัน ยิ่งเวอร์ชันที่ออกมาหลัง ๆ ความเร็วในการส่งข้อมูลก็ยิ่งสูงขึ้นเร็วขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ทั้งนั้นโปรดตรวจสอบ USB Port ของคุณก่อนซื้อกล้อง Webcam ด้วยว่ารองรับกันหรือไม่ วิธีการแยกพอร์ต USB ในคอมพิวเตอร์ การเลือกใช้เวอร์ชันพอร์ตของ USB ให้ตรงตามที่ออกแบบมาจะช่วยให้อุปกรณ์นั้น ๆ ทำงานได้รวดเร็วตรงตามที่ระบุไว้ ถามว่าคนละเวอร์ชันสามารถใช้ร่วมกันได้ไหม? ก็สามารถใช้ร่วมกันได้ แต่จะทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ และบางครั้งอุปกรณ์บางตัวก็ใช้ร่วมกันไม่ได้จริง ๆ ดังนั้นเลือกใช้ให้ตรงตามเวอร์ชันจะเป็นการดีที่สุด



รูปที่ 2.9 แสดงภาพของกล้อง Webcam

ที่มา: Imilab, 2023

คุณสมบัติของกล้อง Imilab Webcam ความคมชัด Full HD 1080p ความละเอียด 2 MP ระยะโฟกัสไกลสุด 5 เมตร Frame Rate 30 FPS ไมโครโฟน ติดตั้งในอุปกรณ์ แหล่งจ่ายไฟ USB-A

## 2.5 คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision)

คอมพิวเตอร์วิทัศน์เป็นสาขาวิชาหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการได้มา การประมวลผล และการวิเคราะห์ภาพจากฟังก์ชันเหล่านี้คอมพิวเตอร์วิทัศน์พยายามดึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ออกจากภาพให้ได้มากที่สุด ซึ่งสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการตัดสินใจด้านต่าง ๆ ได้ การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่นิยมคือการค้นหาวิธีการที่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถเหมือนมนุษย์ในการทำควมเข้าใจภาพและลดข้อมูลที่ไม่เป็นประโยชน์ออกไป คอมพิวเตอร์วิทัศน์สามารถนำไปใช้ในระบบการจับข้อัดโน้มนั การจดจำวัตถุ ตลอดจนการจัดการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และงานด้านอื่น ๆ

ศาสตร์ด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีการเติบโตอย่างมากในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ปัจจุบันมีไลบรารีเพิ่มจำนวนมากขึ้นเพื่อใช้สำหรับแอปพลิเคชันพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ การใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์อย่างแพร่หลายเกิดขึ้นได้ด้วยการผสมผสานขั้นตอนวิธีที่มีความสามารถมากขึ้น ฮาร์ดแวร์ที่ถูกลงและทรงพลังมากขึ้นและคุณสมบัติของกล้องที่ดีกว่าเดิมเป็นอย่างมาก

### 2.5.1 OpenCV

OpenCV เป็นไลบรารีทางซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ (Image Processing) สำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) แบบเปิดเผยซอร์สโค้ด (Open Source) ที่ได้รับอนุญาตจาก BSD-License ทำให้ให้สะดวก ง่ายต่อการใช้งานและสามารถแก้ไขหรือเปิดเผยซอร์สโค้ด ดันฉบับได้ OpenCV ได้รับการพัฒนาเพื่อรองรับการนำไปประยุกต์ใช้งานของแอปพลิเคชันพลิเคชันการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และเพื่อกระตุ้นการใช้การรับรู้ของเครื่องในแอปพลิเคชันพลิเคชันที่ใช้งานได้เชิงพาณิชย์ งานวิจัย และงานด้านต่าง ๆ ไลบรารีของ OpenCV นั้นมีขั้นตอนวิธีขั้นสูงมากกว่า 2,500 รายการ รวมถึงชุดที่ครอบคลุมของการมองเห็นของคอมพิวเตอร์พื้นฐานและขั้นสูงและขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง ขั้นตอนวิธีของ OpenCV สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน ตัวอย่างเช่น การรู้จำด้วยใบหน้า การระบุอุปเจดต่าง ๆ การแยกแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ การผลิตภาพวัตถุ 3 มิติจากกล้องสามมิติผ่านระบบคลาวด์ การตัดต่อภาพเพื่อสร้างภาพที่มีความละเอียดสูง การค้นหาภาพที่คล้ายคลึงกันจากฐานข้อมูลภาพ การลบตาแดงออกจากภาพที่ถ่ายที่ใช้แฟลช การจดจำทิศทาง และการสร้างเครื่องหมายเพื่อซ้อนทับกับ

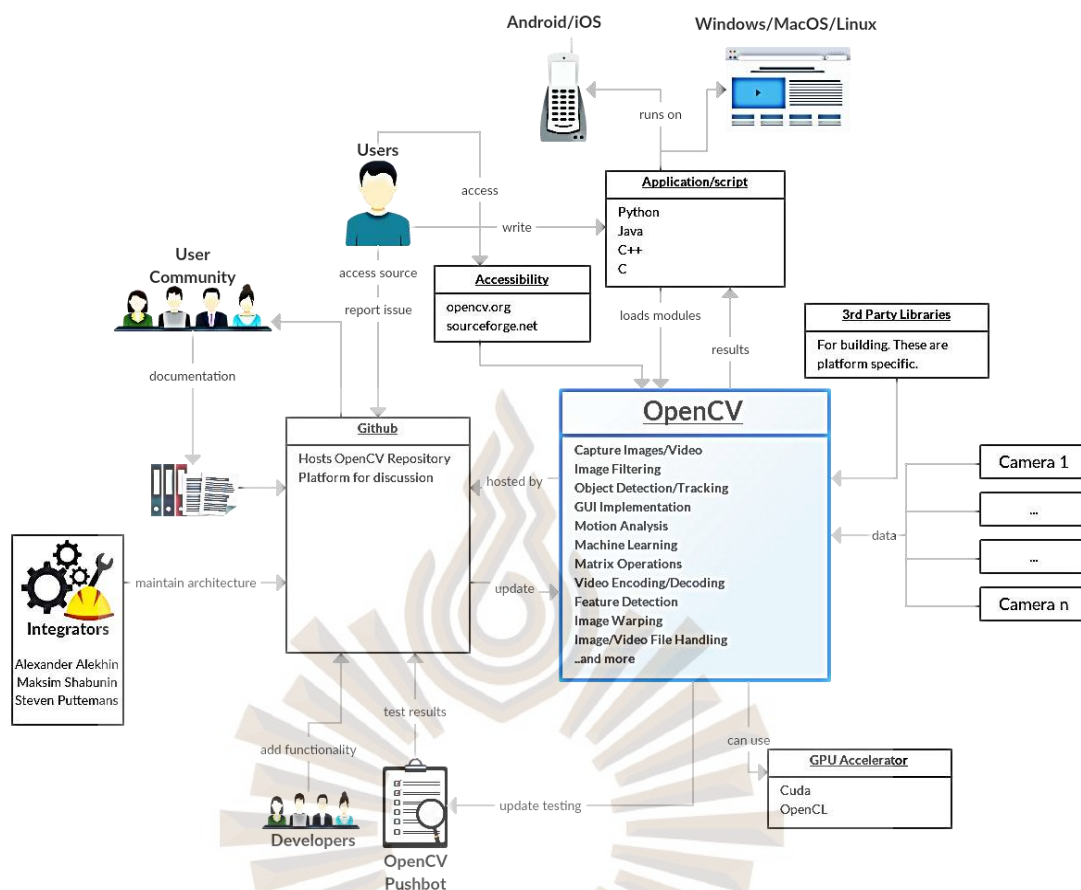
ภาพจริง เป็นต้น นอกจากนี้ OpenCV เป็นส่วนที่สำคัญในแอปพลิเคชันพลิเคชันด้านการมองเห็นแบบเรียลไทม์โดยใช้ประโยชน์จากชุดคำสั่ง MMX และ SSE ที่มีอยู่ในหน่วยประมวลผล และยังมีการพัฒนาส่วนประสานกับคูดา (CUDA) และ Open CL อย่างต่อเนื่อง ซึ่งช่วยเพิ่มสมรรถนะการประมวลผลภาพ (Image Processing) ให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ไลบรารีของ OpenCV ถูกพัฒนาด้วยภาษา C และ C++ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเป็นไลบรารีที่สามารถข้ามแพลตฟอร์มและข้ามภาษาได้ ไลบรารีของ OpenCV สนับสนุนภาษาเขียนโปรแกรมหลายภาษา ตัวอย่างเช่น Python C++ หรือ Java และสนับสนุนระบบปฏิบัติการ ตัวอย่างเช่น Windows, Linux, Mac OS X, Android และ iOS เป็นต้น ขั้นตอนวิธีของ OpenCV ได้รับการปรับให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพด้วยการใช้ภาษา C ซึ่งช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของหน่วยประมวลผลหลักและหน่วยประมวลผลด้านกราฟิก ตัวอย่างเช่น คูดา (CUDA) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสำหรับการประมวลผลแบบขนานบน GPU ของ NVIDIA คอมพิวเตอร์สมัยใหม่มีการใช้คูดา (CUDA) มากกว่า 375 ล้านตัวซึ่งช่วยให้นักพัฒนาสามารถเรียกใช้ขั้นตอนวิธีของตนบน GPU ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น

OpenCV มีการเชื่อมโยงกับ GitHub ซึ่งเครื่องมือให้บริการเก็บชุดคำสั่งต้นฉบับ ผู้ใช้สามารถใช้บริการ ทำสำเนา แยก หรือดาวน์โหลดต้นฉบับได้ นอกจากนี้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องใช้ในการแจ้งปัญหาและการแจ้งปัญหาเกี่ยวกับการทำงานที่ขาดหายไปหรือข้อผิดพลาดเกิดขึ้นบน GitHub ด้วย นักพัฒนาสามารถร้องขอการมีส่วนร่วมในโครงการได้ หากผู้พัฒนาที่ไม่ต้องการแก้ไขชุดคำสั่งต้นฉบับก็สามารถเข้าถึง OpenCV ได้จากหน้าเว็บของ OpenCV หรือ Source forge

### 2.5.2 มุมมองเชิงบริบทของ OpenCV (Context View of OpenCV)

มุมมองเชิงบริบทของ OpenCV เป็นแผนภาพเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ (Relationships) การมีปฏิสัมพันธ์ (Interactions) และการขึ้นต่อกัน (Dependencies) ระหว่าง OpenCV และสภาพแวดล้อมในบริบทของการประยุกต์ใช้งาน มุมมองเชิงบริบทนี้แสดงภาพรวมอย่างกว้างๆ ของทั้งระบบและดังนั้นจึงมีประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โมเดลมุมมองเชิงบริบทสำหรับ OpenCV แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 มุมมองเชิงบริบทสำหรับ OpenCV

ที่มา: Johannsson, Kashyap, & Manjappa, 2016

OpenCV มีโครงสร้างเป็นแบบโมดูลหลาย ๆ โมดูล ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งมีข้อดีคือช่วยให้มีความยืดหยุ่นในการพัฒนาหรือการนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างรวดเร็ว บางส่วนของโมดูลจะมีความเป็นอิสระต่อกัน (Loosely Coupled) ช่วยให้การแก้ไขที่เกิ่กับปัญหาที่บางโมดูลจะไม่กระทบต่อโมดูลอื่นในระบบ อย่างไรก็ตามบางส่วนของโมดูลจะมีความขึ้นต่อกัน (Tightly Coupled) เพื่อช่วยให้เกิดการแบ่งปันทรัพยากรร่วมกันได้ระหว่างโมดูลอีกทั้งยังช่วยลดความซ้ำซ้อนของโมดูลต่าง ๆ อีกด้วย ตัวอย่างบางส่วนของโมดูล

ฟังก์ชันหลัก (Core Functionality) เป็นโมดูลหลักที่มีขนาดเล็กใช้เพื่อกำหนดโครงสร้างข้อมูลพื้นฐาน รวมถึง Mat ซึ่งเป็นอาร์เรย์แบบหลายมิติที่จัดเก็บข้อมูลอย่างหนาแน่นและฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้โดยโมดูลอื่น ๆ ทั้งหมด

1) โมดูลการประมวลผลภาพ (Image Processing) ชื่อ Imgproc เป็นโมดูลการประมวลผลภาพที่รวมการกรองภาพเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น (Includes Linear and Non-Linear Image Filtering) การแปลงภาพเชิงเรขาคณิต ประกอบด้วย การปรับขนาดภาพ (Resize) การสลับพื้นที่กัน และการบิดเบี้ยวของเปอร์สเปกทีฟ (Affine and Perspective Warping) การรีแมปแบบตารางทั่วไป การแปลงพื้นที่สี (Color Space Conversion) การปรับฮิสโตแกรม (Histograms) เป็นต้น

2) โมดูลการวิเคราะห์ภาพวิดีโอ (Video Analysis) ชื่อ video เป็นโมดูลการวิเคราะห์ภาพวิดีโอ ประกอบด้วยส่วนของการประมาณการเคลื่อนไหว การลบพื้นหลัง และขั้นตอนวิธีการติดตามวัตถุ

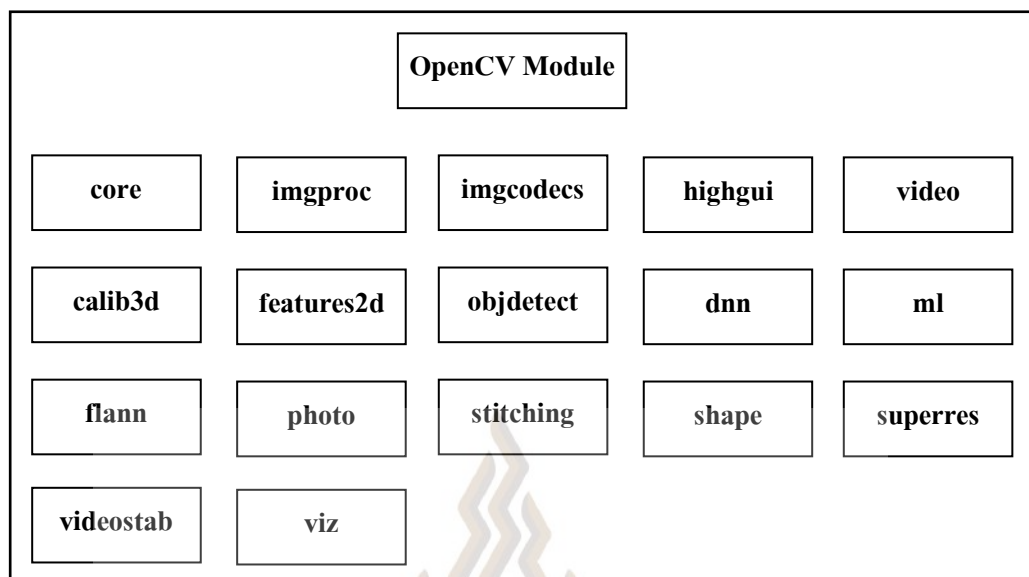
3) โมดูลการปรับเทียบกล้องและการสร้างภาพ 3 มิติ (Camera Calibration and 3D Reconstruction) ชื่อ calib3d เป็นโมดูลประกอบด้วยขั้นตอนวิธีเรขาคณิตแบบหลายมุมมองพื้นฐาน การสอบเทียบกล้องถ่ายภาพแบบเดี่ยวและแบบสามมิติ การประมาณการทำทางวัตถุ ขั้นตอนวิธีการโต้ตอบแบบสามมิติ และองค์ประกอบของการสร้างแอปพลิเคชัน 3D ขึ้นมาใหม่

4) โมดูลกรอบคุณสมบัติ 2 มิติ (2D Features Framework) ชื่อ Features2d เป็นโมดูลทำหน้าที่ตรวจหาลักษณะเด่น ตัวอธิบายความหมาย และตัวจับคู่ตัวอธิบายความหมาย

5) โมดูลการตรวจหาวัตถุ (Object Detection) ชื่อ Objdetect เป็นโมดูลทำหน้าที่ตรวจหาวัตถุและอินสแตนซ์ของคลาสที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ตัวอย่างเช่น ใบหน้า ตา แก้วน้ำ คน รถ และอื่น ๆ เป็นต้น

6) โมดูลการสร้างส่วนประสานกับผู้ใช้ (High-level GUI) ชื่อ Highgui เป็นโมดูลทำหน้าที่เป็นส่วนประสานสามารถใช้สร้างความเรียบง่ายแก่การสร้างส่วนประสานกับผู้ใช้งานได้ง่าย

7) โมดูลวิดีโอไอโอ (Video I/O) ชื่อ Videoio เป็นโมดูลทำหน้าที่เป็นส่วนประสานสำหรับการจับภาพวิดีโอและตัวแปลงสัญญาณวิดีโอที่ใช้งานได้ง่าย



รูปที่ 2.11 การขึ้นต่อกันระหว่างโมดูลของ OpenCV

ที่มา: Johansson et al., 2016

### 2.5.3 มุมมองการนำไปใช้งาน (Deployment View)

มุมมองการนำไปใช้งานเป็นการมุ่งเน้นไปที่สภาพแวดล้อมการรันไทม์ของระบบ รวมถึงฮาร์ดแวร์ที่จำเป็นและการจับคู่ระหว่างองค์ประกอบซอฟต์แวร์กับสภาพแวดล้อมของการนำไปใช้งาน OpenCV สามารถนำไปปรับใช้งานได้หลายแพลตฟอร์ม ตัวอย่างเช่น ในระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อุปกรณ์พกพาที่ใช้หน่วยประมวลผลอาร์ม (ARM) บนระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส ระบบฝังตัวที่ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์เวิร์กสเตชันที่มีราคาแพง ซึ่งสามารถมีหน่วยประมวลผลหลักและหน่วยประมวลผลกราฟิกได้จำนวนมาก

ตัวอย่างหนึ่งของการนำ OpenCV ไปประยุกต์ใช้งานด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ตัวอย่างเช่น การพัฒนาหุ่นยนต์ที่มีระบบการติดตามวัตถุซึ่งต้องมีการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ระบบนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu ที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้หุ่นยนต์ (Raspberry Operating System) นอกจากนี้ยังมีหน่วยประมวลผลกราฟิกที่มีคุณสมบัติคูดา (CUDA) ช่วยให้การประมวลผลชุดคำสั่งด้านกราฟิกทำได้อย่างรวดเร็วขึ้นเป็นอย่างมาก ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์มีระบบการติดตามวัตถุซึ่งต้องมีการใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ดังรูปที่ 2.13 มีดังนี้

ขั้นที่ 1 กล้อง XIMEA xiD ทำหน้าที่รับเฟรมภาพ

ขั้นที่ 2 กล้อง XIMEA xiD ส่งเฟรมภาพไปยังหน่วยประมวลผลกราฟิก

ขั้นที่ 3 หน่วยประมวลผลกราฟิกทำหน้าที่ตรวจหาวัตถุ (Object Detection)

ขั้นที่ 4 หน่วยประมวลผลกราฟิกรายงานผลการตรวจหาวัตถุ

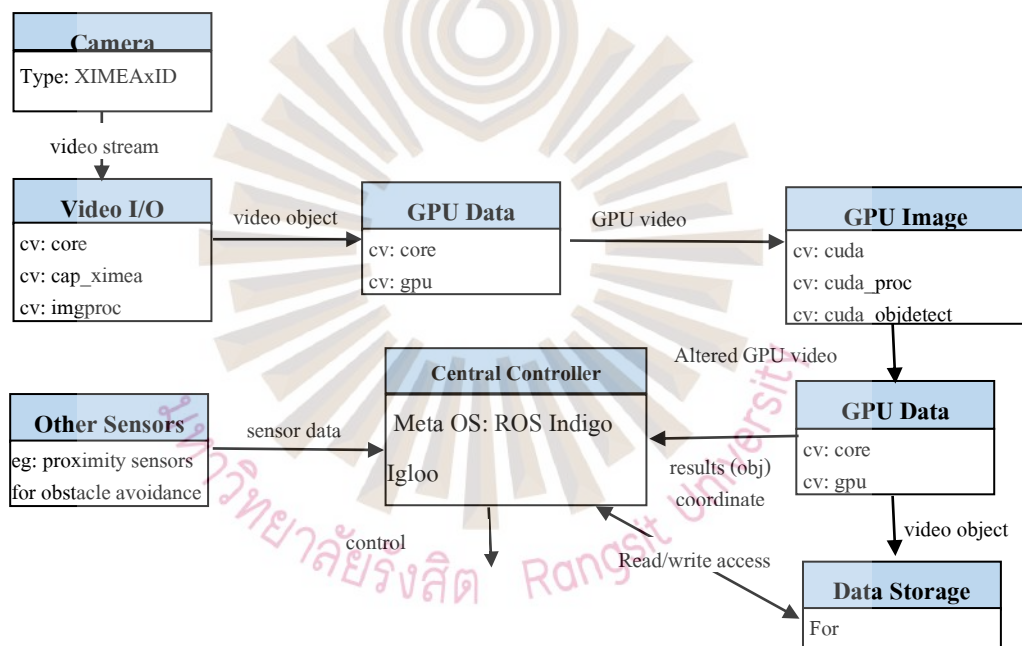
ขั้นที่ 5 เก็บรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์อื่น ๆ ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ตรวจหาวัตถุที่ขัดขวาง

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ขั้นที่ 6 ระบบทำการตัดสินใจจากผลการตรวจหาวัตถุและข้อมูลจากเซนเซอร์ที่เกี่ยวข้อง

ขั้นที่ 7 ระบบส่งสัญญาณควบคุมไปยังหน่วยควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานตามการตัดสินใจ

ขั้นที่ 8 ย้อนกลับไปขั้นที่ 1



รูปที่ 2.12 มุมมองการนำไปใช้งานของ OpenCV

ที่มา: Johansson et al., 2016

#### 2.5.4 มุมมองด้านประสิทธิภาพ (The Performance Perspective)

ประสิทธิภาพหมายถึงความสามารถของระบบในการจัดให้ผลลัพธ์ที่ต้องการภายในเวลาตอบสนองที่กำหนด ไลบรารีการประมวลผลภาพของ OpenCV จะต้องประมวลผลกับเฟรมภาพ

จำนวนมากต่อวินาที ไบรารีการประมวลผลภาพนี้สามารถช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการมีความถูกต้องและรวดเร็วเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ OpenCV มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างไรก็ตามการเพิ่มประสิทธิภาพเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อมหลายด้านด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น สถาปัตยกรรมหน่วยประมวลผล ระบบปฏิบัติการ และภาษาที่ใช้ในการพัฒนา เป็นต้น

ฟังก์ชันหลายฟังก์ชันของ OpenCV สามารถปรับคุณสมบัติการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เหมาะสมที่แตกต่างกันได้ การใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเหล่านี้จะทำให้การทำงานของระบบในระบรันไทม์รองรับ อย่างไรก็ตามฟังก์ชันของ OpenCV ยังมีชุดคำสั่งที่ไม่ได้รับการปรับให้เหมาะสมเนื่องจากระบบที่นำไปใช้งานอาจไม่รองรับคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพนี้ ฟังก์ชัน `cv2.useOptimized()` สามารถใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีการเปิดใช้งานหรือปิดใช้งานการปรับคุณสมบัติการเพิ่มประสิทธิภาพ และ `cv2.setUseOptimized()` เพื่อเปิดใช้งานหรือปิดใช้งาน การปรับคุณลักษณะการเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติการเพิ่มประสิทธิภาพใน OpenCV

| คุณลักษณะ | คำอธิบาย                                                                                                                                                                                         | ความพร้อมใช้งาน |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| SSE2/3    | ย่อมาจาก Streaming SIMD Extensions 2/3 เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งทางด้านมัลติมีเดียที่อยู่ในไลบรารี SIMD ของหน่วยประมวลผลอินเทล เป็นคุณสมบัติที่ทำให้หนึ่งคำสั่งสามารถประมวลผลข้อมูลได้หลายข้อมูล     | Intel Chipsets  |
| NEON      | ออกแบบมาเพื่อใช้เฉพาะกับหน่วยประมวลผล ARM เพื่อเร่งความเร็วขั้นตอนวิธีการประมวลผลข้อมูลมัลติมีเดีย ตัวอย่างเช่น การเข้ารหัส/ถอดรหัสวิดีโอ กราฟิก 2D/3D การเล่นเกม การประมวลผลเสียงและภาพ เป็นต้น | ARMv6           |

ตาราง 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติการเพิ่มประสิทธิภาพใน OpenCV (ต่อ)

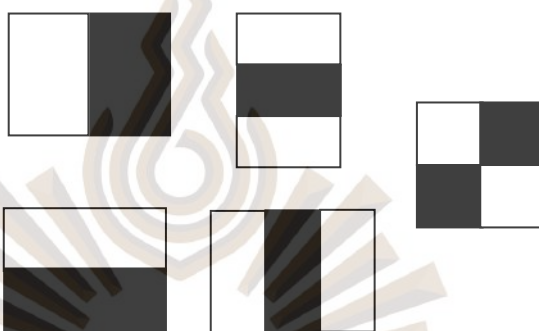
| คุณลักษณะ | คำอธิบาย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ความพร้อมใช้งาน                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| IPP       | Integrated Performance Primitives (Intel® IPP) เป็นไลบรารีสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชัน<br>ฟังก์ชันการประมวลผลข้อมูลและการสื่อสาร<br>ฟังก์ชันเหล่านี้ได้รับการปรับแต่งให้มี<br>ประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยใช้ส่วนขยายของอินเทล<br>Streaming SIMD                                                                                                               | OpenCV 3.0<br>on Intel<br>Chipsets |
| OpenCL    | Open Computing Language (OpenCL) เป็น<br>มาตรฐานเปิดสำหรับการเขียนชุดคำสั่งให้<br>สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มที่แตกต่างกัน<br>รวมถึงหน่วยประมวลผลหลัก และหน่วย<br>ประมวลผลกราฟิก OpenCL ให้แอปพลิเคชัน<br>ฟังก์ชันสามารถเข้าถึงหน่วยประมวลผลกราฟิก<br>เพื่อการประมวลผลที่ไม่ใช่กราฟิก (GPGPU)<br>ส่งผลให้มีความเร็วการประมวลผลเพิ่มขึ้นเป็น<br>อย่างมาก | All Platforms                      |
| CUDA      | CUDA เป็นแพลตฟอร์มการประมวลผลแบบ<br>ขนานและโมเดลของแอปพลิเคชันฟังก์ชันการ<br>เขียนโปรแกรมส่วนประสาน (API) สร้างโดย<br>NVIDIA เพื่อดำเนินการประมวลผลภาพบน<br>NVIDIA GPUs                                                                                                                                                                              | NVIDIA<br>GPUs                     |

ที่มา: Johannsson et al., 2016

## 2.6 ขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้า (Face Detection Algorithm)

### 2.6.1 Haar-cascade Classifier

ขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้า Haar-cascade (Wilson & Fernandez, 2006) เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจหาใบหน้าโดยการฝึกสอนให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ในการตรวจหาวัตถุต่าง ๆ รวมทั้งภาพใบหน้าของคนที่อยู่ในภาพ วิธีการนี้นำเสนอโดย Viola & Jones (2001) วิธีการนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Haar และ Cascade



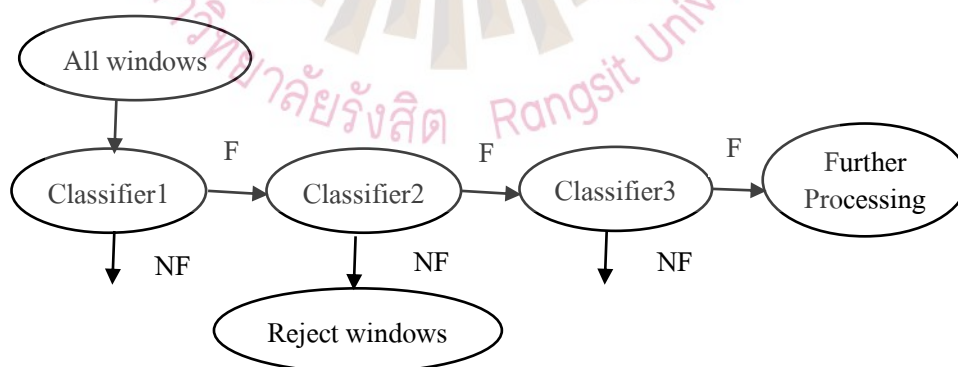
รูปที่ 2.13 กระบวน Haar-like Feature ในการตรวจหาใบหน้า  
ที่มา: Viola & Jones, 2001



รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างของ Haar-like Feature ในการตรวจหาใบหน้า  
ที่มา: Jain, 2011

Haar-like Feature จะทำการแบ่งส่วนของภาพออกเป็นสี่เหลี่ยมจำนวนสอง สามหรือสี่ ส่วน สี่เหลี่ยมแต่ละส่วนจะแทนด้วยสีขาวหรือสีดำ โดยความเป็นไปได้ของการแบ่งเป็นสี่เหลี่ยม

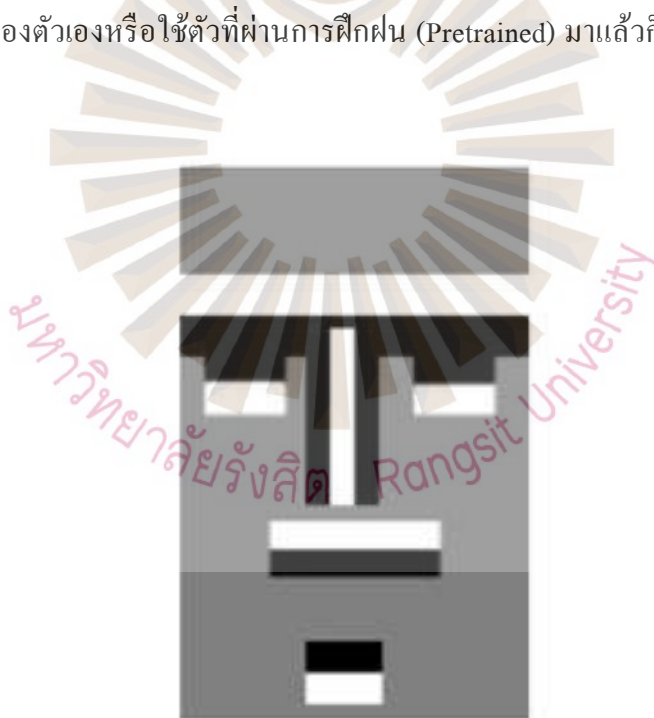
ดังแสดงในรูปที่ 2.14 คอมพิวเตอร์จะเรียนรู้ Haar-cascade จากภาพที่มีวัตถุที่ต้องการตรวจหา และภาพที่ไม่มีวัตถุที่ต้องการตรวจหา วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อดึงเอาคุณลักษณะที่เป็น ส่วนประกอบที่แสดงถึงภาพของใบหน้ามาผสมผสาน ดังรูปที่ 2.14 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของ เครื่องเพื่อตรวจหาวัตถุตามแนวทางของ Haar-cascade ต้องใช้ภาพระดับสีเทา (Grayscale) ความหนาแน่นของสีเทาจะถูกใช้เพื่อตรวจหาคุณลักษณะที่ต้องการ โดยการคำนวณจากผลรวม ของจำนวนจุดที่มีสีเข้มลบออกด้วยผลรวมของจำนวนจุดที่มีสีขาว การผสมผสานของคุณสมบัติ ต่าง ๆ ที่แยกออกมาจากขั้นตอนการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกใช้ในการตรวจหาภาพใบหน้า การตรวจหาภาพใบหน้าจะใช้การจับคู่บล็อกของกลุ่มจุดภาพ (Blocks of Pixels) ที่ละบล็อก ไปจนหมด ส่วนประกอบของใบหน้าแต่ละส่วนจะถูกรู้จำอย่างถูกต้องในแต่ละบล็อกอย่าง ต่อเนื่องจนได้เป็นภาพใบหน้า ตัวอย่างเช่น บล็อกมีจำนวน 24x24 จุดภาพ หากผลการจับคู่ของ บล็อกทำนำมาทดสอบไม่ตรงกันกระบวนการตรวจหาภาพใบหน้าจะหยุดลง ดังรูปที่ 2.14 F (Face) แสดงถึงการคัดแยกตรวจพบภาพใบหน้าในหน้าต่างที่ใช้ทดสอบก็จะบันทึกไว้ใน กระบวนการถัดไป และ NF (Not Face) แสดงถึงการคัดแยกตรวจไม่พบภาพใบหน้าในหน้าต่าง ที่ใช้ทดสอบก็จะยกเลิกการทดสอบของหน้าต่างนี้ (Reject Window) วิธีการนี้มีความสามารถในการ ตรวจหาภาพที่ไม่มีใบหน้าได้เช่นกันเนื่องจากการทดสอบจะทำเพียงไม่กี่ครั้งเพื่ออนุมานว่าภาพ นั้นไม่มีใบหน้า ส่งผลให้มีการตรวจหาใบหน้าเมื่อแต่ละคุณลักษณะของชุดค่าผสมได้รับการ จดจำอย่างถูกต้องในบล็อก



รูปที่ 2.15 แสดงกระบวนการ Haar-cascade

ที่มา: Viola & Jones, 2001

รูปที่ 2.16 แสดงการผสมผสานคุณสมบัติต่าง ๆ อย่างคร่าว ๆ ของ การจับคู่ในแต่ละบล็อก จากรูปจะเห็นว่าส่วนของบริเวณดวงตามีสีเข้มกว่าสีของบริเวณแก้ม บริเวณตรงกลางของจมูกจะมีสีที่อ่อนกว่า คุณลักษณะเด่นต่าง ๆ เหล่านี้ถูกคัดแยกออกมาจากการเรียนรู้ใช้เพื่อค้นหารูปแบบเพื่อเป็นตัวแทนของใบหน้า กระบวนการนี้จะประมวลผลไปที่ละบล็อก ๆ ตั้งแต่บล็อกแรกไปจนถึงบล็อกสุดท้าย และเมื่อทำงานจบในรอบแรกแล้ว จะเริ่มกระบวนการในรอบต่อไปโดยการเพิ่มจำนวนจุดในบล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วจะทำการตรวจสอบหาภาพใบหน้าเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ บล็อกที่อยู่ใกล้กันซึ่งอาจจะมีจุดภาพเพียงไม่กี่จุดภาพเท่านั้นที่แตกต่างกัน ทุกครั้งที่มีการตรวจพบใบหน้าในรูปภาพใบหน้าที่เดียวกันจะถูกตรวจพบในบล็อกที่ต่างกันได้ ใบหน้าที่ตรวจพบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับบุคคลเดียวกันจะถูกรวมเข้าด้วยกันและถือเป็นใบหน้าเดียวเมื่อสิ้นสุดกระบวนการทั้งหมด การสะสมของตัวจำแนกประเภทที่ Weak นี้สามารถใช้เพื่อสร้างเครื่องตรวจหาใบหน้าได้อย่างรวดเร็วด้วยความแม่นยำที่เหมาะสมตัวแยกประเภทแบบ Haar-cascade อาจจะได้รับฝึกฝนเพียงครั้งเดียวก็ได้ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะสร้าง Haar-cascade ของตัวเองหรือใช้ตัวที่ผ่านการฝึกฝน (Pretrained) มาแล้วก็ได้



รูปที่ 2.16 แสดงการผสมผสานคุณสมบัติของ Haar-like Features

ที่มา: Viola & Jones, 2001

## ฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสี (Histogram of Oriented Gradients - HOG)



รูปที่ 2.17 แสดงฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสี (Histogram of Oriented Gradients)

ที่มา: King, 2014

ฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสีเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้การไล่ระดับสี (Dalal & Triggs, 2005; Déniz-Suárez, García, Salido, & Torre, 2011) เพื่อใช้ในการตรวจหาวัตถุและสามารถใช้ในการตรวจหาใบหน้าในภาพได้เช่นกัน วิธีการนี้ต้องใช้รูปภาพในโทนสีเทา (Grayscale) แต่ละจุดภาพของรูปภาพจะแสดงด้วยตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อแสดงระดับความเข้มของสีเทา วิธี HOG จะทำการเปรียบเทียบแต่ละจุดภาพกับจุดภาพที่อยู่รอบ ๆ ตัวเอง โดยปกติแล้วจุดภาพหนึ่ง ๆ จะถูกล้อมรอบด้วยจุดภาพอื่น ๆ อีกแปดจุดภาพ เป้าหมายของฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสีคือเพื่อหาทิศทางหรือแนวโน้มของภาพที่มีสีที่เข้มเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 2.18 จะเห็นว่ารูปลูกศรสีขาวจะแสดงทิศทางซึ่งยังส่วนที่มีสีเข้มกว่า ข้อดีของวิธีนี้คือผลลัพธ์จะไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง ตัวอย่างเช่น หากรูปภาพมีจุดภาพทั้งหมดก็จะมีจุดลง ลูกศรที่แสดงทิศทางที่มีจุดลงจะไม่เปลี่ยนในภาพที่สว่างกว่า

ขั้นตอนนี้ทำให้เห็นรายละเอียดการวิเคราะห์โครงสร้างของใบหน้า จุดมุ่งหมายคือการรู้จำภาพใบหน้าใด ๆ ก็ได้แต่การตรวจหาใบหน้าหนึ่งหน้าจากภาพจะมีรายละเอียดที่ต้องนำมาวิเคราะห์จำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดรายละเอียดจึงต้องเก็บเฉพาะทิศทางที่เกี่ยวข้องของภาพใบหน้าที่ต้องการอย่างเฉพาะเจาะจง ขั้นตอนต่อไปคือการแบ่งรูปภาพออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 16x16 จุดภาพ แล้วนับจำนวนครั้งที่แต่ละทิศทางถูกค้นพบและจะมีการวาดลูกศรในช่องสี่เหลี่ยมที่มีทิศทางซึ่งพบบ่อยที่สุดเพียงอันเดียว ดังรูปที่ 2.18 แสดงค่าเฉลี่ยของการแสดงทิศทางของลูกศรที่ผ่านการเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้ภาพ 3,000 ภาพและใช้ไลบรารี dlib (King, 2009, 2014)

เมื่อเครื่องตรวจหาได้รับการฝึกฝน (Pretraining) แล้วก็พร้อมในการนำไปใช้งาน สำหรับการตรวจหาภาพใบหน้า เครื่องตรวจหาจะตรวจสอบภาพ ค้นหาใบหน้า และตรวจสอบว่าโครงสร้างใบหน้าตรงกับที่ใดที่หนึ่งของภาพหรือไม่ แต่ครั้งที่รูปแบบ (Pattern) ถูกตรวจหาได้ที่ใดที่หนึ่งในภาพ หมายความว่ามีการตรวจพบใบหน้าแล้ว วิธีนี้ยังสามารถใช้เพื่อค้นหาใบหน้าหลาย ๆ หน้าในรูปภาพเดียวกันได้ด้วย

### การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Preprocessing)

การคัดแยกคุณสมบัติเด่นของภาพใบหน้าออกจากภาพต้นฉบับที่ป้อน เราสามารถใช้ขั้นตอน ๆ ได้หลายวิธีตามที่ได้อธิบายไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ได้ ขั้นตอนถัดไปคือกระบวนการก่อนการประมวลผลข้อมูลภาพใบหน้าเพื่อให้ขั้นตอนการฝึกอบรมง่ายขึ้นและเพิ่มโอกาสในการจดจำบุคคลได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ข้อมูลสำหรับการฝึกของเครื่องจะถูกทำให้เป็นมาตรฐานเดียวกันไม่ว่าภาพที่ได้มานั้นจะผ่านการซูมหรือมีขนาดที่แตกต่างกันโดยมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอนคือ

- 1) การตรวจหาบริเวณดวงตาซึ่งมักเป็นบริเวณที่มีสีเข้มกว่าบริเวณอื่นและจะมีการปรับขนาด (Scaling) การหมุนภาพ (Rotating) และการแปลงภาพ (Translating)
- 2) การใช้เทคนิคฮิสโตแกรมในการเพิ่มคุณภาพของภาพต้นฉบับ โดยการจัดวางตำแหน่งภาพ การปรับความสว่างและความคมชัด
- 3) การทำเครื่องหมายรูปวงรีเพื่อเป็นการเน้นภาพใบหน้า และจะกำจัดผมและพื้นหลัง

เริ่มต้นจากการปรับตำแหน่งของใบหน้าควรจะอยู่ตรงกลางภาพเหมือนกัน โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากการกำหนดตำแหน่งของดวงตาทั้งสองข้างและจมูกมักถูกใช้เป็นจุดสังเกตสำหรับใบหน้าที่อยู่ตรงกลาง ดังนั้นจุดมุ่งหมายคือทำให้ดวงตาอยู่ในระดับเดียวกันและจมูกอยู่ในตำแหน่งเดียวกันสำหรับทุก ๆ ทั้งหมด เราสามารถใช้เครื่องแยกประเภท (Classifier) Haar-cascade เพื่อตรวจหาจมูกและดวงตาได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องตรวจหาจุดสังเกตใบหน้าซึ่งมีอยู่ในไลบรารี dlib ซึ่งอิงตามผลงานของ Kazemi & Sullivan (2011) เครื่องมือที่ใช้ตรวจหาจุดเด่น (Landmark Detector) ได้รับการฝึกอบรมให้จดจำจุดเฉพาะ 68 จุดบนใบหน้า ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 วิธีนี้ได้รับการฝึกอบรมด้วยรูปภาพจำนวนมากที่เคยติดป้ายกำกับด้วยตนเองแล้วสำหรับจุดสังเกตแต่ละแห่ง



รูปที่ 2.18 รูปแสดงคุณลักษณะเด่นของภาพใบหน้า

ที่มา: Rosebrock, 2017

เครื่องตรวจหาใบหน้า (Face Detector) สามารถใช้เพื่อควบคุมให้ภาพอยู่กึ่งกลางได้ ตัวอย่างเช่น บนจุดสังเกตหมายเลข 37, 46 ซึ่งอยู่ในดวงตาและหมายเลข 34 ซึ่งอยู่ด้านล่างของจมูก ภาพใบหน้าสามารถหมุนได้จนกว่าจุดสังเกต 37 และ 46 จะอยู่ระดับเดียวกัน การปรับเปลี่ยนนี้ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบภาพใบหน้าที่ไม่ได้หันหน้าตรงมาที่กล้อง เช่น เอียงหน้ามาด้านข้าง เป็นต้น

จากนั้นเมื่อรูปภาพทั้งหมดอยู่ในสภาวะเดียวกันคือเห็นหน้าตรงทุกใบหน้าแล้ว ก็สามารถปรับขนาดภาพให้เป็นขนาดทั่วไปได้ และยังสามารถตัดขอบภาพรอบใบหน้าได้อีกด้วย จากข้อแนะนำพบว่าควรใช้ขนาดภาพใบหน้าที่เล็ก เช่น 96x96 จุดภาพ เนื่องจากรูปภาพจะขนาดเล็กกว่าและทำให้ขั้นตอนการเรียนรู้ของเครื่องทำได้เร็วขึ้น จุดมุ่งหมายคือการหาขนาดที่เหมาะสมซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด เพื่อปรับปรุงเวลาในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้เพียงพอสำหรับการจดจำบุคคล ต้องทำการทดสอบหลายครั้งเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม

## 2.7 Line Application

Line (ไลน์) เป็นแอปพลิเคชันพลิเคชัน ที่ใช้ในการติดต่อพูดคุยสื่อสารกับอีกบุคคลหนึ่ง ซึ่งใช้อินเทอร์เน็ตในการพูดคุยติดต่อสื่อสาร ซึ่งไลน์สามารถใช้แชทหรือใช้โทรหาผู้อื่นได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ และสามารถโทรได้ตลอดไม่จำกัดระยะเวลา ซึ่งในปัจจุบันสามารถพูดคุยโดยเห็นหน้าซึ่งกันและกันโดยการเปิดกล้องได้แล้ว แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของอินเทอร์เน็ตด้วย หากอินเทอร์เน็ตสัญญาณไม่ดี หรือความเร็วไม่เสถียรพอ ก็อาจจะทำให้การติดต่อพูดคุยสื่อสารนั้นไม่

ราบรื่น พูดคุยแล้วติดขัด ซึ่งแอปพลิเคชันจะขึ้นแจ้งเตือนตลอดว่าเครือข่ายไม่เสถียร ทำให้เราพูดคุยอะไรไปอีกฝ่ายก็จะฟังเราไม่รู้เรื่อง หรือในบางครั้งเราก็จะฟังอีกฝ่ายไม่รู้เรื่องเช่นเดียวกัน

ในปัจจุบันแอปพลิเคชันไลน์ได้พัฒนาก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งมีลูกเล่นต่างๆ ตามมามากมาย ไม่ว่าจะเป็นเกมส์ ,สติ๊กเกอร์, Line Tv (ไลน์ทีวี), Theme (ธีม), Line Today(ไลน์ทูเดย์), Line Man (ไลน์แมน), Gift Shop (กิฟช็อป), Line Pay (ไลน์เพย์), Line Webtoon (ไลน์เว็บตูน), Line Camera (ไลน์คาเมรา), Line Dictionary (ไลน์ดิกชันนารี), Line Rangers TH (ไลน์แรนเจอร์ไทย), Line Career TH (ไลน์แคเรียร์ไทย), Living on Line (ลิฟวิงออนไลน์), Digi life on Line (ดิจิไลฟ์ออนไลน์), Line Music TH (ไลน์มิวสิกไทย), Line Hot Deal (ไลน์ฮอตดีล), Line Hot Brand (ไลน์ฮอตแบรนด์), Fashion On Line(แฟชั่นออนไลน์) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันของไลน์นั้นมีมากมาย ซึ่งแอปพลิเคชันแต่ละตัวก็มีความสามารถและหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป หากเรามีเวลาที่สามารถมานั่งศึกษาลูกเล่นและวิธีการใช้ของไลน์ได้

ดังนั้นแอปพลิเคชันพลิเคชันไลน์จึงเป็นที่นิยมกันมากทั้งในกลุ่มของวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่หรือวัยกลางคน แม้แต่คนอายุ 60 ขึ้นไป ก็ยังเล่นไลน์ ซึ่งผู้ใหญ่หรือวัยกลางคนจะนิยมเล่นไลน์เยอะมาก



รูปที่ 2.19 Line Application

ที่มา: Line, 2023

Application Line จะถูกนำมาใช้ในการแจ้งเตือน ผู้พัฒนาจะนำส่วนหนึ่งของ Line ที่เรียกว่า ไลน์ โนติฟาย (Line Notify) มาช่วยในการแจ้งเตือนการบุกรุกเข้ามายังพื้นที่ เนื่องจากผู้ใช้ส่วนใหญ่นิยมใช้ Application Line ในการติดต่อสื่อสารกันเพราะมีความสะดวกในการใช้งาน

Line Notify คือ บริการที่สามารถได้รับข้อความแจ้งเตือนจากเว็บเซอร์วิสต่าง ๆ ที่สนใจได้ทาง Line โดยหลังเสร็จสิ้นการเชื่อมต่อกับทางเว็บเซอร์วิสแล้ว คุณจะได้รับการแจ้งเตือนจากบัญชีทางการของ “Line Notify” ซึ่งให้บริการโดย Line นั้นเอง สามารถเชื่อมต่อกับบริการที่หลากหลายและยังสามารถรับการแจ้งเตือนทางกลุ่มได้อีกด้วย ซึ่งบริการหลักๆ ที่สามารถเชื่อมต่อได้แก่ GitHub, IFTTT หรือ Mackerel เป็นต้น

เราใช้ Line Notify เพื่อแจ้งสถานะการออนไลน์ไปอีกระบบปลายทางได้ จึงทำให้เราสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนจากบริการต่าง ๆ หรืออุปกรณ์ใด ๆ ก็ตาม ที่สามารถเชื่อมต่อกับ Internet และสามารถเชื่อมด้วย Http Post มายัง Account ของเราได้ ซึ่งการใช้งานโดยรวมของ Line Notify จะมีรูปแบบดังนี้ คือ เริ่มแรกเลย เราต้องไปสร้าง Token ของ Account ในระบบของ Line เสียก่อน จากนั้นเก็บ Token นี้เอาไว้ แล้วเมื่อเราต้องการที่จะส่งข้อความแจ้งเตือนต่าง ๆ เราจะใช้ Token นี้เพื่อส่งข้อความแจ้งเตือน ผ่านทาง Http Post

## 2.8 ทบทวนวรรณกรรม

Khan et al. (2022) นำเสนอวิจัยเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติในบ้านที่ใช้แอนดรอยด์เป็นแพลตฟอร์มและใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ผลของการวิจัยเป็นการพัฒนาระบบควบคุมและการควบคุมอุปกรณ์ในบ้านอัจฉริยะผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือและการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต ระบบนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ต่างๆ ในบ้านได้อย่างสะดวก บอกถึงแนวโน้มในอนาคตที่มนุษย์ต้องการความสะดวกมากขึ้น

Shah, Tariq and Lee (2018) นำเสนอการวิจัยในการวิเคราะห์ความเสี่ยงในระบบ (IoT) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการควบคุมบ้านอัจฉริยะ ผลการวิจัย เป็นการประเมินและวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อตรวจสอบสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในบ้าน รวมถึงการพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถตรวจจับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในบ้านได้ด้วยความแม่นยำสูง ซึ่งเป็นหนึ่งในการรักษาความปลอดภัย

He et al. (2004) นำเสนอถึงการวิจัยในระบบการตรวจจับแบบประหยัคพลังงานโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ผลการวิจัยระบุถึงการพัฒนาการตรวจจับโดยใช้เซ็นเซอร์ไร้สายที่มี

ความสามารถในการประหยัดพลังงาน โดยมุ่งเน้นในการตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อการตรวจสอบ และการควบคุมการรักษาความปลอดภัย

Gupta, Khera and Turk (2021) นำเสนอถึงการวิจัยในการใช้โปรโตคอล MQTT ในระบบความปลอดภัยในบ้านที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ร่วมกับการเข้ารหัส ABE (Attribute-Based Encryption) ผลการวิจัยระบุถึงการพัฒนาความปลอดภัยที่ใช้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และการเข้ารหัสที่อยู่บนพื้นฐานของแอตทริบิวต์ ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมและรักษาความปลอดภัยของบ้านอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Netinant, Amatyakul and Rukhiran (2022) นำเสนอถึงการวิจัยในระบบการตรวจจับผู้บุกรุกผ่านการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยเซ็นเซอร์ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ผลการวิจัยระบุถึงการพัฒนาการตรวจจับผู้บุกรุกที่ใช้เซ็นเซอร์ผ่านการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยรังสีอินฟราเรดแบบไม่ใช้พลังงาน ซึ่งสามารถแจ้งเตือนเจ้าของบ้านผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้

Patil, Srinivas, Yelubench, Vinay and Pratiba (2017) นำเสนอการวิจัยระบบตรวจจับวิดีโอด้วยระบบกล้องวงจรปิดที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่าน Raspberry Pi พัฒนาระบบตรวจจับวิดีโออัตโนมัติที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถใช้งานระบบการตรวจจับวิดีโอได้อย่างสะดวกและอัตโนมัติ

Viswanatha, Chandana and Ramachandra (2022) นำเสนอถึงการวิจัยกรอบการทำงานของกระจกสมาร์ตที่ใช้ Raspberry Pi 4 และอัลกอริทึม YOLO พัฒนาระบบการทำงานของกระจกสมาร์ตที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ทำให้สามารถแสดงผลแบบแอนิเมชันและปรับปรุงประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Wahab et al. (2022) นำเสนอถึงการวิจัยระบบตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ที่ใช้เทคนิค Single-shot Detector และ OpenCV ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ที่มีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค Single-shot Detector และ OpenCV

Demir, Sinem Gür and Levi (2022) นำเสนอถึงการวิจัยเกตเวย์ IoT ที่มีความปลอดภัยและการรักษาความเป็นส่วนตัวสำหรับระบบอัตโนมัติในบ้าน

Rukhiran and Netinant (2020) นำเสนอการวิจัยผลกระทบของเงื่อนไขสภาพแวดล้อมต่ออัตราการตรวจจับใบหน้าที่ใช้เทคโนโลยี IoT และการวิจัยการให้บริการเซพบอทเกี่ยวกับข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในโรงเรียนอัจฉริยะ

Welbourne, Claridge, Paull and Lambert (2016) นำเสนอถึงการวิจัยการทำงานของกล้องติดตามด้วยระบบสัมผัสแสงอินฟราเรด แนวคิดและความเข้าใจที่ผิดพลาดเกี่ยวกับการทำงานของกล้องติดตามด้วยระบบสัมผัสแสงอินฟราเรด และความสำคัญของเรื่องนี้ในการใช้งานกล้องติดตามที่ใช้งานผ่านระยะไกล

Li, Xiezhong, Yang, Deng and Yi (2021) นำเสนอถึงการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเฟรมเวิร์กสำหรับการตรวจจับและส่งถ่ายวิดีโอในระบบกล้องวงจรปิดในเมืองอัจฉริยะ ผลลัพธ์ของการวิจัยเน้นไปที่ความปลอดภัยของระบบและการให้บริการที่มีความเชื่อถือได้สูงในสภาพแวดล้อมเมืองอัจฉริยะ

Dierbach (2014) นำเสนอเกี่ยวกับการใช้ภาษาโปรแกรม Python ผลลัพธ์ของการวิจัยคือความเหมาะสมและความเข้าใจง่ายของ Python เพื่อการเรียนรู้และเริ่มต้นการเขียนโปรแกรม

Pulli, Baksheev, Korniyakov and Eruhimov (2012) นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์โดยใช้ไลบรารี OpenCV ผลลัพธ์ของการวิจัยคือการพัฒนาเทคนิคและเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถทำความเข้าใจและประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์ได้ในระบบอัตโนมัติ

Mita, Kaneko and Hori (2005) นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับใบหน้าโดยใช้ตัวจับ Haar-like ผลลัพธ์ของการวิจัยเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ในการตรวจจับใบหน้าและการประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพสูงในเวลาเรียลไทม์

Lienhart and Maydt (2002) นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุโดยใช้ชุดคุณสมบัติ Haar-like ที่ถูกขยายขึ้น เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุได้โดยรวดเร็ว ผลลัพธ์ของการวิจัยเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ

Shetty, Deeksha, Rebeiro and Shree (2021) นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ Haar cascade และตัวจับ LBP ในการจดจำใบหน้า ผลลัพธ์ของการวิจัยเน้นไปที่ความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบการจดจำใบหน้า

Javed Mehedi Shamrat et al. (2022) นำเสนอการวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำใบหน้าของมนุษย์โดยใช้ Haar cascade ผลลัพธ์ของการวิจัยเน้นไปที่ความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบการรู้จำใบหน้า

ไวทยพงษ์ ศุภบวรเสถียร วิชาวัลย์ นาคทรัพย์ และ ฐปนันท สุกุล (2555) ได้ทำการศึกษา ระบบรักษาความปลอดภัยในบ้านแจ้งผ่านมือถือควบคุมด้วยเครื่องบันทึกภาพ ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะออกแบบและทดสอบระบบนี้ เพื่อเพิ่มระบบการแจ้งเตือนไปยังเจ้าของบ้านได้ทันเวลา ยับยั้งการก่อเหตุ ที่อาจเกิดขึ้นและใช้ ในการชี้ตัวผู้ก่อเหตุหรือบุกรุกได้โดยมีหลักการการทำงานของระบบ ประกอบด้วย ตัวตรวจจับประตู และอุปกรณ์ตรวจจับควัน โดยใช้สเปกตรัมทดสอบตัวตรวจจับควัน และ เครื่องบันทึกภาพจะรอรับคำสั่งจากตัวตรวจจับ เมื่อมีสัญญาณแจ้งเตือนเครื่องบันทึกภาพจะส่งข้อมูล ไปยังมือถือผ่านระบบอีเมลล์ ซึ่งโทรศัพท์มือถือที่นั่นทางงานประสานเข้ากับอีเมลล์อยู่ตลอดเวลา แต่จาก การทดสอบพบว่าสัญญาณอินเทอร์เน็ตของเครือข่ายมีความสำคัญมาก ในการแจ้งเตือน หากอยู่ในที่ที่ไม่มีสัญญาณ หรือสัญญาณไม่แรงพอ การแจ้งเตือนหรือการเข้าดูภาพเหตุการณ์อาจมีปัญหา ในเรื่องของความล่าช้า

กันตภณ พลั่วไธสง (2550) ได้ทำการศึกษา ระบบป้องกันการบุกรุกภายในอาคาร พร้อมแสดง สถานการณ์ทำงานแต่ละจุด ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยมีจุดประสงค์ เพื่อเสนอทางเลือก ใหม่ให้กับผู้อาศัยในอาคารหรือสถานที่ต่างๆ เกิดความปลอดภัยแก่ตนเอง และทรัพย์สินให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และ นำอุปกรณ์เซ็นเซอร์หลายตัว มาตรวจจับ รวมถึงการใช้ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหว (Passive Infrared Motion Sensor: PIR) มา ใช้ในการทดลองระบบการป้องกันการบุกรุกภายในอาคาร

พร้อมแสดงสถานะการทำงานแต่ละจุดนี้ และสำรวจความพึงพอใจของผู้ทดลองใช้งานจากกลุ่มประชากรตัวอย่าง ซึ่งผลการวิจัยที่ได้พบว่าอยู่ในระดับที่ดีมาก

ชนิษฐา ลิทธิเทียมจันทร์ และชวรัตน์ ตระกูลคาวิไล (2550) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการ ออกแบบระบบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายสำหรับเฝ้าระวัง ในโรงเรียน ผู้วิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลวิจัยที่ได้ไปบูรณาการกับการเรียนการสอนเรื่อง ความปลอดภัยในระบบและเครือข่ายโดยประยุกต์ใช้งานเครือข่ายตรวจรู้ไร้สายร่วมกับตัวรับรู้ PIR ด้วยอุปกรณ์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์หลักสำคัญในการบรรจุเข้าไว้ในตัวเดียวกัน ทางผู้วิจัยใช้ Arduino UNO R3 เป็นบอร์ดแบบ Open-source ผู้วิจัยที่ทำสมมุติฐานของการวิจัย ได้ทำการทดสอบระบบ จำนวน 5 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้คือผลของการทำงานได้อย่างแม่นยำ จึงสามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไป ใช้งานได้จริง จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นที่ผ่านมาพบว่า อุปกรณ์ ที่นำมาใช้ในการวิจัยเพื่อทำการทดสอบ ระบบนั้นมีวิธีการ และอุปกรณ์ของตัวตรวจจับเพื่อการรับรู้ (Motion Sensor) มีรูปแบบที่หลากหลาย สำหรับเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวที่นิยมนำมา ทดลองเพื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวของคนนั้นคือ PIR Sensor พร้อมกับ สร้างระบบที่ ทำการแจ้งเตือนให้รับรู้เหตุการณ์ด้วยวิธีการต่างๆ มายังโทรศัพท์มือถือ โดยผ่านแอปพลิเคชันพลิเคชัน หรือ แม้แต่ส่งแจ้งเตือนเข้าทางอีเมลล์ นิยมใช้เทคโนโลยีหรือใช้ บริการฟรีเพื่อลดค่าใช้จ่าย มากกว่าการ รับ -ส่ง SMS แทน สำหรับฮาร์ดแวร์ที่เป็นตัวสำคัญในการ ควบคุมประมวลผลกลางที่ นำมาใช้ ในการทดลอง ได้แก่ Raspberry Pi, Arduino UNO R3 และ ZigBee นอกเหนืองานวิจัยที่ยกตัวอย่าง ข้างต้น มีผลลัพธ์ของการประเมินความพึงพอใจของการ ทดสอบจากการใช้งานระบบค่อนข้างอยู่ใน ระดับที่มีความพึงพอใจถึงระดับดีเป็นส่วนใหญ่

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีการวิจัย

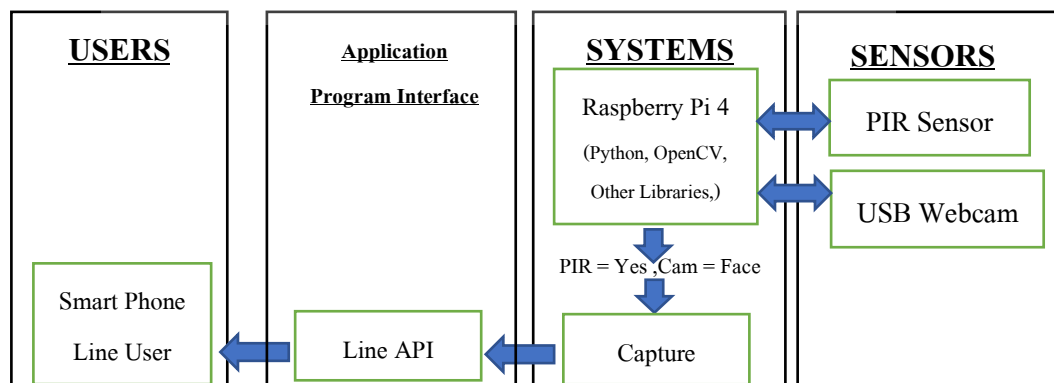
เนื้อหาในบทนี้ผู้วิจัยนำเสนอและบรรยาย กรอบงานที่นำเสนอ (Proposed Framework) การออกแบบและพัฒนาระบบ และระเบียบวิธีวิจัย ศึกษารายละเอียดเครื่องมือที่ใช้และสร้างเครื่องมือในการศึกษา การวิเคราะห์ออกแบบระบบ การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.1 กรอบงานที่นำเสนอ (Proposed Framework)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการทำงานของ Sensor การตรวจจับความเคลื่อนไหวและการตรวจหาภาพใบหน้าของคนผ่านกล้อง Webcam การส่งแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือ โดยใช้กระบวนการวิจัยเชิงพัฒนา และเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีภาพรวมของระบบ ดังรูปที่ 3.1 ผู้วิจัยมีการใช้เครื่องมือดังนี้

##### 3.1.1 ด้านฮาร์ดแวร์

- (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ Raspberry Pi 4
- (2) SD Card สำหรับการติดตั้งระบบปฏิบัติการ
- (3) อุปกรณ์เซ็นเซอร์จับความเคลื่อนไหว (PIR Motion Sensor)
- (4) อุปกรณ์กล้อง USB Webcam
- (5) อุปกรณ์ในการรับการแจ้งเตือนได้แก่โทรศัพท์มือถือ Smart Phone



รูปที่ 3.1 ภาพรวมกรอบงานที่นำเสนอ

ที่มา: ผู้วิจัย

### 3.1.2 ด้านซอฟต์แวร์

- (1) ระบบปฏิบัติการ Raspbian
- (2) ระบบปฏิบัติการ Android
- (3) Application Line
- (4) โปรแกรม Thony Python IDE สำหรับเขียนโปรแกรม

### 3.1.3 การดำเนินการภาพรวม

สำหรับขั้นตอนภาพรวมของการพัฒนาระบบแจ้งเตือนผู้บุกรุกผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวที่ควบคุมโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1.3.1 ดำเนินการศึกษาระบบฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ วิธีการแต่ละขั้นตอนการทำงาน และการใช้งานของโปรแกรม

3.1.3.2 ทำการวิเคราะห์ เพื่อออกแบบระบบและเสนออาจารย์ที่ปรึกษา

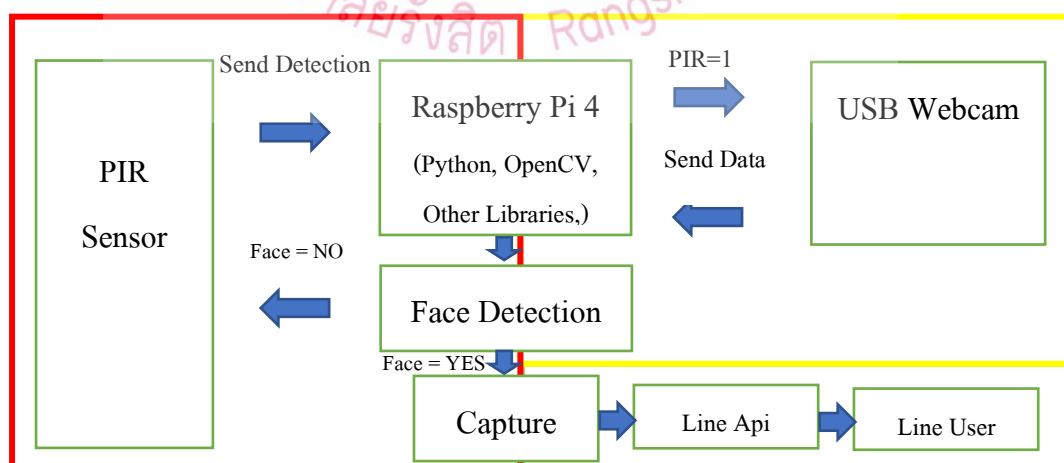
3.1.3.3 นำระบบที่สร้างขึ้น ออกแบบเป็นกรอบแนวความคิดเพื่อไปเสนอต่ออาจารย์

3.1.3.4 ดำเนินการพัฒนาระบบ และประยุกต์ใช้งานของแอปพลิเคชันพลิเคชันแจ้งเตือน โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว และ USB Webcam

3.1.3.5 ดำเนินการทดสอบระบบ และนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์

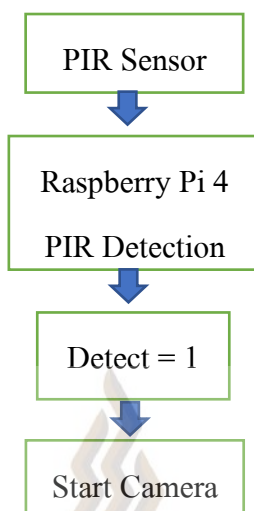
3.1.3.6 ทำการวิเคราะห์สรุปผล พร้อมทำการแก้ไข และปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยราสเบอร์รี่พาย สามารถแบ่งเป็น 3 เฟสดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เฟสของระบบตรวจจับผู้บุกรุก

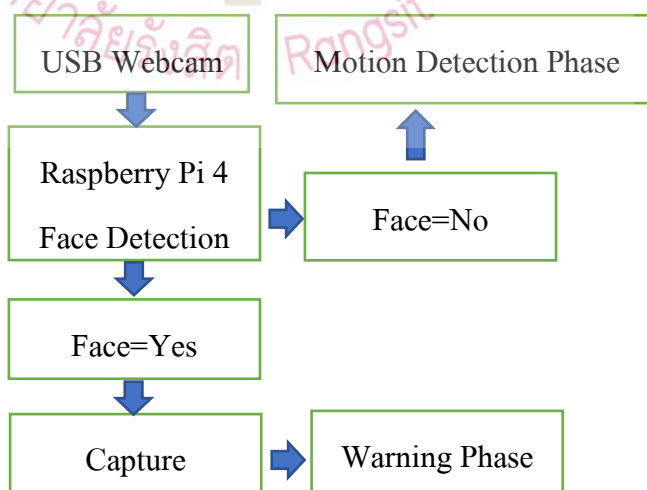
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 3.3 เฟสการตรวจจับความเคลื่อนไหว  
ที่มา: ผู้วิจัย

#### 1) เฟสการตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Detection Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการตรวจจับความเคลื่อนไหวโดยผ่าน PIR Motion Sensor ค่าที่ได้รับจะมี 2 ลักษณะดังนี้ หากตรวจจับความเคลื่อนไหวได้จะส่งค่าเป็น 1 และหากตรวจจับไม่ได้จะส่งค่าเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เมื่อค่าที่ได้เป็น 1 ระบบจะดำเนินการในเฟสต่อไปคือการตรวจจับใบหน้าบุคคล



รูปที่ 3.4 เฟสการตรวจจับใบหน้า  
ที่มา: ผู้วิจัย

## 2) เฟสการตรวจจับใบหน้า (Face Detection Phase)

ใช้เทคนิค Haar-cascade ในการตรวจหาภาพใบหน้าของคน เทคนิคนี้ใช้วิธีการฮิสโตแกรมเพื่อเปรียบเทียบหาความหนาแน่นของจุดบนภาพใบหน้า ตัวอย่างเช่น ใช้ในการเส้นขอบบนใบหน้า การหาส่วนของมุมบนใบหน้า หรือการหาส่วนที่แบนราบบนใบหน้า การตรวจหาภาพใบหน้าของคนจะให้ผลลัพธ์ได้ไม่ดัดนักหากภาพใบหน้าคนที่รับเข้ามานั้นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสว่างน้อย ดังนั้นภาพใบหน้าที่รับเข้ามานั้นมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคฮิสโตแกรมในการปรับความสว่างและความคมชัดของภาพใบหน้า ด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมนี้สามารถช่วยปรับปรุงการตรวจหาภาพใบหน้าของคนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและยังช่วยลดเวลาในการประมวลผลลงด้วย

การพัฒนาการวิจัยนี้มีการกำหนดค่าการทำงานของขั้นตอนวิธี Harr-cascade โดยใช้ไลบรารีของ Opencv โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าการทำงานดังนี้

```
cv2.CascadeClassifier.detectMultiScale(image[, scaleFactor[, minNeighbors[, flags[, minSize[, maxSize]]]])
```

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดค่าการทำงานมีดังนี้

1) image: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดเมตริกซ์ของภาพที่จะนำมาตรวจหาใบหน้าคนในภาพ มีชนิดของไฟล์เป็น CV\_8U

2) scaleFactor: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดอัตราการลดขนาดของภาพ ตัวอย่างเช่น scaleFactor มีค่าเท่ากับ 1.02 จะเป็นการลดขนาดของภาพลงร้อยละ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมากเพื่อเพิ่มโอกาสของโมเดลในการตรวจหาใบหน้าในภาพแต่ก็จะไม่ได้ลดเวลาในการประมวลผลมากนัก หากกำหนดค่า scaleFactor ไว้สูงเพื่อเป็นการลดขนาดของภาพมากจะส่งผลให้โอกาสของโมเดลในการตรวจหาใบหน้าในภาพลดลง แต่ก็ช่วยลดเวลาในการประมวลผลได้

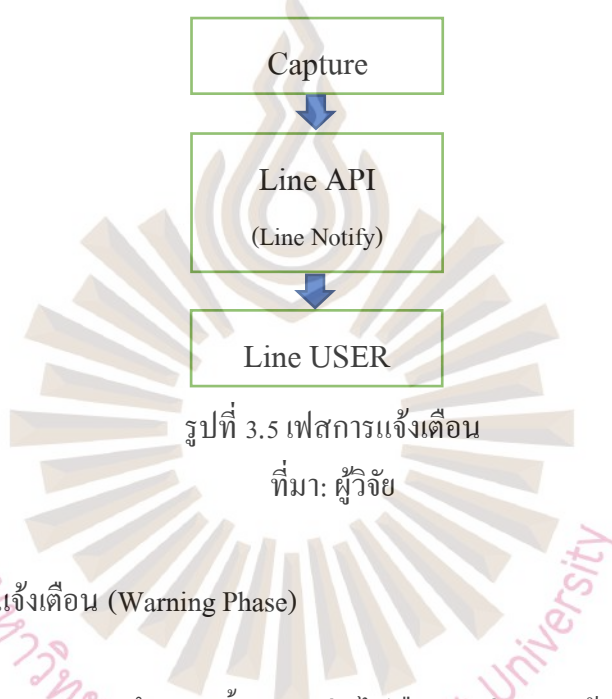
3) minNeighbors: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดจำนวนจุดภาพที่อยู่รอบ ๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับจุดภาพกึ่งกลาง พารามิเตอร์นี้มีผลต่อคุณภาพของใบหน้าที่ตรวจหา หากกำหนดค่าไว้สูงส่งผลให้โอกาสการตรวจหาใบหน้าจากภาพลดลง แต่จะได้คุณภาพของภาพใบหน้าที่สูงขึ้น

4) flags: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดเพื่อรองรับการทำ Cascade แบบเก่า แต่การ Cascade แบบใหม่ได้ใช้พารามิเตอร์นี้

5) minSize: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดขนาดขั้นต่ำของวัตถุที่ตรวจหา วัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าที่กำหนดจะถูกละเว้น

6) maxSize: เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดขนาดขั้นสูงสุดของวัตถุที่ตรวจหา วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดจะถูกละเว้น

เมื่อค่าความเคลื่อนไหวเป็น 1 และตรวจพบใบหน้าบุคคลแล้วจะดำเนินขั้นตอนต่อไปคือการบันทึกภาพและส่งแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งาน



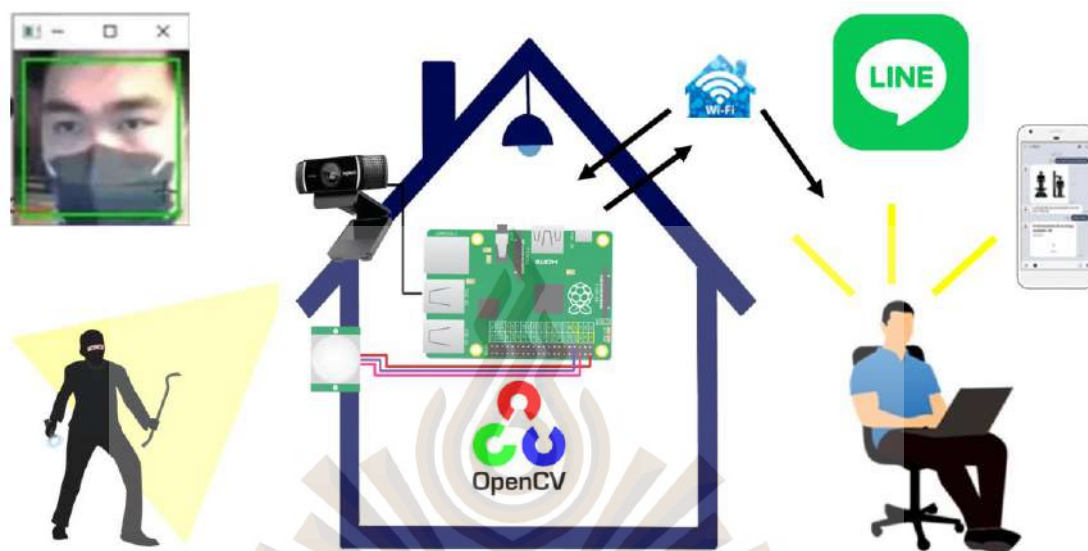
## 2) เฟสการแจ้งเตือน (Warning Phase)

เมื่อระบบทำการบันทึกภาพขั้นตอนต่อไปคือการส่งการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify เป็นบริการของ LINE ที่ให้สามารถส่งข้อความการแจ้งเตือนต่างๆ ไปยังบัญชีของผู้ใช้งานหรือกลุ่มต่างๆ ผ่านทาง API ที่ LINE ได้เตรียมไว้โดยการใช้รหัส TOKEN LINE ของบัญชีนั้นๆ เป็นตัวเชื่อม

## 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

งานวิจัยนี้มีการออกแบบระบบ ดังรูปที่ 3.6 เป็นการพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกโดยการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและกล้อง Webcam เมื่อมีผู้บุกรุกเข้ามาในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบระบบจะทำการตรวจจับความเคลื่อนไหว เมื่อตรวจพบว่าการเคลื่อนไหว จะทำการเปิดกล้องและตรวจสอบว่าเป็นบุคคลหรือไม่โดยใช้เทคนิค Haar-cascade ในการตรวจหาภาพใบหน้าของคน

หากตรวจสอบแล้วพบว่าการเคลื่อนไหวและเป็นใบหน้าบุคคลก็จะทำการบันทึกภาพและส่งแจ้งเตือนไปยัง Application Line ของผู้ใช้งานผ่าน Line Notify



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของระบบ

ที่มา: ผู้วิจัย

### 3.3 การทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยจะดำเนินการทดสอบระบบในรูปแบบการทดลองในพื้นที่ที่กำหนด โดยดำเนินการทดสอบ ดังนี้

- 1) การทำงานของระบบ สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ครบทุกขั้นตอน
- 2) ความแม่นยำในการตรวจจับการเคลื่อนไหวและการตรวจจับใบหน้า รวมถึงขนาดของกรอบใบหน้าที่ได้ในแต่ละระยะ ใช้การทดสอบระยะ 1-5 เมตร
- 3) การใช้พลังงานของระบบทั้งแบบเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและกล้องทำงานพร้อมกัน และแบบเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวตรวจพบก่อนจึงสั่งกล้องทำงานและตรวจจับใบหน้า โดยนำผลการเก็บรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

ผู้วิจัยประเมินผลระเบียบวิธีที่นำเสนอด้วยการใช้ข้อมูลเก็บรวบรวมไว้ในตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix) โดยใช้สถิติพรรณนาซึ่งเป็นสถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และการ

บรรยายถึงลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา เช่น การแจกแจงข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การหาค่ากลาง การวัดการกระจาย เป็นต้น ค่าของข้อมูลตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ประกอบด้วย ค่าคะแนนความถูกต้อง คะแนนความแม่นยำ คะแนนรีคอล หรือค่าเอฟวัน ใช้เพื่อวิเคราะห์ประเมินผลความถูกต้อง ความแม่นยำ และความคลาดเคลื่อนของผลการทำนายจากโมเดลของเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่ถูกใช้ในขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าของระบบ ตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ประกอบด้วยจำนวนครั้งของผลการทำนายทั้งที่ระบบทำนายถูกและทำนายไม่ถูก รวมทั้งจำนวนครั้งของค่าความจริงของการเป็นสมาชิกหรือไม่เป็นสมาชิกของข้อมูลผู้ให้นำมาทดสอบ ตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์นี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ซึ่งเป็นสถิติที่สามารถใช้เพื่อสกัดข้อมูลจากข้อมูลและคาดการณ์แนวโน้มและรูปแบบของพฤติกรรม การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ประกอบด้วยขั้นตอนวิธีของการเรียนรู้เชิงลึก การสร้างแบบจำลองข้อมูล และการทำเหมืองข้อมูล การวิจัยนี้มีการประเมินผลด้านต่าง ๆ ดังนี้ (Tharwat, 2018; Chicco & Jurman, 2020; Pirayonesi & ElDiraby, 2020; Chicco, 2021).

1) คะแนนความถูกต้อง (Accuracy Score) เป็นการวัดทางสถิติที่คำนวณจากอัตราส่วนของผลการพยากรณ์ว่าถูกต้องเทียบกับจำนวนครั้งของการทดสอบทั้งหมด สมการที่ (3-1) ใช้ในการคำนวณหาคะแนนความถูกต้อง

$$\text{Accuracy} = \frac{\sum (\text{True}_{\text{positive}}) + \sum (\text{True}_{\text{negative}})}{\sum (\text{Total}_{\text{population}})} \quad (3-1)$$

2) คะแนนความแม่นยำ (Precision) คะแนนความแม่นยำนี้สามารถแสดงได้ 2 มิติคือ ด้านที่เป็นบวก (Positive) และด้านที่เป็นลบ (Negative) คะแนนความแม่นยำด้านบวกแสดงถึงการพยากรณ์ที่ถูกต้องโดยนับจำนวนใบหน้าที่ถูกตรวจจับและความจริงเป็นใบหน้าที่กับจำนวนภาพทั้งหมดของการพยากรณ์ถูกต้องและไม่ถูกต้อง ส่วนคะแนนความแม่นยำด้านลบแสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าและถูกตรวจจับถูกต้องว่าไม่ใช่ใบหน้าที่กับจำนวนภาพทั้งหมดของการพยากรณ์ถูกต้องและไม่ถูกต้อง สมการที่ (3-2) ใช้ในการคำนวณคะแนนความแม่นยำด้านบวก (Precision\_Positive) สมการที่ (3-3) ใช้ในการคำนวณคะแนนความแม่นยำด้านลบ (Precision\_Negative)

$$\text{Precision\_Positive} = \frac{(\text{True}_{\text{positive}})}{(\text{True}_{\text{positive}} + \text{False}_{\text{positive}})} \quad (3-2)$$

$$\text{Precision\_Negative} = \frac{(\text{True}_{\text{negative}})}{(\text{True}_{\text{negative}} + \text{False}_{\text{negative}})} \quad (3-3)$$

3) คะแนนรีคอลด้านบวก (Recall\_Positive) แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนครั้งที่ระบบพยากรณ์โดยนับจำนวนใบหน้าที่ถูกตรวจจับและความจริงเป็นใบหน้าที่เทียบกับจำนวนครั้งของการพยากรณ์ถูกต้องและความจริงคือภาพใบหน้าที่จริงรวมกับจำนวนครั้งของการพยากรณ์ไม่ถูกต้องและความจริงคือไม่เป็นใบหน้าที่ สมการที่ (3-4) ใช้ในการคำนวณคะแนนความแม่นยำด้านบวก (Precision\_Positive) คะแนนรีคอลด้านลบ (Recall\_Negative) แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนภาพที่ระบบพยากรณ์ว่าภาพไม่ใช่ใบหน้าที่ของบุคคลและความจริงคือไม่ใช่ใบหน้าที่ของบุคคลเทียบกับจำนวนครั้งของการพยากรณ์ถูกต้องและความจริงคือไม่ใช่ใบหน้าที่บุคคลจริงรวมกับจำนวนครั้งของการพยากรณ์ไม่ถูกต้องและความจริงคือภาพของใบหน้าที่บุคคล สมการที่ (3-5) ใช้ในการคำนวณคะแนนความแม่นยำด้านลบ (Precision\_Negative)

$$\text{Recall\_Positive} = \frac{(\text{True}_{\text{positive}})}{(\text{True}_{\text{positive}} + \text{False}_{\text{negative}})} \quad (3-4)$$

$$\text{Recall\_Negative} = \frac{(\text{True}_{\text{negative}})}{(\text{True}_{\text{negative}} + \text{False}_{\text{positive}})} \quad (3-5)$$

4. คะแนนเอฟวัน (F1 Score) หรือเรียกว่าค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก เป็นค่าที่แสดงถึงสมรรถนะการทำงานของระบบโดยเป็นการคำนวณการหาค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนความแม่นยำ (Precision) และค่าคะแนนรีคอล (Recall) สมการที่ (3-6) ใช้ในการคำนวณคะแนนเอฟวัน

$$\text{F1 Score} = \frac{2PR}{(P + R)} \quad (3-6)$$

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยี IoT ด้วย Raspberry Pi, กล้อง, และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวให้สามารถทำงานร่วมกันได้และมีขนาดเล็ก, ประสิทธิภาพการใช้งานระบบ สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนผู้ใช้งานระบบได้ทันทีเมื่อตรวจพบการบุกรุกจากผู้ไม่พึงประสงค์, ประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้าของผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยีตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ รวมถึงระบบมีการใช้พลังงานในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยมีผลของการทดสอบ ดังนี้

#### 4.1 ผลการพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยรหัสเบอรี่พายประสบผลสำเร็จเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการตรวจจับความเคลื่อนไหว รวมถึงการตรวจจับใบหน้าผู้บุกรุกด้วยกล้องได้อย่างดีโดยมีความแม่นยำต่างกันตามระยะทาง ระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานทาง Line Notify เมื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวและระบุใบหน้าของบุคคลได้ นอกจากนี้ระบบยังมีการใช้พลังงานในระดับที่ต่ำ ทำให้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับผู้บุกรุกภายในบ้าน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มระดับความปลอดภัยได้ โดยดำเนินการทดสอบ ดังนี้

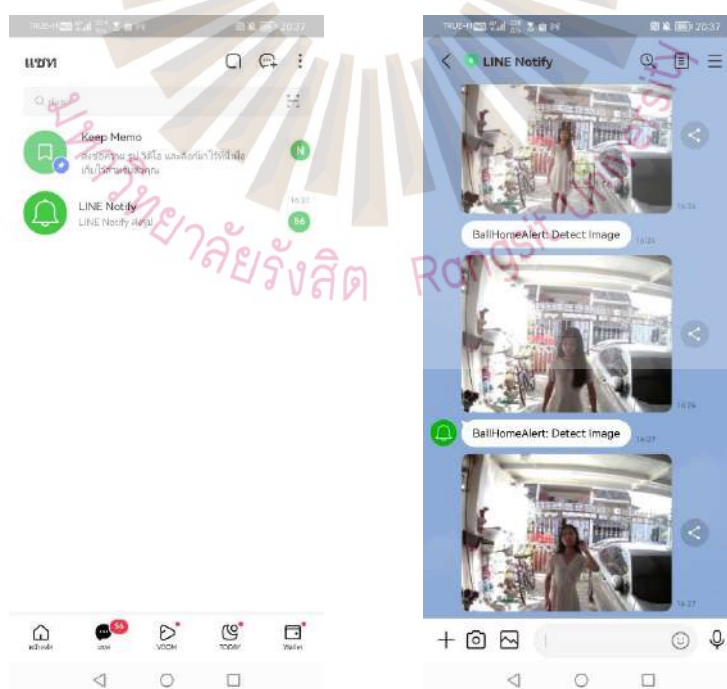
- 1) การทำงานของระบบ สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ครบทุกขั้นตอน
- 2) ความแม่นยำในการตรวจจับความเคลื่อนไหวและการตรวจจับใบหน้า รวมถึงขนาดของกรอบใบหน้าที่ได้ในแต่ละระยะ ใช้การทดสอบระยะ 1-5 เมตร
- 3) การใช้พลังงานของระบบทั้งแบบเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวและกล้องทำงานพร้อมกัน และแบบเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวตรวจพบก่อนจึงสั่งกล้องทำงานและตรวจจับใบหน้า

ทำการทดสอบโดยนำไปติดตั้งที่บริเวณหน้าบ้านที่อยู่อาศัยและทำการบันทึกผลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการทดสอบแยกแต่ละระบบ โดยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.1 ภาพการติดตั้งและการทำงานของระบบ  
ที่มา: ผู้วิจัย

ติดตั้งกล้องไว้ในจุดที่เป็นทางเข้าออกของที่อยู่อาศัยเพื่อทำการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว ใบหน้าบุคคลและส่งการแจ้งเตือนไปยัง Line ว่าทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.2 ภาพการรายงานใน Application Line  
ที่มา: ผู้วิจัย



รูปที่ 4.3 ภาพที่ระบบตรวจจับได้  
ที่มา: ผู้วิจัย

## 4.2 ผลการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว

ผลการพัฒนาในขั้นตอนตรวจจับความเคลื่อนไหว PIR Sensor ปรับค่า Distance Adjust มากที่สุด และปรับ Delay Time Adjust ต่ำที่สุด ทำการทดสอบระยะทาง 1 - 5 เมตร โดยในการทดสอบในแต่ละระยะทางทำการทดสอบเป็นจำนวน 20 ครั้ง ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหว

| ระยะทาง<br>(เมตร) | PIR Sensor              |                  | ความแม่นยำ |
|-------------------|-------------------------|------------------|------------|
|                   | จำนวนครั้งที่ตรวจจับได้ | สามารถตรวจจับได้ |            |
| 1                 | 25                      | ✓                | 100%       |
| 1.5               | 25                      | ✓                | 100%       |
| 2                 | 25                      | ✓                | 100%       |
| 2.5               | 25                      | ✓                | 100%       |
| 3                 | 25                      | ✓                | 100%       |
| 3.5               | 25                      | ✓                | 100%       |
| 4                 | 25                      | ✓                | 100%       |
| 4.5               | 25                      | ✓                | 100%       |
| 5                 | 25                      | ✓                | 100%       |

### 4.3 ผลการทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า

#### 4.3.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของโมเดลตรวจจับใบหน้า

การทดสอบนี้ใช้โมเดล Haarcascade\_frontalface\_default ซึ่งเป็นโมเดลที่ผ่านการเทรนด้วยวิธีการของ Haar Cascade ด้วยภาพใบหน้าคนจำนวน 13,233 ภาพ และภาพสัตว์จำนวน 10,000 ภาพ ประเมินผลโดยนับจำนวนใบหน้าที่ถูกตรวจจับและตรงกับที่มีจริง (True Positive, TP) ,จำนวนรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าแต่ถูกตรวจจับผิดว่าเป็นใบหน้า (False Positive, FP) ,จำนวนใบหน้าที่ไม่ถูกตรวจจับ(False Negative, FN) และจำนวนรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าและถูกตรวจจับถูกต้องว่าไม่ใช่ใบหน้า(True Negative, TN) โดยวิเคราะห์จากค่า Recall หรือ Sensitivity หรือ True Positive Rate ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโมเดล แสดงดังตารางตาราง 4.2

- 1) True Positive ใบหน้าที่ถูกตรวจจับและตรงกับที่มีจริง มีค่าเท่ากับ 13,201 ภาพ
- 2) True Negative หมายถึงผลการพยากรณ์ถูกต้องว่าไม่เป็นใบหน้าบุคคลและความจริงคือไม่เป็นใบหน้าบุคคล มีค่าเท่ากับ 10,000 ภาพ
- 3) False Positive หมายถึงจำนวนรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าและถูกตรวจจับถูกต้องว่าไม่ใช่ใบหน้า มีค่าเท่ากับ 0 ภาพ
- 4) False Negative หมายถึงจำนวนใบหน้าที่ไม่ถูกตรวจจับ มีค่าเท่ากับ 32 ครั้ง

ตารางที่ 4.2 ตารางคอนฟิวชันเมทริกซ์ (Confusion Matrix)

|        | N=23,233                  | Nonhuman /Negative (0) | Human /Positive (1) | Support |
|--------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------|
| Actual | Nonhuman<br>/Negative (0) | 10,000                 | 32                  | 10,032  |
|        | Human<br>/Positive (1)    | 0                      | 13,201              | 13,201  |

คำนวณค่า TPR และ FPR ตามสูตร  $TPR = TP / (TP + FN)$  และ  $FPR = FP / (FP + TN)$  จะได้  $TPR = 0.9976$  และ  $FPR = 0$  ประเมินประสิทธิภาพของโมเดล คือ TPR สูงและ FPR ต่ำ แสดงถึงว่าโมเดลนี้มีความแม่นยำสูง

#### 4.3.1 ผลการทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า

ผลของการพัฒนาในขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องด้วยโมเดลข้างต้น ทำการทดสอบระยะทาง 1 - 5 เมตร โดยในการทดสอบในแต่ละระยะทางทำการทดสอบเป็นจำนวน 20 ครั้ง ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า

| ระยะทาง<br>(เมตร) | Camera and OpenCV           |                       |                      | ความแม่นยำ |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|------------|
|                   | จำนวนครั้งที่<br>ตรวจจับได้ | ขนาด Frame<br>(Pixel) | สามารถ<br>ตรวจจับได้ |            |
| 1                 | 20                          | 110                   | ✓                    | 100%       |
| 1.5               | 19                          | 85                    | ✓                    | 95%        |
| 2                 | 19                          | 66                    | ✓                    | 95%        |
| 2.5               | 17                          | 51                    | ✓                    | 85%        |
| 3                 | 16                          | 49                    | ✓                    | 80%        |
| 3.5               | 10                          | 45                    | ✓                    | 50%        |
| 4                 | 4                           | 40                    | ✓                    | 20%        |
| 4.5               | 2                           | 35                    | ✓                    | 10%        |
| 5                 | 1                           | 30                    | ✓                    | 5%         |

#### 4.4 ผลการทดสอบระบบส่งแจ้งเตือน

ผลการพัฒนาในขั้นตอนส่งแจ้งเตือนเมื่อเข้าเงื่อนไขผ่าน Line Notify ที่ระยะทาง 1 - 5 เมตร โดยการทดสอบในแต่ละระยะทำการทดสอบเป็นจำนวน 20 ครั้ง ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการส่งแจ้งเตือน

| ระยะทาง<br>(เมตร) | ประเภท                    |                   |              | ผลการทดสอบ<br>การส่งแจ้งเตือน<br>ตามเงื่อนไข |
|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------|----------------------------------------------|
|                   | ตรวจจับความ<br>เคลื่อนไหว | ตรวจจับ<br>ใบหน้า | ส่งแจ้งเตือน |                                              |
| 1                 | 20                        | 20                | 20           | ✓                                            |
| 1.5               | 20                        | 19                | 19           | ✓                                            |
| 2                 | 20                        | 19                | 19           | ✓                                            |
| 2.5               | 20                        | 17                | 17           | ✓                                            |
| 3                 | 20                        | 16                | 16           | ✓                                            |
| 3.5               | 20                        | 10                | 10           | ✓                                            |
| 4                 | 20                        | 4                 | 4            | ✓                                            |
| 4.5               | 20                        | 2                 | 2            | ✓                                            |
| 5                 | 20                        | 1                 | 1            | ✓                                            |

#### 4.5 ผลการทดสอบระบบ

ผลของการพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกด้วยเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยราสเบอรี่พาย ทำการทดสอบระยะทาง 1 - 5 เมตร ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบ

| Distance<br>(Meter) | PIR Sensor |          | Camera and OpenCV     |           |          | Send<br>Alert |
|---------------------|------------|----------|-----------------------|-----------|----------|---------------|
|                     | Detection  | Accuracy | Frame size<br>(Pixel) | Detection | Accuracy |               |
| 1                   | ✓          | 100 %    | 110                   | ✓         | 100 %    | ✓             |
| 1.5                 | ✓          | 100 %    | 85                    | ✓         | 95 %     | ✓             |
| 2                   | ✓          | 100 %    | 66                    | ✓         | 95 %     | ✓             |
| 2.5                 | ✓          | 100 %    | 51                    | ✓         | 85 %     | ✓             |
| 3                   | ✓          | 100 %    | 49                    | ✓         | 80 %     | ✓             |
| 3.5                 | ✓          | 100 %    | 45                    | ✓         | 50%      | ✓             |

| Distance | PIR Sensor |       | Camera and OpenCV |   |     | Send |
|----------|------------|-------|-------------------|---|-----|------|
| 4        | ✓          | 100 % | 40                | ✓ | 20% | ✓    |
| 4.5      | ✓          | 100 % | 35                | ✓ | 10% | ✓    |
| 5        | ✓          | 100 % | 30                | ✓ | 5 % | ✓    |

#### 4.6 ผลการทดสอบการใช้พลังงานระบบ

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างระบบที่มี PIR และไม่มี PIR ระบบที่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 6.5 วัตต์ หรือ 0.15 กิโลวัตต์ต่อวัน ในขณะที่ระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 10 วัตต์ หรือ 0.25 กิโลวัตต์ต่อวัน การศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีเซ็นเซอร์ PIR มีการใช้พลังงานต่ำกว่า 4.5 วัตต์ หรือ 0.1 กิโลวัตต์ต่อวัน ซึ่งน้อยกว่าระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการใช้พลังงานระบบ

| Surveillance System  | Energy Consumption<br>(Watts) | Energy Consumption<br>(kW per day) |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| With PIR sensor      | 6.5                           | 0.15                               |
| Without PIR sensor   | 10                            | 0.25                               |
| Saving energy (watt) | 4.5                           | 0.1                                |

การทดสอบระบบได้ผลลัพธ์ว่าการใช้เซ็นเซอร์ PIR ช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบได้อย่างมาก เมื่อทดสอบระบบโดยไม่มีเซ็นเซอร์ PIR กล้องจะใช้เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวเพียงอย่างเดียวแต่ความแม่นยำในการตรวจจับต่ำกว่าเมื่อใช้เซ็นเซอร์ PIR อย่างมาก กล้องเพียงอย่างเดียวมีอัตราความแม่นยำในการตรวจจับการเคลื่อนไหวเพียง 50-60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เซ็นเซอร์ PIR มีอัตราความแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานมากกว่าและมีอัตราการใช้พลังงานที่สูงกว่า ระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานเฉลี่ย 10 วัตต์ต่อวัน ในขณะที่ระบบที่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานเฉลี่ย 6.5 วัตต์ต่อวัน การใช้เซ็นเซอร์ PIR ยังช่วยให้สามารถตรวจจับใบหน้าได้แม่นยำยิ่งขึ้นในภาพที่กล้องจับได้ เมื่อใช้เซ็นเซอร์ PIR โมดูลตรวจจับใบหน้ามีอัตราความแม่นยำ 80-100 เปอร์เซ็นต์ในการตรวจจับ

ใบหน้า ในขณะที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR อัตราความแม่นยำจะอยู่ที่ 50-60 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น โดยรวมแล้ว ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้เซ็นเซอร์ PIR ช่วยปรับปรุงความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบเฝ้าระวังได้อย่างมาก เป็นที่น่าสังเกตว่าในบางกรณี หากเซ็นเซอร์ PIR ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นสูง ฝุ่นละออง หรืออุณหภูมิที่แปรปรวน ระบบอาจทำงานไม่ถูกต้อง โดยสรุป ขอแนะนำให้ใช้เซ็นเซอร์ PIR ในระบบเฝ้าระวังเพื่อความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจจับการเคลื่อนไหวและใบหน้า ระบบสามารถปรับปรุงการทำงานในอนาคตได้โดยการรวมเซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น ไมโครโฟนหรือกล้องจับความร้อน เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความสามารถของระบบ



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามกรอบของกระบวนการวิจัยอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัย ดังนี้

- 1) มีการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยี IoT ด้วย Raspberry Pi, กล้อง, และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ให้สามารถทำงานร่วมกันได้และมีขนาดเล็ก
- 2) มีการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานระบบ สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนผู้ใช้งานระบบได้ทันทีเมื่อตรวจพบการบุกรุกจากผู้ไม่พึงประสงค์
- 3) มีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้าของผู้บุกรุกโดยใช้เทคโนโลยีตรวจจับใบหน้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ
- 4) ทดสอบการใช้พลังงานของระบบว่าระบบมีการใช้พลังงานในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

ผลจากการวิจัยครั้งนี้สามารถตอบคำถามการวิจัยที่ได้ตั้งไว้ดังนี้

คำถามข้อที่ 1 การตรวจจับความเคลื่อนไหวมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

คำตอบข้อที่ 1 มีความแม่นยำสูง สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ในทุกระยะที่ทำการทดสอบ

คำถามข้อที่ 2 ระบบการตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

คำตอบข้อที่ 2 สามารถตรวจจับได้ดีที่ระยะ 1-3 เมตร ความแม่นยำอยู่ที่ 100-80% ที่ระยะมากกว่า 3 เมตร ความแม่นยำน้อยกว่า 50% ซึ่งปัจจัยภายนอกแสง อุณหภูมิ และระยะทาง มีผลทำให้ความแม่นยำลดน้อยลง

คำถามข้อที่ 3 ระบบมีการทำงานที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ระยะเท่าไร

คำตอบข้อที่ 3 ระบบมีประสิทธิภาพมากกว่า 80% ที่ระยะ 1-3 เมตร สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้า ทำการส่งการแจ้งเตือนได้ทันที

คำถามข้อที่ 4 ระบบมีการใช้พลังงานอย่างไร

คำตอบข้อที่ 4 ระบบที่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 6.5 วัตต์ หรือ 0.15 กิโลวัตต์ต่อวัน ระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 10 วัตต์ หรือ 0.25 กิโลวัตต์ต่อวัน

การวิจัยนี้มีการตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

สมมติฐาน H0: เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวตรวจจับได้ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์

ผลการศึกษาการตรวจจับความเคลื่อนไหวของเซ็นเซอร์ PIR นั้น สามารถตรวจจับได้แม่นยำมีความแน่นอนในระยะที่ทดสอบซึ่งตามคุณสมบัติตรวจจับได้ถึง 7 เมตร

สมมติฐาน H1: โมเดลการตรวจจับใบหน้ามีความแม่นยำสูง

สมมติฐาน H2: การตรวจจับใบหน้าผ่านกล้องมีความแม่นยำสูง

ผลการศึกษาการตรวจจับใบหน้า โมเดลที่ใช้มีความแม่นยำสูงถึง 99.7% ซึ่งเป็นการทดสอบโดยใช้รูปภาพทั้งหมด 23,233 สามารถแยกภาพบุคคลได้จำนวน 13,201 ซึ่งความจริงมี 13,233 ภาพ ผิดไปเพียง 32 ภาพ จึงสรุปได้ว่าเป็นโมเดลที่เชื่อถือได้ ส่วนการทดสอบโดยใช้ภาพจากกล้องนั้นที่ระยะ 1-3 เมตร จะมีความแม่นยำสูงถึง 80-100% ซึ่งปัจจัยภายนอกก็มีผลต่อการตรวจจับ เช่น แสง อุณหภูมิ และระยะทาง

สมมติฐาน H3: ส่งแจ้งเตือนผ่าน Line โดยมีเงื่อนไขคือต้องตรวจจับความเคลื่อนไหวและตรวจจับใบหน้าบุคคลได้

ระบบสามารถตรวจสอบเงื่อนไข การตรวจจับความเคลื่อนไหวและการตรวจจับใบหน้า เมื่อสามารถตรวจจับได้ทั้ง 2 ชนิด จึงทำการส่งแจ้งเตือนไปยัง Line ได้ทันที

สมมติฐาน H4: ระบบใช้พลังงานต่ำในการทำงาน

ระบบที่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 6.5 วัตต์ หรือ 0.15 กิโลวัตต์ต่อวัน ระบบที่ไม่มีเซ็นเซอร์ PIR จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 10 วัตต์ หรือ 0.25 กิโลวัตต์ต่อวัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบนี้ใช้ Raspberry Pi เป็นตัวควบคุมเซ็นเซอร์ PIR ในการตรวจจับความเคลื่อนไหว และกล้องเว็บในการบันทึกภาพจากผลการทดสอบ ระบบสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหว บันทึกภาพ และส่งการแจ้งเตือนทางข้อความและรูปภาพไปยัง Line Notify โดยมีความแม่นยำที่แตกต่างกัน ความแม่นยำจะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของระบบประเมินได้ว่าเป็น 6.5 วัตต์หรือ 0.15 กิโลวัตต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงและแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ Raspberry Pi เป็นตัวควบคุมกลางของระบบนี้ ระบบนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการใช้กล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในการเฝ้าระวัง

ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวและใบหน้าด้วยความแม่นยำสูงในระยะใกล้ จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบในระยะทางที่มากขึ้น นอกจากนี้ ระบบสามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้โดยการเพิ่มคุณสมบัติเช่นสตรีมวิดีโอแบบเรียลไทม์ การรู้จำใบหน้า และการรวมกับอุปกรณ์อัจฉริยะอื่น ๆ สามารถเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการรักษาความปลอดภัยในบ้าน

การวิจัยและพัฒนาระบบการเฝ้าระวังนี้มีข้อจำกัดหลายประการซึ่งสามารถแก้ไขในงานวิจัยในอนาคตได้ ความแม่นยำของระบบในระยะทางที่มากกว่าเป็นข้อจำกัดหนึ่ง ตามที่แสดงในผลลัพธ์ ความแม่นยำลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ความแม่นยำของอัลกอริทึมการตรวจจับอาจเพิ่มขึ้นโดยการรวมเซ็นเซอร์ที่ซับซ้อนสูงกว่า หรือการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร หรือสามารถลดการใช้พลังงานลงได้

## บรรณานุกรม

- กันตณ พริ้วโรตง. (2550). ระบบป้องกันการบุกรุกภายในอาคารพร้อมแสดงสถานะการทำงานแต่  
ละจุด ควบคุมโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์ (Independent study). สืบค้นจาก  
<https://thesis.grad.kmutnb.ac.th/thesis/>
- ขนิษฐา สิทธิเทียมจันทร์ และชวรัตน์ ตระกูลคำวิไล. (2558). การประยุกต์ใช้ระบบ เครือข่ายตรวจรู้  
ไร้สายสำหรับเฝ้าระวังในโรงเรียน. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏ  
สวนสุนันทาและเครือข่าย ครั้งที่ 3 (3-4 กันยายน หน้า 801-806), กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัย  
ราชภัฏสวนสุนันทา.
- ไวพจน์ ศุภบรรเสถียร และวิภาวัลย์ นาคทรัพย์. (2555). ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้านพัก  
อาศัยแบบไร้สายที่ใช้โมดูลสื่อสารซิกบีควบคุมโดยไม่โครคอนโทรลเลอร์. ใน การ  
ประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 (6-7  
ธันวาคม หน้า 200-205). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Barlow, S. E., & O'Neill, M. A. (2020). Technological advances in field studies of pollinator  
ecology and the future of e-ecology. *Current opinion in insect science*, 38, 15-25.  
doi:10.1016/j.cois.2020.01.008
- Casals, L., Mir, B., Vidal, R., & Gomez, C. (2017). Modeling the energy performance of  
LoRaWAN. *Sensors*, 17(10), 2364. doi:10.3390/s17102364
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005, June). Histograms of oriented gradients for human detection. In  
2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition  
(CVPR'05) (Vol. 1, pp. 886-893). IEEE. doi:10.1109/CVPR.2005.177
- Demir, S., Şimşek, Ş., Gür, S., & Levi, A. (2022). Secure and privacy preserving IoT gateway  
for home automation. *Computers and Electrical Engineering*, 102, 108036.  
doi:10.1016/j.compeleceng.2022.108036
- Déniz, O., Bueno, G., Salido, J., & De la Torre, F. (2011). Face recognition using histograms of  
oriented gradients. *Pattern recognition letters*, 32(12), 1598-1603.  
doi:10.1016/j.patrec.2011.01.004
- Dierbach, C. (2014). Python as a first programming language. *Journal of Computing Sciences in  
Colleges*, 29(3), 73-73. doi:10.5555/2544322.2544337

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gupta, V., Khera, S., & Turk, N. (2021). MQTT protocol employing IOT based home safety system with ABE encryption. *Multimedia Tools and Applications*, 80(2), 2931-2949. doi:10.1007/s11042-020-09750-4
- He, T., Krishnamurthy, S., Stankovic, J. A., Abdelzaher, T., Luo, L., Stoleru, R., ... & Krogh, B. (2004, June). Energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services* (pp. 270-283). doi:10.1145/990064.990096
- Imilab Webcam. (2023). Retrieved January 13, 2023, from <https://imilab.com.sg/product/imilab-webcam>
- Jain, A. K., Hong, L., Pankanti, S., & Bolle, R. (1997). An identity-authentication system using fingerprints. *Proceedings of the IEEE*, 85(9), 1365-1388. doi: 10.1109/5.628674.
- Jain, A. K., Ross, A. A., Nandakumar, K., Jain, A. K., Ross, A. A., & Nandakumar, K. (2011). Security of biometric systems. *Introduction to Biometrics*, 259-306. doi:10.1007/978-0-387-77326-1.
- Javed Mehedi Shamrat, F. M., Majumder, A., Antu, P. R., Barmon, S. K., Nowrin, I., & Ranjan, R. (2022). Human face recognition applying haar cascade classifier. In *Pervasive Computing and Social Networking: Proceedings of ICPCSN 2021* (pp. 143-157). Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-16-5640-8\_12
- Johannsson, B., Kashyap, S., & Manjappa, R. (2016). *OpenCV (Open Source Computer Vision Library)*. Delft University of Technology. Retrieved June 20, 2022, from <https://delftswa.gitbooks.io/desosa2016/content/opencv/Chapter.html>.
- Jolles, J. W. (2021). Broad-scale applications of the Raspberry Pi: A review and guide for biologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(9), 1562-1579. doi:10.1111/2041-210X.13652
- Kazemi, V., & Sullivan, J. (2011). Face alignment with part-based modeling. In *2011 22nd British Machine Vision Conference, BMVC 2011, Dundee, United Kingdom, 29 August 2011 through 2 September 2011* (pp. 27-1). British Machine Vision Association, BMVA. doi:10.5244/C.25.27

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Khan, M. A., Ahmad, I., Nordin, A. N., Ahmed, A. E. S., Mewada, H., Daradkeh, Y. I., ... & Shafiq, M. (2022). Smart android based home automation system using internet of things (IoT). *Sustainability*, 14(17), 10717. doi:10.3390/su141710717.
- King, D. E. (2009). Dlib-ml: A machine learning toolkit. *The Journal of Machine Learning Research*, 10, 1755-1758. doi: 10.1145/1577069.1755843.
- King, D. (2014). *dlib C++ Library: Dlib 18.6 released: Make your own object detector!*  
Retrieved May 12, 2022, from <https://blog.dlib.net/2014/02/dlib-186-released-make-your-own-object.html>.
- Li, H., Xiezhang, T., Yang, C., Deng, L., & Yi, P. (2021). Secure video surveillance framework in smart city. *Sensors*, 21(13), 4419. doi:10.3390/s21134419
- Lienhart, R., & Maydt, J. (2002, September). An extended set of haar-like features for rapid object detection. In *Proceedings. international conference on image processing* (Vol. 1, pp. I-I). IEEE. doi:10.1109/ICIP.2002.1038171.
- Line (2023). Retrieved January 13, 2023, from <https://line.me/en/>
- Mita, T., Kaneko, T., & Hori, O. (2005, October). Joint haar-like features for face detection. In *Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05) Volume 1* (Vol. 2, pp. 1619-1626). IEEE. doi:10.1109/ICCV.2005.129
- Netinant, P., Vasprasert, P., & Rukhiran, M. (2021, April). Evaluations of effective on LWIR micro thermal camera IoT and digital thermometer for human body temperatures. In *Proceedings of the 5th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government* (pp. 20-24). doi:10.1145/3466029.3466043
- Netinant, P., Amatyakul, A., & Rukhiran, M. (2022, January). Alert Intruder Detection System Using Passive Infrared Motion Detector based on Internet of Things. In *2022 The 5th International Conference on Software Engineering and Information Management (ICSIM)* (pp. 171-175). doi:10.1145/3520084.3520112

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Patil, R. M., Srinivas, R., Rohith, Y., Vinay, N. R., & Pratiba, D. (2017, December). IoT enabled video surveillance system using Raspberry Pi. In *2017 2nd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS)* (pp. 1-7). IEEE. doi:10.1109/CSITSS.2017.8447877
- Pir Motion Sensor Getting Started* (2017). Retrieved January 13, 2023, from <https://blog.thaieasyelec.com/getting-started-pir-motion-sensor/>
- Pulli, K., Baksheev, A., Korniyakov, K., & Eruhimov, V. (2012). Real-time computer vision with OpenCV. *Communications of the ACM*, 55(6), 61-69. doi:10.1145/2184319.2184337
- Raspberry Pi4 Model B* (2020, May). Retrieved January 13, 2023 from <https://th.cytron.io/c-raspberry-pi/c-raspberry-pi-main-board/c-raspberry-pi-4/p-raspberry-pi-4-model-b-8-gb-and-kits>
- Rosebrock, A. (2017). *Facial landmarks with dlib, OpenCV, and Python*. Retrieved May 25, 2022, from <https://pyimagesearch.com/2017/04/03/facial-landmarks-dlib-opencv-python/>.
- Rukhiran, M., Netinant, P., & Elrad, T. (2020). Effecting of environmental conditions to accuracy rates of face recognition based on IoT solution. *Journal of Current Science and Technology*, 10(1), 21-33. doi:10.14456/jcst.2020.2
- Rukhiran, M., & Netinant, P. (2022). Automated information retrieval and services of graduate school using chatbot system. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 12(5). doi:10.11591/ijece.v12i5.pp5330-5338
- Rukhiran, M., Phaokla, N., & Netinant, P. (2022). Adoption of environmental information chatbot services based on the internet of educational things in smart schools: Structural equation modeling approach. *Sustainability*, 14(23), 15621. doi:10.3390/su142315621.
- Scratch and Raspberry Pi Components GPIO*. (2018). Retrieved January 13, 2023, from <https://www.framboise314.fr/scratch-raspberry-pi-composants/gpio/>
- Shah, S. K., Tariq, Z., & Lee, Y. (2018, December). Audio iot analytics for home automation safety. In *2018 IEEE international conference on big data (big data)* (pp. 5181-5186). IEEE. doi:10.1109/BigData.2018.8622587

### บรรณานุกรม (ต่อ)

- Shetty, A. B., & Rebeiro, J. (2021). Facial recognition using Haar cascade and LBP classifiers. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 330-335. doi:10.1016/j.gltp.2021.08.044
- Shi, B., Gu, W., & Sun, X. (2022). XDMOM: A Real-Time Moving Object Detection System Based on a Dual-Spectrum Camera. *Sensors*, 22(10), 3905. doi:10.3390/s22103905
- Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1, 511-518. doi: 10.1109/CVPR.2001.990517.
- Viswanatha, V., Chandana, R. K., & Ramachandra, A. C. (2022). IoT Based Smart Mirror Using Raspberry Pi 4 and YOLO Algorithm: A Novel Framework for Interactive Display. *Indian Journal of Science and Technology*, 15(39), 2011-2020. doi:10.17485/IJST/v15i39.1627
- Wahab, F., Ullah, I., Shah, A., Khan, R. A., Choi, A., & Anwar, M. S. (2022). Design and implementation of real-time object detection system based on single-shoot detector and OpenCV. *Frontiers in Psychology*, 13, 1039645. doi:10.3389/fpsyg.2022.1039645
- Welbourne, D. J., Claridge, A. W., Paull, D. J., & Lambert, A. (2016). How do passive infrared triggered camera traps operate and why does it matter? Breaking down common misconceptions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(2), 77-83. doi:10.1002/rse2.20
- Wilson, P. I., & Fernandez, J. (2006). Facial feature detection using Haar classifiers. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 21(4), 127-133. doi:abs/10.5555/1127389.1127416

ภาคผนวก

บทความที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ 2023 7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON E-COMMERCE, E-BUSINESS AND E-GOVERNMENT

ฐานข้อมูล Association for Computing Machinery: ACM

Design and Implementation of an IoT-Based Surveillance System using  
Raspberry Pi, Camera, and Motion Sensor

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University





The Association for Computing Machinery  
1601 Broadway, 10<sup>th</sup> Floor  
New York, New York 10019, USA

ACM COPYRIGHT NOTICE. Copyright © 2023 by the Association for Computing Machinery, Inc. Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, to republish, to post on servers, or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Publications Dept., ACM, Inc., fax +1 (212) 869-0481, or [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

For other copying of articles that carry a code at the bottom of the first or last page, copying is permitted provided that the per-copy fee indicated in the code is paid through the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, +1-978-750-8400, +1-978-750-4470 (fax).

ACM ISBN: 979-8-4007-0839-8

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

## Table of Contents

### 2023 7th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government (ICEEG 2023)

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Preface.....               | vii  |
| Conference Committees..... | viii |

### Chapter 1—Online Marketing and E-Commerce Management

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Identification of Customers Satisfaction with Popular Online Shopping Apps in Saudi Arabia Using Sentiment Analysis and Topic Modelling .....                                           | 1  |
| <i>Nada Ali Hakami</i>                                                                                                                                                                  |    |
| Analyzing the Language Functions of Food Advertising Contents in Instagram Reels and TikTok Videos.....                                                                                 | 12 |
| <i>Dhea Zaneta Noveria, Clara Herlina Karjo</i>                                                                                                                                         |    |
| What Services do Experienced Online Grocery Shoppers Appreciate Moving Forward? .....                                                                                                   | 20 |
| <i>Minna Stenius, Niklas Eriksson</i>                                                                                                                                                   |    |
| Research on Logistics Distribution Service Quality of Fresh Agri-products under C2M Community Group Buying Model.....                                                                   | 26 |
| <i>Fenfang Ye, Jing Zhao, Gw Jang</i>                                                                                                                                                   |    |
| Language in E-Business: Gender-Based Perspectives of Male and Female Beauty Products' Advertisement on Instagram: The Linguistic Features and Copywriting Differences in Marketing..... | 32 |
| <i>Valentina Wijaya, Clara Herlina Karjo</i>                                                                                                                                            |    |
| How Electronic Word-of-mouth Influence the Purchasing Intention—An Empirical Study of Fruit E-commerce in China .....                                                                   | 40 |
| <i>Zhengqi Sun, Yan Li, Ruixin Li, Wendi Chen</i>                                                                                                                                       |    |

### Chapter 2—E-Government and Business Informatization

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A Determination of the Level of Adoption of eGovernment-based Conversational Systems in Nigeria..... | 46 |
| <i>Olufemi, M., Oyelami, Thomas, O., Falana, Oluwaseyi, S., Erinfolami</i>                           |    |
| Evaluation of Users' Participation in Value Co-creation of Open Government Data Platform.....        | 51 |
| <i>Ting Shao, Peiting Yang, Hongbo Jiang</i>                                                         |    |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A Comparative Assessment of Local Government Websites in Greece .....                                      | 58 |
| <i>Demetrios Sarantis, Sotirios-Georgios C. Liachnis, Delfina Soares</i>                                   |    |
| Application of Information Technology in Business Strategy in Industry 4.0: Case Study from Indonesia..... | 65 |
| <i>Meiryani, Yeyen Sherly Amaria, Bagas Alvian Muhandika, Fernando</i>                                     |    |
| Transforming from Mathematical Model to ML Model for Meteorology in Macao's Smart City Planning .....      | 72 |
| <i>Vai-Kei Ian, Rita Tse, Su-Kit Tang, Giovanni Pau</i>                                                    |    |
| Impact of Labor Autonomy and Work-life Balance on Job Satisfaction in Teleworking.....                     | 79 |
| <i>Elizabeth Imperatriz Garcia-Salirrosas, Rafael Fernando Rondon-Eusebio</i>                              |    |

### **Chapter 3—Fintech, Finance Digitalization and Digital Economy**

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| When Fractional Investment Platform Meets Intellectual Property Assets: A Case Study on MUSICOW .....                   | 87  |
| <i>Yan Pei</i>                                                                                                          |     |
| The Impact of Digital Inclusive Finance on Enterprise Financing in Fujian Province .....                                | 93  |
| <i>Shanshan Wang, Lin Yuan, Zixu Xiong, Yanyan Liu</i>                                                                  |     |
| The Analysis of Factors Influencing Digital Payment in Cambodia.....                                                    | 102 |
| <i>Siphath Lim, Ediri O. Anderson</i>                                                                                   |     |
| Analysis of Utilizing Mobile Application to Educate Fintech User's Data Protection: Mobile Learning Scale Approach..... | 109 |
| <i>Ryu Oliver, Yulia Magdalena, Kevin Deniswara</i>                                                                     |     |
| Research on Evolutionary Game of Blockchain Enabling Finance-Transportation and Warehouse Financing.....                | 114 |
| <i>Chuan Qin, Yitian Hong</i>                                                                                           |     |
| Impact of COVID-19 on the Gig Economy in China: Challenges and Coping Strategies .....                                  | 123 |
| <i>Xiaohong Lu</i>                                                                                                      |     |

### **Chapter 4—Financial Mathematics and Applied Modeling in Business Management**

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| Covid 19's Impact on Stocks' Relative Risks ..... | 129 |
| <i>Haoran Chu</i>                                 |     |

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A Contrarian Trading Strategy: Mean vs. Median Reversion.....                                                                                                                                 | 134 |
| <i>Sheng Chai, Xianrong Zheng</i>                                                                                                                                                             |     |
| Impact of Marketing Orientation, Learning Orientation and Entrepreneurial Orientation on<br>Business Performance of Culinary SME in Jakarta.....                                              | 139 |
| <i>Richard Wandri, Grasheli Kusuma Andhini, Ahmad Seichti Ramadhan</i>                                                                                                                        |     |
| The Factors of Reverse Logistics Practice Towards Business Performance in Electrical and<br>Electronics (E&E) Industry.....                                                                   | 148 |
| <i>Kamal Imran Mohd Sharif, Mohd Azril Ismail, Mohamed Ghazali Hassan, Zulkifli Mohamed Udin,<br/>Lee En Pei, Yong Shu Yin</i>                                                                |     |
| Government Subsidy Strategy based on Competitive Retail Market during COVID-19.....                                                                                                           | 154 |
| <i>Yuan Song, Huihui Wang</i>                                                                                                                                                                 |     |
| The Mediating Role of CSR Disclosure between Board Structure and Capital Structure.....                                                                                                       | 160 |
| <i>Afshan Younas, Aza Azlina Md. Kassim</i>                                                                                                                                                   |     |
| <br><b>Chapter 5—Digital Information Systems Design and Information Technology<br/>Application</b>                                                                                            |     |
| Exploring the Potential of Information Flow Diagram (IFD) in Graduate Digital Library System Design<br>and Development .....                                                                  | 168 |
| <i>Paniti Netinant, Palthanon Prajaksuvithee, Sorapak Pukdesree</i>                                                                                                                           |     |
| Creative NFT-Copyrighted AR Face Mask Authoring Using Unity3D Editor.....                                                                                                                     | 174 |
| <i>Mohamed Al Hamzy, Shijin Zhang, Hong Huang, Wanwan Li</i>                                                                                                                                  |     |
| Technology Organization Environment in Predicting Auditor Intention to Study Metaverse Audit.....                                                                                             | 181 |
| <i>Bambang Leo Handoko, Gen Norman Thomas, Lely Indriati</i>                                                                                                                                  |     |
| The Application of Machine Learning Algorithms in Predicting the Usage of IoT-based Cleaning<br>Dispensers: Machine Learning Algorithms in Predicting the Usage of IoT-based Dispensers ..... | 188 |
| <i>Tobechi Obinwanne, Chibuzor Udokwu, Patrick Brandtner</i>                                                                                                                                  |     |

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Design and Implementation of an IoT-Based Surveillance System using Raspberry Pi, Camera, and Motion Sensor..... | 195 |
| <i>Kaveepon Chaichana, Paniti Netinant, Sorapak Pukdesree</i>                                                    |     |
| Factors that Influence MSMEs to Adopt Technology-based Accounting Information Systems.....                       | 203 |
| <i>Bambang Leo Handoko, Jovin Enrico, Raymond</i>                                                                |     |



## Preface

Welcome to the conference proceedings of the International Conference on E-Commerce, E-Business, and E-Government (ICEEG 2023)! The conference took place at the University of Plymouth, Plymouth, UK during April 27-29, 2023. Throughout the conference, participants engaged in stimulating discussions, informative presentations, and enlightening keynote and invited speeches by distinguished experts in the field. We believe that the participants have gained rich knowledge and experience through this conference, and this knowledge and experience will have a positive impact on their work and learning in their respective fields.

We are delighted to present this compilation of research papers that showcase the latest advancements and discoveries in the field of E-Commerce, E-Business, and E-Government. ICEEG serves as a premier platform for researchers, scientists, engineers, and industry professionals from around the globe to come together and exchange ideas, insights, and experiences. This conference provides a unique opportunity to discuss and make sense of the 'digital' world and modern technology-enabled business and government for value creation and service delivery.

The papers included in these proceedings represent the highest standards of academic excellence and originality. Each submission underwent a rigorous peer-review process, ensuring that only the most exceptional and innovative research finds its place in this esteemed collection. The contributions featured in this volume span a wide spectrum of topics, including but not limited to E-Commerce, E-Business Management, Digital Economy, Online Marketing, E-Government, and Information Technology Applications.

Finally, we would also like to express our gratitude to the organizing committee, session chairs, reviewers, and everyone involved in making this conference a resounding success. Your dedication and hard work have been instrumental in creating an inclusive and enriching environment for the exchange of ideas and the cultivation of new connections.

We hope that you find these conference proceedings insightful and inspiring. The research presented here represents the cutting-edge advancements in E-Commerce, E-Business, and E-Government, and we believe it will contribute significantly to the further development of these fields. We extend our warmest thanks to all the authors for their valuable contributions.

I hope you enjoy the conference proceedings, and we eagerly anticipate your participation at ICEEG 2024.

Conference Chair  
 Prof. Shaofeng Liu   
 University of Plymouth, UK

## Conference Committees

### Conference Chairs

Shaofeng Liu, University of Plymouth, UK

Femi Olan, University of Essex, UK

### Steering Committee Chair

Ezendu Ariwa, University of Bedfordshire, UK

### Conference Program Chairs

Shan Wang, University of Saskatchewan, Canada

Angela Lee Siew Hoong, Sunway University, Malaysia

Paniti Netinant, Rangsit University, Thailand

### Local Committee Members

Guoqing Zhao, University of Plymouth, UK

Uchitha Jayawickrama, Loughborough University, UK

### Conference Promotion Chair

Bambang Leo Handoko, Bina Nusantara University, Indonesia

### Technical Program Committee

Wei Xu, Shenyang University of Technology, China

Mitsunori Hirogaki, Kyushu University, Japan

Elizabeth Emperatriz Garcia Salirrosas, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Peru

Cuifeng Wu, Xiamen University of Technology, China

Su-Kit Tang, Macao Polytechnic University, Macao

Yousef Farhaoui, Moulay Ismail University, Morocco

Sergei Zainullin, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Russia

Luisa Bosetti, University of Brescia, Italy

Aza Azlina Md Kassim, Management and Science University, Malaysia

Clara Herlina Karjo, Bina Nusantara University, Indonesia

Bowei Chen, The University of Glasgow, UK  
 Ritesh Chugh, Central Queensland University, Australia  
 Anand Nayyar, Graduate School, Duy Tan University, Vietnam  
 Yusliza mohd yusoff, Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia  
 Monica Thiel, University of International Business and Economics, China  
 Umi kartini binti rashid, University Tun Hussein Onn Malaysia, Malaysia  
 Teresa maria leिताo dieguez, University of Porto, Portugal  
 Meiryani, Bina Nusantara University, Indonesia  
 Zaber Moinul, UNU-EGOV, Portugal  
 Lameiras Mariana, UNU-EGOV, Portugal  
 Nurul Liyana Mohd Kamil, Universiti Malaya, Malaysia  
 Lixia Zeng, Xiamen University of Technology, China  
 Meennapa Rukhiran, Rangsit University, Thailand  
 Olawole Fawehinmi, Universiti Malaysia Terengganu, Malaysia  
 Andriyansah Andriyansah, Universitas Terbuka, Indonesia  
 Qi Wang, China National Institute of Standardization, China  
 Ang Swat Lin Lindawati, Bina Nusantara University, Indonesia  
 Shinta Amalina Hazrati Havidz, Bina Nusantara University, Indonesia  
 Tseng-Ping Chiu, National Cheng Kung University, Taiwan  
 Dimitris Sarantis, UNU-EGOV, Portugal  
 Delfina Soares, UNU-EGOV, Portugal  
 Meennapa Rukhiran, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand  
 Afshan Younas, Arab Open University, Oman  
 Ting Shao, Xiamen University of Technology, China  
 Felicisimo E. Santiago, Southern Luzon State University, Philippines  
 Yan Li, China Agricultural University, China  
 Maruf Salimon, University of Southampton Malaysia, Malaysia  
 Hesham Magd, Modern College of Business and Science, Oman  
 Kamal Imran bin Mohd Sharif, Universiti Utara Malaysia, Malaysia  
 Saulius Masteika, Vilnius University, Lithuanian  
 Yitian Hong, Xiamen University of Technology, China



## Design and Implementation of an IoT-Based Surveillance System using Raspberry Pi, Camera, and Motion Sensor

Kaveepon Chaichana  
College of Digital Innovation  
Technology, Rangsit University,  
Thailand  
kaveepon.c64@rsu.ac.th

Paniti Netinant  
College of Digital Innovation  
Technology, Rangsit University,  
Thailand  
paniti.n@rsu.ac.th

Sorapak Pukdesree\*  
Faculty of Information Technology  
and Innovation, Bangkok University,  
Thailand  
sorapuck.p@bu.ac.th

### ABSTRACT

Integrating the internet of things (IoT) technology has played a crucial role in developing smart devices such as smartphones, automobiles, smart homes, and artificial intelligence. As a result, researchers have investigated IoT-based home security system development. This research aims to create a system that uses Raspberry Pi, a small computer board, and various sensors to detect intruders and notify users via the internet. The Python programming language and OpenCV library were used to develop the system, which uses a camera and PIR (Passive Infrared Sensor) to detect faces and motion, respectively. The proposed system is designed to monitor specific areas and can be implemented in future home security innovations. In addition, the system sends notifications to users via Line Notify, enabling developers to send messages to LINE users via an API, thereby enhancing the security of homeowners. Utilizing the capabilities of IoT technology, the results of this study are to develop a cost-effective and efficient home security solution.

### CCS CONCEPTS

• Embedded and cyber-physical systems; • Embedded software;

### KEYWORDS

Internet of Things, Face detection, Security, Passive Infrared Sensor, Computer Vision, Raspberry pi, OpenCV

### ACM Reference Format:

Kaveepon Chaichana, Paniti Netinant, and Sorapak Pukdesree. 2023. Design and Implementation of an IoT-Based Surveillance System using Raspberry Pi, Camera, and Motion Sensor. In *2023 7th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government (ICEEG 2023)*, April 27–29, 2023, Plymouth, United Kingdom. ACM, New York, NY, USA, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/3599609.3599638>

\*Corresponding author.

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).

ICEEG 2023, April 27–29, 2023, Plymouth, United Kingdom  
© 2023 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.  
ACM ISBN 979-8-4907-0839-8/23/04...\$15.00  
<https://doi.org/10.1145/3599609.3599638>

### 1 INTRODUCTION

The Internet of Things (IoT) is a rapidly expanding field with the potential to transform how we interact with technology. Home security and automation are one of the most promising internet of things applications [1, 2]. By connecting cameras and motion detectors to the internet, it is possible to create a surveillance system that is both cost-effective and highly functional [3]. Home security and surveillance are essential components of family protection [4]. With the advancement of technology, numerous options for securing one's home are now available, including installing security cameras, motion sensors, and smart home systems. These security systems can monitor the residence and detect potential intrusions or suspicious activity. IoT technology also enables remote monitoring and control of the security system, making it easier for homeowners to safeguard their homes [5]. A surveillance system can be used for security in restricted areas where no one is permitted to enter or exit at a particular time. The Raspberry Pi is a small, inexpensive, single-board computer that has grown in popularity over the past few years [6, 7]. Its small size and low power consumption make it an ideal platform for constructing surveillance systems based on the Internet of Things. Several studies have documented the application of Raspberry Pi to surveillance systems. When combined with a camera and a motion sensor, the Raspberry Pi can produce a highly functional and cost-effective surveillance system [8] proposed surveillance system based on Raspberry Pi and a camera, which was used to detect and track objects in each area. A smart mirror based on the internet of things proposed a Raspberry Pi-based surveillance system that can alert the owner and others of an intruder intrusion by sending a notification to the monitor. Implementing a machine learning-based object detection algorithm and proposing an optimization technique to enhance the algorithm's performance [9] demonstrated that the proposed system could accurately detect and track objects in real time.

In IoT-based surveillance systems, cameras and motion sensors are two of the most common sensors. In addition, the application of motion sensors in IoT-based surveillance systems has been the subject of multiple studies. Using a machine learning-based object detection algorithm and a technique for reducing the computational load by running the algorithm on a digital platform, the proposed real-time object detection system was able to detect and track objects in real-time accurately. An IoT-based surveillance system that uses a motion sensor to detect and track objects in each area was proposed in a study [10]. The real-time moving object detection system could accurately detect and track objects by implementing a

motion detection algorithm based on machine learning and proposing a technique for reducing the false alarm rate by incorporating other sensor data such as temperature and light [11].

One of the major challenges of IoT-based surveillance systems is the ability to detect objects and motions in real time. This study investigated techniques for enhancing the performance of object and motion detection. The proposed system is intended to be simple, economical, and user-friendly, making it an ideal solution for small businesses and households. Security is a primary consideration for home automation [12]. Home security is a crucial component of home automation, if not the most important. Home security has advanced significantly over the past few decades and will continue to do so in the coming years. For example, a home security system can activate the alarm in the event of a break-in. However, intelligent notifications can be enhanced. Therefore, the primary objective of our work is to develop a system that can notify the owner and others of an intruder intrusion by sending a notification to their smartphones via Line integration. This system aids homeowners in securing their residences by allowing them to install sensors on their doors and windows and monitor activity via their smartphones [13].

This investigation employs Raspberry Pi, a PIR sensor, and a webcam. By combining the product and camera, we can utilize this framework for the face detection of intruders. When confusion occurs with the provided information, the owner will receive a notification on their smartphone via the Line application. The following section addresses the research questions. The design and implementation of the proposed system, including its hardware and software components, were described. The results and discussions were then presented and evaluated. Finally, evaluate the performance of the proposed system and discuss possible areas for future research.

## 2 RESEARCH QUESTIONS

This system's primary objective is to provide people with security and a sense of safety. The energy consumption of cameras is significantly lower and more cost-effective. The importance of security in modern times is undeniable, but the cost of maintaining it rises as energy consumption increases. To avoid this issue, it is useful to develop surveillance using cameras and motion sensors on the internet of things with Raspberry Pi.

The objective of this research is to study the following:

- 1. What is the minimal design and development of an IoT-based surveillance system using Raspberry Pi, camera, and motion sensor?
- 2. What is the effectiveness of the design and implement a surveillance system that can detect and alert the owner of an intruder break-in?
- 3. What are the performance and effectiveness of a surveillance system in detecting and identifying intruders using face detection technology?
- 4. What are the power consumption and cost efficiency of the system compared to surveillance systems without a PIR motion detector?

The proposed system will be designed to detect intruders and movements in real time and provide remote notification through

the Line application interface. Additionally, this research investigates techniques affecting the performance of intruders and motion detection. The proposed system aims to be easy-to-implemented, cost-effective, and user-friendly, making it an ideal solution for small businesses and households.

## 3 METHODOLOGY

Hardware and software are included in the design and development of the home security and surveillance system. The hardware consists of a Raspberry Pi, a small computer board that serves as the system's main controller, a camera for capturing images and videos, and a PIR (Passive Infrared Sensor) for motion detection.

### 3.1 Hardware Components

The hardware consists of a Raspberry Pi, a small computer board that serves as the system's main controller, a camera for capturing images and videos, and a PIR (Passive Infrared Sensor) for motion detection. The hardware components of a home security and surveillance system may include cameras, motion sensors, alarms, and control panels, among other devices.

Cameras are an essential component of a home security system because they enable live monitoring and recording of the protected area. These can range from basic models with a fixed field of view to more advanced models with pan, tilt, and zoom capabilities and include indoor and outdoor cameras. Some cameras are equipped with night vision and infrared for enhanced monitoring in low-light conditions.

**3.1.1 Raspberry Pi 4.** The Raspberry Pi 4 is a compact, single-board computer designed [6, 14], as shown in Figure 1. As the latest and most advanced model in the Raspberry Pi series, it was released in June 2019 and boasted a powerful Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz. This powerful processor is accompanied by various memory options, including 2GB, 4GB, and 8GB LPDDR4-3200 SDRAM, making it suitable for various projects and applications. The Raspberry Pi 4 also features an array of connectivity options, including Gigabit Ethernet, dual-band 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE, USB 3.0, and PoE capability (with a separate PoE HAT add-on). Additionally, it has 2 USB 2.0 ports, two micro-HDMI ports (capable of supporting resolutions up to 4kp60), a 3.5 mm audio-video jack, and a 40-pin GPIO header. These features make the Raspberry Pi 4 ideal for a wide range of projects, from building a media center and a retro gaming console to creating a desktop computer. The Raspberry Pi 4 offers several advantages for building a surveillance system, such as:

- **High Processing Power:** The quad-core Cortex-A72 processor provides powerful processing capabilities, making it capable of running complex algorithms for image and video processing.
- **Large Memory:** The 2GB, 4GB, or 8GB LPDDR4-3200 SDRAM options provide ample memory for running multiple applications and storing large amounts of data.
- **Connectivity:** The Gigabit Ethernet, dual-band 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, and USB 3.0 ports provide a wide range of connectivity options for integrating with other devices and networks.



Figure 1: Raspberry Pi4 model

- **Power over Ethernet (PoE) capability:** The PoE capability allows the device to be powered via a separate PoE HAT add-on, simplifying the deployment of the device in remote locations.
- **Low power consumption:** The Raspberry Pi 4 is designed to consume less power, making it suitable for long-term surveillance applications.
- **Cost-effective:** The Raspberry Pi 4 is a cost-effective solution for building a surveillance system compared to other commercial options.
- **Flexibility:** The 40-pin GPIO header and the wide range of available add-on boards and software libraries make the Raspberry Pi 4 highly customizable and adaptable to different surveillance applications.

**3.1.2 Passive Infrared sensors.** Motion sensors are another important component, as they can detect movement within the protected area and trigger an alarm or other response. As depicted in Figure 2, Passive Infrared (PIR) sensors are a common type of motion sensor which detect changes in infrared radiation to detect movement. A PIR motion detector is a type of sensor used to detect motion by sensing changes in infrared radiation [15]. It consists of a pyroelectric material that detects temperature changes caused by objects' movement and converts it into an electrical signal. PIR sensors have a field of view and can detect motion within a specific area. The detection system works by detecting infrared radiation emitted by objects in their field of view, comparing the level of infrared radiation at two different points in time, and generating an electrical signal if there is a difference between the two measurements, indicating motion. PIR motion detectors are commonly used in security systems, burglar alarms, and automatic lighting systems, among other applications. PIR sensors can trigger a surveillance system [5], capturing images or videos when detecting motion.

**3.1.3 Web Camera.** Web cameras, also known as CCTV cameras, are commonly used in surveillance systems to capture and record



Figure 2: Passive infrared motion detector.

video footage. A web camera can be connected to a network or a computer, allowing for remote monitoring and access to the footage. One of the advantages of using web cameras in a surveillance system is the ability to capture high-quality video footage. Many modern web cameras are equipped with high-resolution sensors and advanced imaging technology to capture clear and detailed video even in low light conditions. This study can be particularly useful for identifying individuals or objects in the footage. Web cameras also offer a wide range of features such as motion detection, night vision, pan, tilt, and zoom functionality. These features can trigger recording or send notifications when motion is detected automatically. Additionally, web cameras can be integrated with other technologies, such as facial recognition software, to provide advanced security and surveillance capabilities [3, 16]. Another advantage of web cameras is their ability to be accessed remotely. The proposed system allows users to view live footage or recorded videos from anywhere with an internet connection. The designed and developed system can be especially useful for monitoring large areas or multiple locations. However, web cameras also have some disadvantages, such as needing a constant power source and an internet connection to access the footage remotely. Additionally, web cameras are vulnerable to hacking and privacy concerns. Therefore, securing the cameras and the footage is important to prevent unauthorized access and protect personal privacy.

### 3.2 Software Components

This section describes the software components necessary for developing surveillance using a camera and motion sensor on the internet of things by raspberry pi, based on the Python programming language's development.

**3.2.1 Raspbian OS (Operating System).** Raspbian is a free and open-source operating system designed for the Raspberry Pi series of single-board computers [4]. It is the official operating system for Raspberry Pi, developed and maintained by the Raspberry Pi Foundation. Raspbian is optimized for the Raspberry Pi 4's hardware, including its 64-bit processor and 4Kp60 capable dual-display output. It is designed to be lightweight and fast, making it an ideal choice for use on the Raspberry Pi 4. The operating system comes pre-installed with various software and tools, such as the Chromium web browser, the Thonny Python Integrated Development Environment, and the Scratch visual programming language. The developed system allows users to easily access a variety of functionalities and

applications, making it a versatile option for various projects and tasks.

**3.2.2 OpenCV.** OpenCV is an open-source library of programming functions widely used for real-time computer vision [17]. This software offers a wide range of capabilities, including image and video processing, object detection and recognition, and 3D reconstruction. OpenCV's pre-built libraries and functions allow for efficient image filtering, feature detection, and object recognition. Furthermore, it is supported by machine learning and deep learning, enabling developers to utilize pre-trained models or create their own. OpenCV is commonly used in computer vision and image processing applications such as object detection, facial recognition, and image alignment. It is also used in other fields, such as robotics, augmented reality, and medical imaging [8, 18].

**3.2.3 Python Programming Language.** Python is a powerful, high-level programming language widely used in computer vision and image processing [9]. It is known for its simple, easy-to-read syntax, making it an ideal choice for developers of all skill levels. One of the main advantages of using Python is its large and active community, which provides developers with a wealth of resources and support [17]. When combined with OpenCV, Python's capabilities in computer vision and image processing are greatly enhanced. OpenCV is a library of programming functions that provides a wide range of pre-built libraries and functions for image and video processing, including image filtering, feature detection, and object recognition. It also supports machine learning and deep learning, allowing developers to use pre-trained models or train their models. Python and OpenCV can be used to develop advanced image processing and object detection algorithms in the context of surveillance systems. The developed system can include real-time object tracking [10, 11, 19], facial recognition [13], and motion detection [5, 16]. Additionally, Python and OpenCV can be used to develop custom graphical user interfaces (GUIs) for monitoring and controlling the surveillance system. Overall, the combination of Python and OpenCV makes it possible to build sophisticated and highly customizable surveillance systems that meet various applications' specific needs.

**3.2.4 Line Application.** The LINE application can be integrated with a surveillance system to provide real-time notifications and alerts to users. The system notification can be done using the LINE Notify API, which allows developers to send messages to LINE users via the API. For example, a motion detection system can be integrated with LINE to send notifications to users when the surveillance camera detects motion. The notifying images can be done using OpenCV and Python to process the video feed from the surveillance camera and then trigger a message to be sent to the user's LINE account when motion is detected. LINE's built-in camera feature can also be used for remote monitoring and surveillance. Users can remotely access the surveillance camera and view the live video feed on their LINE application. The system allows users to check on their property even when not physically present. Furthermore, LINE's group chat feature can also be utilized in a surveillance system, allowing multiple users to receive notifications and view the live video feed simultaneously. The IoT-based surveillance system can be helpful for businesses or organizations that

need to monitor multiple locations or have multiple individuals responsible for monitoring a specific area [12, 16]. Overall, the LINE application provides a convenient and easy-to-use interface for users to receive real-time notifications, view live video feeds from a surveillance system, and can enhance the security and overall effectiveness of a surveillance system [14].

### 3.3 System Development

As illustrated in Figure 3, the development of a surveillance system can be done by connecting the sensor to a camera module, such as the Raspberry Pi Camera Module v2, and programming the Raspberry Pi 4 to take a photo or start recording a video when motion is detected. The Raspberry Pi 4's powerful processing capabilities and ability to connect to a wide range of peripherals make it an ideal platform for building a surveillance system. Its low cost and small form factor make it a convenient and cost-effective option for personal and commercial use. The Raspberry Pi 4's ability to run various operating systems, such as Raspbian, Ubuntu, and Windows IoT core, makes integrating with existing systems and technologies easy. Overall, the Raspberry Pi 4's power and versatility are excellent for building a surveillance system using PIR sensors. PIR sensors can be integrated into a surveillance system by connecting them to the Raspberry Pi 4's GPIO pins and utilizing the sensor's motion detection capabilities. When the PIR sensor detects motion, it can trigger an event or signal to other devices, such as a camera or alarm. The system allows for immediate activation of the surveillance system, capturing footage or sending notifications to the user. PIR sensors can also be used with other sensors, such as cameras or door/window sensors, to create a comprehensive surveillance system. For example, a PIR sensor can detect motion and trigger a camera to begin recording, while a door/window sensor can be used to determine if an intrusion has occurred. Additionally, PIR sensors can be used for automation and energy efficiency by triggering events such as turning on lights or adjusting the temperature when motion is detected. With the capability of the Raspberry Pi 4, it can process the data from the PIR sensor and send notifications to the user via the internet (Line Notify, Email, etc.) or through a local network. Using PIR sensors in a surveillance system provides a cost-effective and efficient solution for detecting motion and activating the system in real time. Figure 3: At startup, the Raspberry Pi connects to a motion sensor and starts working when motion is detected. The camera system detects faces from the image if faces are detected. The system sends a notification message to the owner via Line Notify.

Figure 4 The block diagram of this surveillance camera system is simple and easy to understand for the user. The PIR sensor and camera, which act as the hardware devices, are connected to the Raspberry Pi. The WIFI module enables the system to connect to the internet and send alerts.

The Haar-like features [20] and the Viola-Jones algorithm have been widely used in object detection and recognition, particularly face detection [21]. The algorithm utilizes simple Haar-like features that are calculated by convolving the image with a set of rectangular filters designed to detect edges, lines, and other features characteristic of a face. These features are then used to train a classifier, known as a cascade classifier, to detect faces in new images. The

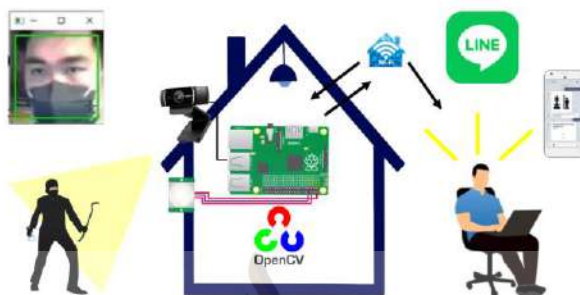


Figure 3: Design framework of IoT-based surveillance system using Line platform application.

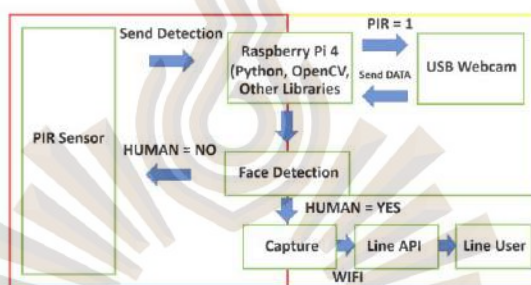


Figure 4: Block flow diagram for surveillance system.

cascade classifier is trained using a dataset of positive and negative images, where positive images contain faces and negative images do not [22]. The classifier is trained to detect faces by iteratively applying the Haar-like features to the images and adjusting the classifier's parameters based on the results. This approach is fast and efficient and has been applied in various fields, such as face recognition, video surveillance, and human-computer interaction. However, it is worth mentioning that the detection accuracy may depend on image size, resolution, lighting conditions, and the type of dataset used to train the classifier. The Haar cascade face detection method [24] is fast and efficient, and it has been widely used in many applications, such as face recognition, video surveillance, and human-computer interaction.

Line Notify is a powerful communication tool that enables developers to send messages to LINE users through simple API integration. The process of utilizing Line Notify involves several steps. First, the developer must create a Line Notify account and obtain an access token, which is the key to accessing the Line Notify API. Next, the developer must integrate the Line Notify API into their application or service by utilizing the access token and other relevant parameters. Once the integration is complete, the developer can

send a request to the Line Notify API, including the message and other relevant parameters. Finally, the Line Notify API will deliver the message to the specified LINE user(s) in real time, providing a seamless and efficient communication experience. The Line Notify service can be used in various applications such as security systems, customer service, and social media platforms, providing a convenient and effective way of communicating with users.

#### 4 RESULTS AND DISCUSSION

The development of a surveillance system using cameras and motion sensors on the Internet of Things (IoT) using a Raspberry Pi showed promising results in a one-day test, as represented in Table 1 and Figure 5. The system detected movement, recorded images, and sent text and image alerts to the user's Line account at a distance of 1-5 meters. The system's energy consumption results were also analyzed and found to be relatively low, averaging 6.5 watts or 0.15 kW per day. The PIR sensor and 1080p (2MP) web camera were connected to the Raspberry Pi. The system was able to accurately detect movement and capture images at distances of 1-3 meters, with an 80-100 percent accuracy rate. However, at distances greater

Table 1: Results for PIR sensor and web camera

| Distance (Meter) | PIR Sensor |          | Web Camera         |           | Send Alert |
|------------------|------------|----------|--------------------|-----------|------------|
|                  | Detection  | Accuracy | Frame size (Pixel) | Detection | Accuracy   |
| 1                | ✓          | 100 %    | 110                | ✓         | 100 %      |
| 1.5              | ✓          | 100 %    | 85                 | ✓         | 95 %       |
| 2                | ✓          | 100 %    | 66                 | ✓         | 95 %       |
| 2.5              | ✓          | 100 %    | 51                 | ✓         | 85 %       |
| 3                | ✓          | 100 %    | 49                 | ✓         | 80 %       |
| 3.5              | ✓          | 100 %    | 45                 | ✓         | 50%        |
| 4                | ✓          | 100 %    | 40                 | ✓         | 20%        |
| 4.5              | ✓          | 100 %    | 35                 | ✓         | 10%        |
| 5                | ✓          | 100 %    | 30                 | ✓         | 5 %        |

than 3 meters, the accuracy rate dropped to less than 50 percent. The study suggests that the optimal distance for the system to function effectively is within 1-3 meters. In terms of notifications, the system could send text and image alerts to the user's Line account in real-time, allowing immediate response to any detected movement. This feature is handy for surveillance systems in homes or small businesses where immediate response is essential. One of the main advantages of using a Raspberry Pi for this surveillance system is its low cost and energy consumption. The Raspberry Pi is a small, low-power, single-board computer well-suited for IoT applications. The average energy consumption of 6.5 watts or 0.15 kW per day is relatively low, making it a cost-effective option for long-term use.

The system was tested with and without using a PIR sensor in the study of a surveillance system using cameras and motion sensors on the Internet of Things by Raspberry Pi. The results show that using a PIR sensor greatly improves the accuracy and efficiency of the system. When the system was tested without a PIR sensor, the camera was used to detect motion alone. The camera was able to detect movement, but detection accuracy was significantly lower than when a PIR sensor was used. The camera alone had an accuracy rate of only 50-60 percent in detecting movement, while the PIR sensor had an accuracy rate of 100 percent. In addition, the system without the PIR sensor consumed more energy and had a higher power consumption rate. The system without the PIR sensor consumed an average of 8 watts per day, while the system with the PIR sensor consumed an average of 6.5 watts per day, as illustrated in Figure 6. Using a PIR sensor also allowed for more accurate detection of faces in the images captured by the camera. When the PIR sensor was used, the face detection module had an accuracy rate of 80-100 percent in detecting faces, while without the PIR sensor, the accuracy rate was only 50-60 percent. Overall, the results show that using a PIR sensor dramatically improves the accuracy and efficiency of the surveillance system. It is worth noting that in some cases, if the PIR sensor is not suitable for the environment, such as high humidity, dust, or temperature variations, the system may not work properly. In conclusion, using a PIR sensor in a surveillance system is highly recommended for its accuracy and efficiency in detecting movement and faces. The system could be improved in future work by incorporating additional sensors, such

as a microphone or a thermal camera, to increase the system's accuracy and capabilities.

A comparison of energy consumption between a surveillance system with PIR and without PIR can be seen in Table 2. The system with the PIR sensor consumed an average of 6.5 watts, or 0.15 kW per day, while the system without a PIR sensor consumed an average of 10 watts or 0.25 kW per day. The study shows that the system with the PIR sensor had a lower energy consumption of 4.5 watts, or 0.1 kW per day, which is 30 percent less than the system without the PIR sensor.

This reduction in energy consumption can be attributed to the PIR sensor's ability to detect motion and activate the surveillance system only when necessary, as opposed to the system without a PIR sensor which is continuously active. The designed and developed surveillance system saves energy and increases the lifespan of the surveillance system components, making it a more cost-effective solution in the long run. However, the PIR sensor's accuracy also influences energy savings. A system with a high-accuracy PIR sensor will consume less energy than a system with low accuracy PIR sensor. In conclusion, a surveillance system with a PIR sensor is more energy-efficient than a system without a PIR sensor.

## 5 CONCLUSION

This study's system employs a Raspberry Pi as the central controller, a PIR sensor for motion detection, and a 2MP (1080p) web camera for image capture. Based on the results of the one-day test, the system can detect movement, record images, and send text and image alerts to Line Notify from a distance of 1 to 5 meters with varying degrees of accuracy. At a distance of 1 to 3 meters, the system's overall accuracy is high, with 80 to 100 percent accuracy. However, as the distance increases, so does the accuracy, with less than 50% at distances beyond 3 meters. The average daily energy consumption of the system was determined to be 6.5 watts or 0.15 kW. This is relatively low and demonstrates the effectiveness of using a Raspberry Pi as the system's central controller. This study's system demonstrates the viability of using cameras and motion sensors connected to the Internet of Things for home surveillance. While the system detects movement and faces with high accuracy at close range, additional research is required to improve the system's



Figure 5: Samples of Line notification message and images of object detection.



Figure 6: Power usage reports of IoT-based surveillance system in a day.

Table 2: Comparison of energy consumption between surveillance system with PIR and without PIR

| Surveillance System  | Energy Consumption (Watts) | Energy Consumption (kW per day) |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| With PIR sensor      | 6.5                        | 0.15                            |
| Without PIR sensor   | 10                         | 0.25                            |
| Saving energy (watt) | 4.5                        | 0.1                             |

accuracy at greater distances. In addition, the system can be enhanced by adding features such as real-time video streaming, facial recognition, and integration with other smart home devices. The system can be a cost-effective, efficient security and surveillance solution for homes.

This surveillance system's research and development have several limitations that could be addressed in future work. The accuracy of the system at more significant distances is a limitation. As

demonstrated by the results, the accuracy decreases with increasing distance, falling below 50% at distances greater than 3 meters. The accuracy of the detection algorithms could be enhanced by incorporating more advanced sensors, such as depth sensors, or by employing machine learning techniques. Another limitation is the system's energy consumption. The system consumes an average of 6.5 watts or 0.15 kW per day, which may not be suitable for long-term use without an external power source. Future research could concentrate on optimizing the system's energy consumption.

such as by implementing energy-saving techniques or utilizing low-power sensors. In addition, the system only sends notifications via Line Notify to the owner. Other types of notifications, such as email or push notifications, and integration with other smart home devices, such as door locks or lights, may be developed in the future. Raspberry Pi's Internet of Things-based surveillance system with cameras and motion sensors has proven to be a viable solution for home security. However, there is still room for improvement in precision and energy usage. Future research could address these limitations and expand the capabilities of the system.

## REFERENCES

- [1] Muhammad A.Khan, Ijaz Ahmad, Anis N. Nordin, A. El-Sayed Ahmed, Hiren Mewada, Yousef I. Daradkeh, Saim Rasheed, Elsayed T. Eldin, and Muhammad Shafiq. 2022. Smart Android based home automation system using internet of things (IoT). *Sustainability* 14, 10717. <https://doi.org/10.3390/su141710717>.
- [2] Sayed K. Shah, Zeenat Tariq, and Yuying Lee. 2018. Audio IoT analytics for home automation safety. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Big Data*. IEEE, Seattle, WA, USA, 5181–5186. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622587>.
- [3] Tian He, Sudha Krishnamurthy, John A. Stankovic, Tarek Abdelzaher, Lijian Luo, Radu Stoleru, Ting Yan, and Lin Gu. 2004. Energy-efficient surveillance system using wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. ACM, Boston, MA, USA, 270–283. <https://doi.org/10.1145/990064.990096>.
- [4] Vatsal Gupta, Sonam Khara, and Neelam Turk. 2021. MQTT protocol employing IOT based home safety system with ABE encryption. *Multimed. Tools Appl.* 80, 2931–2949. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09750-4>.
- [5] Paniti Netiniant, Auttapon Amatyakul, and Meenapa Rukhiran. 2022. Alert intruder detection system using passive infrared motion detector based on internet of things. In *Proceedings of the 5th International Conference on Software Engineering and Information Management*. ACM, Yokohama, Japan, 171–175. <https://doi.org/10.1145/3520084.3520112>.
- [6] Sarah E. Barlow, and Mark A. O'Neill. 2020. Technological advances in field studies of pollinator ecology and the future of e-ecology. *Cur. Opin. Insect. Sci.* 38 (April 2020), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.01.008>.
- [7] Jolie W. Jolles. 2021. Broad-scale applications of the Raspberry Pi: A review and guide for biologists. *Methods Ecol. Evol.* 12, 9, 1562–1579. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13652>.
- [8] Rahul M. Patil, Ram Srinivas, Rohith Yelubench, N. R. Vinay, and D. Pratiba. 2017. IoT enabled video surveillance system using Raspberry Pi. In *proceedings of the 2nd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution*. IEEE, Bengaluru, India, 1–7. <https://doi.org/10.1109/CSITS.2017.8447877>.
- [9] V. Viewanatha, R. K. Chandana, A.C. Ramachandra. 2022. IoT based smart mirror using Raspberry Pi 4 and YOLO algorithm: A novel framework for interactive display. *Indian J. Sci. Technol.* 15, 39, 2011–2020. <https://doi.org/10.17485/IJST/v15i39.1627>.
- [10] Fazal Wahab, Inam Ullah, Anwar Shah, Rehan Ali Khan, Ahyoung Choi, and Muhammad S. Anwar. 2022. Design and implementation of real-time object detection system based on single-shoot detector and OpenCV. *Front. Psychol.* 13 (November 2022). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1039645>.
- [11] Baoquan Shi, Weichen Gu, and Xudong Sun. 2022. XDMOM: A real-time moving object detection system based on a dual-spectrum camera. *Sensor* 22, 10, 3905. <https://doi.org/10.3390/s22103905>.
- [12] Singe Demir, Seval Simsek, Sinem Gür, and Albert Levi. Secure and privacy preserving IoT gateway for home automation. *Comput. Electr. Eng.* 102 (September 2022), 108036. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108036>.
- [13] Meenapa Rukhiran and Paniti Netiniant. 2020. Effecting of environmental conditions to accuracy rates of face recognition based on IoT solution. *J. Curr. Sci. Technol.* 10, 1 (January - July 2020), 21–33. <https://doi.org/10.14456/jcst.2020.2>.
- [14] Meenapa Rukhiran, Napasorn Phakla, and Paniti Netiniant. 2022. Adoption of environmental information chatbot services based on the internet of educational things in smart schools: Structural equation modeling approach. *Sustainability*, 14, 23, 15621. <https://doi.org/10.3390/su142315621>.
- [15] Dustin J. Wellbourne, Andrew W. Claridge, David J. Paull, and Andrew Lambert. 2016. How do passive infrared triggered camera traps operate and why does it matter? Breaking down common misconceptions. *Remote. Sens. Ecol. Conserv.* 2, 2, 77–83. <https://doi.org/10.1002/rse2.20>.
- [16] Hao Li, Tianhao Xiehang, Cheng Yang, Lianbing Deng, and Peng Yi. 2021. Secure video surveillance framework in smart city. *Sensors* 21, 13 (June 2021), 4419. <https://doi.org/10.3390/s21134419>.
- [17] Charles Dieblich. 2014. Python as a first programming language. *J. Comput. Sci. Coll.* 29, 6 (June 2014), 73–78. <https://doi.org/10.5555/2544322.2544337>.
- [18] Kari Pulli, Anatoly Bakshiev, Kirill Kornyshev, Victor Erubimov. 2012. Real-time computer vision with OpenCV. *Commun. ACM* 55, 6 (June 2012), 61–69. <https://doi.org/10.1145/2184319.2184337>.
- [19] Paniti Netiniant, Pichet Vasprasert, Meenapa Rukhiran. 2021. Evaluations of effective on LWIR micro thermal camera IoT and digital thermometer for human body temperatures. In *Proceedings of the 5th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government*. ACM, Rome, Italy, 20–24. <https://doi.org/10.1145/346029.346043>.
- [20] Takeshi Mats, Toshimitsu Kaneko, Osamu Hori. 2005. Joint Haar-like features for face detection. In *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision*. IEEE, Beijing, China, 1619–1626. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2005.129>.
- [21] Rainer Lienhart and J. Maydt. 2002. An extended set of Haar-like features for rapid object detection. In *the Proceedings of the International Conference on Image Processing*. IEEE, Rochester, NY, USA, 1–1. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2002.1038171>.
- [22] Anirudha B. Shetty, Bhoomika Deeksha, Jeevan Rebeiro, and Ramyashree. 2021. Facial recognition using Haar cascade and LBP classifiers. *Glob. Trans. Proc.* 2, 2 (November 2021), 330–335. <https://doi.org/10.1016/j.gtp.2021.08.004>.
- [23] F. M. Javed Mehedi Shinnai, Anup Majumder, Probal Roy Annu, Saykot Kumar Barmon, Risha Nowrin, and Rimesh Ranjan. 2022. Human Face Recognition Applying Haar Cascade Classifier. *Pervasive Comput. Soc. Netw.* 317, 143–157. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-5640-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-19-5640-8_12).
- [24] Meenapa Rukhiran and Paniti Netiniant. 2022. Automated information retrieval and services of graduate school using chatbot system. *Int. J. Electr. Comput. Eng. Syst.* 12, 5 (October 2022), 5330–5338. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i5.pp5330-5338>.

## ประวัติผู้วิจัย

|                  |                                                                             |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ             | กวีพล ชัยชนะ                                                                |
| วัน เดือน ปีเกิด | 13 มิถุนายน 2536                                                            |
| สถานที่เกิด      | จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย                                                |
| ประวัติการศึกษา  | โรงเรียนนายเรือ<br>ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, 2560 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน  | 300/89 หมู่ 10 ตำบลสำโรง อำเภพระประแดง<br>จังหวัดสมุทรปราการ 10130          |
| สถานที่ทำงาน     | กองเรือยามฝั่ง กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ                                    |
| ตำแหน่งปัจจุบัน  | ผู้ควบคุมเรือ ต.230                                                         |

