

# ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะด้วยอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง สำหรับอินเทอร์เน็ตยุคหน้าที่รองรับอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลรุ่นที่หก

## Smart Home Security Systems with the Internet of Things to the Future Internet through IPv6 Support

ศุภโชค เกียรติกิติกุล<sup>1</sup> ชรัตน์ ขำแสง<sup>2</sup> อรรณพ หมั่นสกุล<sup>3</sup>

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1771/1 ซ.พัฒนาการ 37 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

<sup>1</sup>ki.suppachok\_st@tni.ac.th

<sup>2</sup>kh.charat\_st@tni.ac.th

<sup>3</sup>annop@tni.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยี IoT6 (Internet of Things with IPv6) เพื่อออกแบบและประยุกต์การใช้งานภายในที่อยู่อาศัยที่สามารถรักษาความปลอดภัยและแจ้งเตือนอัคคีภัยได้ โดยได้นำอุปกรณ์ที่ทันสมัยในปัจจุบัน เช่น อุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย รุ่น Zolertia Z1, อุปกรณ์ Raspberry Pi 3, อุปกรณ์กล้อง Pi NoIR, อุปกรณ์เซ็นเซอร์เปลวไฟ, อุปกรณ์เซ็นเซอร์แก๊ส และอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย รุ่น Zolertia Z1 จะมีการอ้างอิงตำแหน่งด้วย IPv6 ซึ่งถือว่าเป็นโพรโตคอลที่มีข้อดีหลายประการและรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่างๆ ผ่านอุปกรณ์ Raspberry Pi 3 เพื่อส่งต่อไปยังคลาวด์แพลตฟอร์ม (Ubidots) และเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินไฟไหม้, แก๊สรั่ว หรือตรวจพบผู้บุกรุก ระบบก็จะทำการถ่ายภาพและอัปโหลดภาพขึ้น Amazon Simple Storage Services เพื่อทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านอีเมลหรือข้อความสั้นได้ทันที

**คำสำคัญ:** ระบบความปลอดภัยบ้านอัจฉริยะ, เซ็นเซอร์ไร้สาย, อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง, อินเทอร์เน็ตโพรโตคอลรุ่นที่หก, คลาวด์แพลตฟอร์ม

### ABSTRACT

This research using IoT6 Technology for design and implement in the house. With the innovation technology, it can improve security and inform the user when an accident happened with smart devices such as Wireless Sensor Zolertia Z1, Raspberry Pi 3, Pi NoIR camera, fire sensor, gas sensor and motion sensor. The Zolertia z1 is located by IPv6 that have many advantages and transmit data from various sensors through Raspberry Pi 3 and then forwarding data to a Ubidots cloud platform. Therefore, this paper has tested the system in the event of an emergency happened such as fire, gas leak or detect the thief. The system will take a picture and upload to Amazon Simple Storage Services for immediately inform the user by email or short message.

**Keywords:** Smart Home Security Systems, Wireless Sensor Network, Internet of Things, Internet Protocol version 6, Cloud Platform

### 1) บทนำ

เทคโนโลยี IoT6 [1] เป็นอีกเทคโนโลยี ที่มีความทันสมัยและน่าสนใจ เพราะในอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กแต่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตบนไอพีรุ่นที่หกและส่งข้อมูลที่ได้รับการตรวจวัดจากเซ็นเซอร์ต่างๆมากมายหลายชนิด อัปโหลดขึ้นไปบนอินเทอร์เน็ตได้หลากหลายแพลตฟอร์มโดยสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ได้ตรวจวัดได้ทุกที่ทุกเวลา

โดยในงานวิจัยนี้ได้นำอุปกรณ์ IoT6 มาติดตั้งภายในบ้านและนำมาช่วยแจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อเกิด 2 เหตุการณ์หลักๆ อย่างแรกคือกรณีที่เกิดเหตุการณ์แก๊สรั่ว ซึ่งเมื่อ Z1 ตรวจจับเจอแก๊สรั่วออกมา จะทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านอีเมลและข้อความสั้น อย่างที่สองคือ Z1 ติดตั้งเซ็นเซอร์สามารถแจ้งเตือนหากเกิดผู้บุกรุกภายในบ้านในเวลาที่เรากำลังไม่อยู่บ้านและตรวจพบการเคลื่อนไหว ซึ่งจะทำการถ่ายรูปและส่งภาพขึ้นไปยังคลาวด์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจเช็คได้ในทันที

### 2) เครื่องมือและเทคโนโลยี

#### 2.1) Zolertia Z1

Zolertia Z1 [2] แพลตฟอร์มมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [3] (WSN) สื่อสารบนโพรโตคอล 6LoWPAN ซึ่งทำให้อุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีข้อจำกัด สามารถสื่อสารด้วย IPv6 ได้, มีการทำงานแบบ Hop-by-hop, มีเซ็นเซอร์อุณหภูมิและเซ็นเซอร์วัดความเอียงในตัว และสามารถเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ภายนอกเพื่อตรวจจับค่าจากสภาพแวดล้อมจริงได้

#### 2.2) เซ็นเซอร์

ในงานวิจัยนี้จะนำเซ็นเซอร์เปลวไฟ เซ็นเซอร์แก๊ส เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวมาใช้

##### 2.2.1) เซ็นเซอร์เปลวไฟ

เซ็นเซอร์ตรวจจับเปลวไฟโดยใช้การทำงานของแสงอินฟราเรด สามารถแสดงผลการทำงานได้ทั้งในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล

(ให้ค่า 0 หรือ 1 เพื่อแสดงค่าที่ตรวจจับได้) และสัญญาณนาฬิกา (ให้ค่าสัญญาณเพื่อใช้ประมวลผลต่อ)

### 2.2.2) เซ็นเซอร์แก๊ส MQ-2

MQ-2 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจสอบปริมาณ ก๊าซไวไฟและควัน เช่น แอลกอฮอล์, มีเทน, แอลกอฮอล์, ไฮโดรเจน และควันในอากาศ ซึ่งเมื่อเราเริ่มจ่ายพลังงานให้ MQ-2 จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ขดลวด เมื่อก๊าซไวไฟต่างๆ เข้ามาทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่าความต้านทานลดลง ซึ่งค่าจะวัดได้จากความต้านแปรผกผันกับปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้น

### 2.2.3) เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ โดยจะเปลี่ยนระดับอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้า และค่าความชื้น โดยความชื้นนี้มาจากความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์จะแสดงในรูปของร้อยละ (%) มีหน่วยเป็น %RH

### 2.2.4) เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว [4][5]

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยการวัดความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงรังสีอินฟราเรดที่ปล่อยออกมาจากวัตถุต่างๆ แล้วนำมาแปลงเป็นค่าสัญญาณไฟฟ้าเพื่อใช้งาน

## 2.3) Ubidots [6]

คลาวด์แพลตฟอร์มสำหรับนักพัฒนาที่จะช่วยในการสร้างแอปพลิเคชัน ซึ่งเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดของเซ็นเซอร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยมีคุณสมบัติที่หลากหลาย สามารถแสดงค่าบนหน้าเว็บ แจ้งเตือนผ่านข้อความสั้นและอีเมลได้

## 2.4) Amazon Simple Storage Services [7]

คลาวด์แพลตฟอร์มที่ใช้สำหรับเก็บรูปถ่ายไว้บนอินเทอร์เน็ต โดย Raspberry Pi โดยจะอัปโหลดรูปถ่ายขึ้นไปทันทีที่มีการถ่ายรูป

## 2.5) Boto3 [8]

เป็นชุดพัฒนาซอฟต์แวร์ของ Amazon Web Services ที่ช่วยในการใช้งานบริการต่างๆของ Amazon ทำให้สามารถใช้งาน Amazon Simple Storage Services ได้ง่ายขึ้น สามารถใช้ภาษาไพธอนในการเขียนได้

## 2.6) Raspberry Pi 3

อุปกรณ์ขนาดเล็กสามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการและใช้งานได้เหมือนคอมพิวเตอร์ทั่วไป ใช้ระบบปฏิบัติการ Raspbian ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่มาจากผู้ผลิตเอง

## 2.7) กล้อง Pi NoIR [9][10]

กล้องสำหรับเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi มีความละเอียด 8 ล้านพิกเซล แบบไม่ตัดตัวกรองแสงอินฟราเรดออก ทำให้สามารถถ่ายรูปได้ในตอนกลางคืน โดยต้องใช้ร่วมกับแสงอินฟราเรด สามารถเขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi เพื่อสั่งงานได้

## 2.8) ระบบปฏิบัติการ Contiki

ระบบปฏิบัติการแบบโอเพนซอร์สสำหรับ Internet of Things โดย

รองรับการใช้พลังงานต่ำเพื่อสื่อสารบนอินเทอร์เน็ต รองรับมาตรฐานไอพีรุ่นที่สี่และไอพีรุ่นที่หก พร้อมทั้งมาตรฐานเครือข่ายไร้สายพลังงานต่ำ เช่น 6LoWPAN [11], RPL และ CoAP สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่าย เพราะเขียนด้วยภาษาซี และยังมีโปรแกรมจำลอง Cooja Simulator ที่สามารถทำการจำลองระบบเครือข่ายได้

## 2.9) ไอพีรุ่นที่หก

การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจำเป็นต้องมีโปรโตคอลเครือข่ายซึ่งจะบอกที่อยู่ในการส่งข้อมูลจากเว็บไซต์ ไอพีรุ่นที่สี่นั้นมีจำนวนที่อยู่ไอพีที่จำกัด ซึ่งจะต้องเปลี่ยนเป็นไอพีรุ่นที่หกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การสำรวจของกูเกิลพบว่าไอพีรุ่นที่หกได้รับการยอมรับเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวทุกๆ 9 เดือน

## 2.10) IPv6 Transition Mechanism (6in4)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนผ่านไอพี เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนไอพีรุ่นที่หกจากผู้ให้บริการ โดยใช้วิธีการทำอุโมงค์ 6in4 ซึ่งวิธีการนี้ยังสามารถแก้ปัญหาเราเตอร์ที่ไม่รองรับไอพีรุ่นที่หกได้อีกด้วย วิธีการแก้คือการเพิ่มเราเตอร์ที่รองรับทั้งไอพีรุ่นที่หกและไอพีรุ่นที่สี่ และสร้างอุโมงค์ 6in4 ขึ้นจากเราเตอร์กับปลายทางอุโมงค์แห่งหนึ่งในอินเทอร์เน็ตของไอพีรุ่นที่หก ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและง่ายต่อการทำมากที่สุด

## 2.11) TunnelBroker.net [12]

เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการในการทำอุโมงค์ไอพีรุ่นที่หก สำหรับผู้ที่มีแต่ไอพีรุ่นที่สี่ แล้วต้องการจะใช้ไอพีรุ่นที่หก การทำอุโมงค์จะทำให้ไอพีรุ่นที่หกสามารถวิ่งผ่านเครือข่ายที่เป็นไอพีรุ่นที่สี่ได้

โดย Zolertia Z1 เป็นอุปกรณ์ที่ทำกาสื่อสารบนไอพีรุ่นที่หก ซึ่งภายในห้องทดลองของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ยังใช้ไอพีรุ่นที่สี่อยู่ จึงจำเป็นต้องใช้บริการของ TunnelBroker.net ในการใช้งานไอพีรุ่นที่หก

## 3) ขั้นตอนการทำงาน

### 3.1) การเตรียมการ

เตรียมการอุปกรณ์และตั้งค่าพื้นฐานสำหรับใช้งานอุปกรณ์ Zolertia Z1 ในการส่งค่าไปยัง Ubidots

#### 3.1.1) ติดตั้ง Contiki

ดาวน์โหลดระบบปฏิบัติการ Contiki และติดตั้งโปรแกรม msp430 บน Raspberry Pi เพื่อใช้ในการติดตั้ง โปรแกรมบน Zolertia Z1

#### 3.1.2) ทำอุโมงค์ไอพีรุ่นที่หกให้เชื่อมต่อมาที่ Raspberry Pi

สมัครใช้งานเว็บไซต์ TunnelBroker.net เพื่อขอใช้งานไอพีรุ่นที่หกผ่านไอพีสาธารณะรุ่นที่สี่ที่ใช้งานอยู่ ซึ่งจำเป็นต้องเปิดพอร์ต ICMP และโปรโตคอล 41 เพื่อให้แพ็กเก็ตไอพีรุ่นที่หกสามารถวิ่งผ่านเครือข่ายที่เป็นไอพีรุ่นที่สี่ได้

#### 3.1.3) สมัครใช้งานและตั้งค่า Ubidots

สมัคร Ubidots คลาวด์แพลตฟอร์ม, สร้างตัวแปรสำหรับเตรียมรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์, สร้างหน้าต่างการแสดงผลของเซ็นเซอร์ที่หน้า Dashboard และทำการตั้งค่า Events สำหรับการแจ้งเตือนข้อความสั้นและอีเมลไปยังผู้ใช้งาน



1. โพรโทคอล 41 ไว้เพื่อเป็นการเปิดอนุญาตสำหรับการเพิ่มพื้นที่บนส่วนหัวของไอพีรุ่นที่สี่เพื่อห่อหุ้มแพ็กเกจไอพีรุ่นที่หก

2. พอร์ต ICMP เพื่อให้ทางเซิร์ฟเวอร์สามารถตอบกลับมายัง Raspberry Pi ได้

ซึ่งเมื่อทำตามทั้ง 2 อย่างนี้จะสามารถใช้บริการของ TunnelBroker.net ได้ และจะได้รับไอพีรุ่นที่หกมาใช้งาน ซึ่งสามารถเข้าใช้งานได้กับทุกเว็บไซต์ที่รองรับไอพีรุ่นที่หก

3.2.5) จากเว็บไซต์ TunnelBroker.net ไปยัง Ubidots

ข้อมูลจากเว็บไซต์ TunnelBroker.net นั้นเมื่อเชื่อมต่อไป Ubidots จะเชื่อมต่อด้วยไอพีรุ่นที่หกที่ออกมาจากอุโมงค์ไอพีรุ่นที่หก ซึ่งข้อมูลของแพ็กเกจจาก Border Router จะถูกคลายออกในขั้นตอนนี้และส่งต่อไปด้วยเครือข่ายไอพีรุ่นที่หก

3.2.6) Ubidots ส่งค่ากลับมายัง Raspberry Pi 3

เมื่อเกิดกรณีที่ต้องการจะถ่ายภาพ Ubidots จะส่งค่ากลับมายัง Raspberry Pi 3 ซึ่งทางฝั่ง Raspberry Pi 3 จะต้องรันโปรแกรมเพื่อรองรับค่าที่เปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นเงื่อนไขของการถ่ายรูป

3.2.7) Raspberry Pi 3 ส่งให้กล้องถ่ายรูป และอัปโหลดรูปภาพขึ้นไปยัง Amazon Simple Storage Services

ทำการเชื่อมต่อกล้อง Pi NoIR เข้ากับตัว Raspberry Pi และเข้าไปตั้งค่าที่ระบบปฏิบัติการให้เปิดการใช้งานกล้อง Pi NoIR

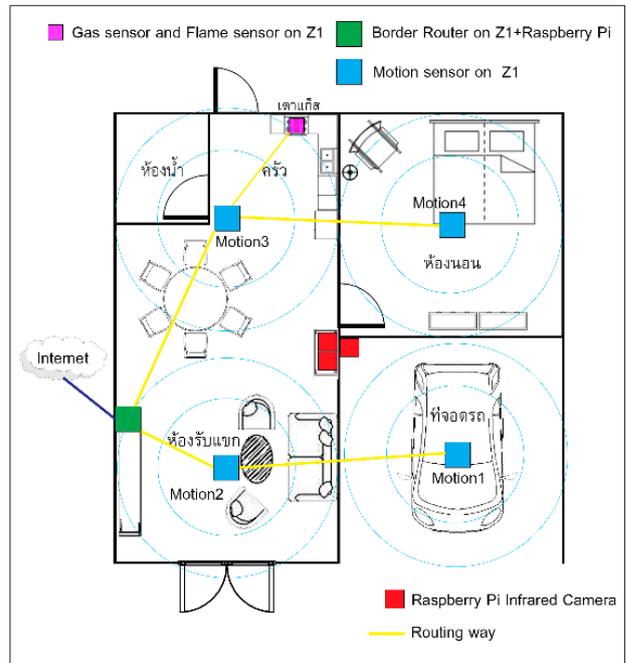
และเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน ส่งให้รับค่าของตัวแปรที่จะใช้ในการถ่ายรูปบนเว็บไซต์ Ubidots เมื่อมีค่าที่เปลี่ยนไป ตัวโปรแกรมจะส่งให้กล้อง Pi NoIR ถ่ายรูปในทันที ซึ่งเมื่อถ่ายเสร็จแล้ว Raspberry Pi จะทำการอัปโหลดภาพถ่ายขึ้นไปยัง Amazon Simple Storage Services ในทันที หลังจากนั้นจึงลบไฟล์รูปภาพออกจากเครื่อง เพื่อไม่ให้หน่วยความจำภายในเครื่องเต็ม และผู้ใช้สามารถเข้ามาตรวจสอบรูปภาพได้ตลอดเวลา

3.2.8) เว็บไซต์ Ubidots แจ้งเตือนมายังผู้ใช้งาน

บนเว็บไซต์ Ubidots ทำการสร้าง Events โดยการกำหนดค่าจากตัวแปร เมื่อถึงค่าที่กำหนด จะทำการแจ้งเตือนในรูปแบบของข้อความสั้นและอีเมลมายังผู้ใช้งานได้

4) ผลการดำเนินงาน

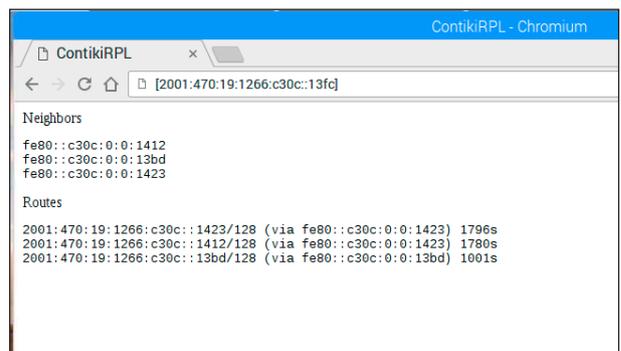
นำอุปกรณ์ตั้งค่าไว้ให้เรียบร้อยและนำไปวางในบ้านเพื่อเป็นกรณีศึกษาดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 : แผนผังการวางอุปกรณ์ภายในบ้าน

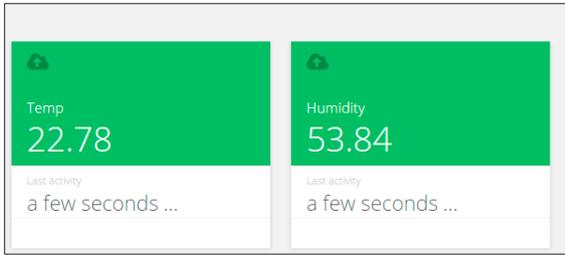
โดยจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวไว้ที่ห้องรับแขก, ห้องครัว, ห้องนอน และที่โรงจอดรถ เพื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวตอนที่ไม่มีคนอยู่บ้าน ทำการติดตั้ง Pi NoIR ให้ถ่ายรูปที่ห้องรับแขกจนถึงประตูหน้าบ้าน, ห้องครัวจนถึงประตูหลังบ้าน และที่โรงจอดรถ และติดตั้งเซ็นเซอร์เปลวไฟและแก๊สไว้ที่เตาแก๊สในห้องครัว โดย Zolertia Z1 มีการทำงานแบบ Hop-by-hop ตามเส้นสีเหลือง แล้วเชื่อมต่อไปที่ Border Router เพื่อส่งค่าออกสู่อินเทอร์เน็ต ไปที่เว็บไซต์ Ubidots

4.1) สามารถทำการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่หกแบบ Hop-by-hop ได้สำเร็จ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 : การเชื่อมต่อแบบ hop-by-hop

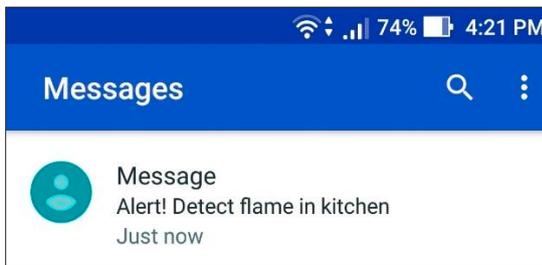
4.2) สามารถตรวจสอบค่าของเซ็นเซอร์ได้ตลอดเวลา และสามารถตรวจสอบสถานะของค่าผ่านเว็บไซต์ Ubidots ได้ตลอดเวลา ดังรูปที่ 4



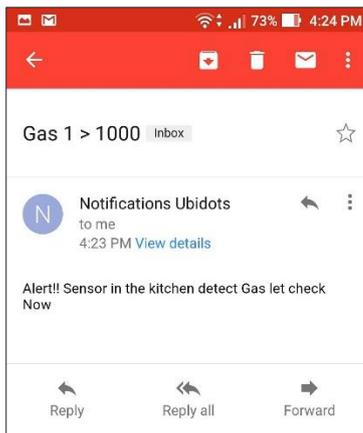
รูปที่ 4 : ตรวจสอบสถานะค่าจากเซ็นเซอร์

4.3) สามารถแจ้งเตือนผ่านอีเมลและข้อความมือถือ

เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่น ไฟไหม้หรือแก๊สรั่ว สามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานได้ในทันทีผ่านข้อความสั้นหรืออีเมล ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6



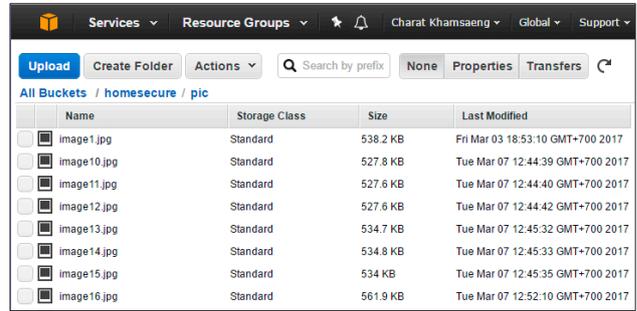
รูปที่ 5 : การแจ้งเตือนมายังโทรศัพท์



รูปที่ 6 : การแจ้งเตือนยังอีเมล

4.4) สามารถอัปโหลดรูปถ่ายขึ้น Amazon Simple Storage Services

เมื่อถ่ายรูปแล้ว ก็ทำการอัปโหลดรูปภาพขึ้นไปยัง Amazon Simple Storage Services เพื่อทำการเก็บไว้ แล้วจึงลบรูปภาพออกจากอุปกรณ์ Raspberry Pi 3 เพื่อไม่ให้หน่วยความจำในอุปกรณ์เต็ม ซึ่งสามารถอัปโหลดรูปถ่ายได้ และสามารถลบรูปภาพหลังจากอัปโหลดได้เช่นกัน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 : Amazon Simple Storage Services

4.5) รูปภาพที่ถูกถ่ายมีความคมชัดและสามารถระบุตัวตนได้ว่าเป็นใครที่เข้ามาในห้อง ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9



รูปที่ 8 : รูปถ่ายหลังจาก Motion2 สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหว



รูปที่ 9 : รูปถ่ายหลังจาก Motion1 สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหว

5) สรุปการดำเนินงาน

อุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ได้ดี สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ สามารถตรวจจับแก๊สที่รั่วและเปลวไฟได้ สามารถส่งค่าขึ้นเว็บไซต์ Ubidots ได้และแจ้งเตือนมายังสมาร์ตโฟนผ่านข้อความสั้นและอีเมลได้ตลอดเวลา รวมถึงในส่วนของถ่ายรูปและอัปโหลดรูปภาพไปยัง Amazon Simple Storage Services ก็การทำงานได้ดีโดยไม่มีปัญหาเช่นกัน แต่การจะนำไปใช้งานจริงจำเป็นต้องมีไอพีรุ่นที่สี่แบบสาธารณะในการใช้งาน ซึ่งการขอตามบ้านเรือนอาจจะเป็นไปได้ยากและยังต้องเปิดพอร์ต ICMP และโปรโตคอล 41 หากต้องการทำไอพีรุ่นที่หก จึงทำให้ในตอนนี้อยู่ระหว่างการทดลองได้เพียงภายในแล็บของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เท่านั้น

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หมั่นสกุล ที่ได้เขียนโครงการเพื่อขอทุนการศึกษาสำหรับการซื้ออุปกรณ์ Z1 มาให้ทดลองค้นคว้าเพื่อใช้ในการงานวิจัยและคอยให้คำปรึกษา เสนอแนวคิดต่างๆ ช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่อง และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง และขอแสดงความขอบคุณต่อคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อใช้ในการวิจัยและทดลองใช้งานอุปกรณ์งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] "IPv6 for IoT | IoT6.eu," [Online]. Available: [http://iot6.eu/ipv6\\_for\\_iot](http://iot6.eu/ipv6_for_iot). [Accessed: 17-Mar-2017].
- [2] "Zolertia/Resources," *GitHub*. [Online]. Available: <https://github.com/Zolertia/Resources>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [3] "marcozennaro/IPv6-WSN-book," *GitHub*. [Online]. Available: <https://github.com/marcozennaro/IPv6-WSN-book>. [Accessed: 17-Mar-2017].
- [4] "PIR Motion Sensor Overview," *Adafruit*. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/overview#>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [5] ปิยะชัย ครอบปรมาโทย์, "Application of Embedded Linux Base: เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor)," *Application of Embedded Linux Base*, 2553. [Online]. Available: <http://application-with-embedded-linux.blogspot.com/2010/12/motion-sensor.html>. [Accessed: 07-Dec-2017].
- [6] "IoT platform | Internet of Things | Ubidots," [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [7] "Getting Started with Amazon Simple Storage Service - Amazon Simple Storage Service," [Online]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/gsg/GetStartedWithS3.html>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [8] "Boto 3 Docs 1.9.61 documentation," *Boto 3 Documentation*. [Online]. Available: <https://boto3.amazonaws.com/v1/documentation/api/latest/index.html>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [9] "Getting started with picamera | Raspberry Pi Learning Resources," [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/getting-started-with-picamera/>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [10] "RPi-Cam-Web-Interface - eLinux.org," [Online]. Available: <http://elinux.org/RPi-Cam-Web-Interface>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [11] "IoT Standards & Protocols Guide | 2017 Comparisons on Network, Wireless Comms, Security, Industrial," *Postscapes*. [Online]. Available: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-protocols/>. [Accessed: 17-Mar-2017].
- [12] "Hurricane Electric Free IPv6 Tunnel Broker," *Hurricane Electric Internet Service*. [Online]. Available: <https://tunnelbroker.net/>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [13] "AKIF," *Zaidmufti*. [Online]. Available: <https://Zaidmufti.wordpress.com/>. [Accessed: 17-Mar-2017].
- [14] "How to give your Raspberry Pi a Static IP Address UPDATE," *ModMyPi*. [Online]. Available: <https://www.modmypi.com/blog/how-to-give-your-raspberry-pi-a-static-ip-address-update>. [Accessed: 13-Mar-2017].
- [15] "networking - How to route traffic from a specific port on tun0 to eth0 (and back)," *Raspberry Pi Stack Exchange*. [Online]. Available: <https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/57380/how-to-route-traffic-from-a-specific-port-on-tun0-to-eth0-and-back>. [Accessed: 13-Mar-2017].