ระบบแจ้งเตือนฉุกเฉินด้วยเทคโนโลยี LoRa สำหรับลิฟต์โดยสาร กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

Emergency Notification System with LoRa Technology for Elevator Case Study: Prince of Songkla University, Phuket Campus

จิรวัฒน์ แท่นทอง[1*] ซาร่า แหล่หมัน[1] และ วรฤทัย ดวงดี[1]
Jirawat Thaenthong[1] Sara Laeman[1] and Worarutai Duangdee[1]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
[1]Major in Information Technology, College of Computing, Prince of Songkla University (Phuket Campus)
วันที่ส่งบทความ : 28 กุมภาพันธ์ 2563 วันที่แก้ไขบทความ : 22 เมษายน 2563 วันที่ตอบรับบทความ : 3 พฤษภาคม 2563
Received: 28 February 2020, Revised: 22 April 2020, Accepted: 3 May 2020

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเมื่อเกิดปัญหาลิฟต์ติดค้างในยามวิกาล การขอความช่วยเหลือจะทำได้ลำบากเนื่องจากอาจจะไม่มีผู้ที่ได้ยินเสียงสัญญาณขอความช่วยเหลือ นอกจากนี้ลิฟต์ที่มีผนังจะปิดกั้นสัญญาณมือถือ บทความนี้ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบแจ้งเตือนฉุกเฉินด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำงานร่วมกับเทคโนโลยี LoRa เพื่อใช้ส่งสัญญาณระยะไกลได้ อุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนามี 2 แบบ โดยแบบแรกทำงานแบบ Point-to-Point ประกอบด้วยอุปกรณ์ตัวส่ง (Sender) และอุปกรณ์ตัวรับ (Receiver) ในขณะที่อุปกรณ์แบบที่สอง จะเพิ่มอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Relay) เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ ผลการทดสอบพบว่า อุปกรณ์แบบ 2 สามารถส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือได้ในระยะจำกัดการส่งสัญญาณระหว่างตัวส่งและตัวรับในตึก 5 ได้ระยะทาง 40 เมตร และตึก 6 20 เมตร ในขณะที่อุปกรณ์แบบ 2 (ใช้โมดูลทวนสัญญาณ 1 ตัว) จะมีประสิทธิภาพดีกว่าในการทดสอบที่ตึก 5 และ ตึก 6 ประมาณ 12.5% และ 50% ตามลำดับ ทั้งนี้การรองรับการส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทวนสัญญาณ

คำสำคัญ : เทคโนโลยี LoRa ลิฟต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวทวนสัญญาณ การแจ้งเตือนฉุกเฉิน

Abstract

Nowadays, when the elevator stuck at nighttime. Getting help is difficult because there may not be anyone who hears the signal. Also, some elevators with thick walls will block mobile signals. In this paper, we developed an emergency notification system with

*ที่อยู่ติดต่อ โทรศัพท์ : 07627-6498 E-mail address: jirawat.t@phuket.psu.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LoRa technology for the elevator. The proposed system uses the ESP32 microcontroller built-in LoRa module for long-distance communications. It has two versions. Version 1 used the Point-to-Point technique with one sender and receiver unit, and version 2 includes the relay unit to extend signal coverage distance. The testing results showed that device version 1 can send an emergency signal with limited range, the signal transmission between the transmitter and receiver in building 5 is 4 meters, and building 6 is 20 meters. Version 2, with only one relay module, provides the distance at building 5 and building 6 better than version 1, about 12.5% and 50% of the length, respectively. The device version 2 improves the range of communication-based on the number of relay units.

Keywords: LoRa technology, Elevator, Microcontroller, Relay, Emergency Notification

1. บทนำ

เนื่องจากภายในตึกสูงหรือสำนักงานส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานลิฟต์โดยสาร บางครั้งอาจจะเกิดปัญหาลิฟต์ค้างหรือลิฟต์ไม่สามารถให้บริการได้ตามปกติ ซึ่งหากเวลาที่เกิดเหตุเป็นช่วงเวลาราชการหรือเป็นเวลาทำงานปกติที่มีคนมาก ก็จะสามารถเรียกและส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือได้ทันถ่วงที แต่ในบางครั้งหากเกิดเหตุในช่วงเวลากลางคืนหรือเป็นเวลาหลังเลิกงานที่ไม่มีคน การได้รับความช่วยเหลือเป็นไปได้ช้า

ลิฟต์ส่วนใหญ่ก็ไม่ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือระยะไกล รวมไปถึงเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย (รปภ.) ก็ไม่ได้เดินตรวจตราลิฟต์อยู่ตลอดเวลาตามตัวอาคารต่าง ๆ ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ปัญหาลิฟต์ค้าง จะทำให้ผู้ใช้ลิฟต์ขอความช่วยเหลือได้ยาก ซึ่งการใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อติดต่อขอความช่วยเหลือ ถ้าลิฟต์ก็อยู่ในจุดที่อับสัญญาณมาก เช่น อยู่ในชั้นที่ลึกที่สุดหรือในบริเวณที่สัญญาณเข้าไปได้ไม่ถึง ก็จะทำให้ไม่สามารถติดต่อใครให้ช่วยเหลือได้

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวัน เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ให้มีความสะดวกเพิ่มมากขึ้น เทคโนโลยี LoRa ออกแบบมาสนับสนุนการสื่อสารระยะไกล เนื่องจากใช้พลังงานต่ำ จึงทำให้เหมาะกับการใช้กับ IoT (Internet of Things) LoRa ใช้ความถี่ที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต (unlicensed) ย่านต่ำกว่า 1GHz (ประเทศไทยย่าน 920-925MHz) มีราคาไม่แพง ดูแลรักษาง่าย และมีการใช้งานแพร่หลายในปัจจุบัน

ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะนำเสนอระบบแจ้งเตือนฉุกเฉินด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานร่วมกับเทคโนโลยี LoRa เพื่อใช้ส่งสัญญาณระยะไกลได้โดยใช้พลังงานต่ำสำหรับการแจ้งเหตุฉุกเฉินในลิฟต์โดยสาร ในยามวิกาล และไม่มีสัญญาณมือถือ

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการทำงานของลิฟต์โดยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิฟต์ที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะมีอยู่ 2 ประเภท [1] คือลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและระบบไฮดรอลิกที่จะใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่ามาก ลิฟต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสะดวกและง่ายต่อการใช้ลิฟต์สมัยใหม่ได้ถูกออกแบบให้มีระบบระบายอากาศเพียงพอ ในกรณีที่ไฟฟ้าดับชุดไฟส่องสว่างจากแบตเตอรี่สำรองฉุกเฉินจะให้แสงสว่างเพียงพอสำหรับการมองเห็น ให้กดปุ่มสัญญาณ EMERGENCY CALL ที่แผงปุ่มกด กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ เมื่อระบบควบคุมการทำงานของลิฟต์ ได้รับสัญญาณไฟไหม้ จะยกเลิกคำสั่งการทำงานทั้งหมด ระบบขับเคลื่อนลิฟต์โดยระบบไฟฟ้าสำรองจะเป็นชุดแบตเตอรี่ จะสั่งการให้ลิฟต์เคลื่อนที่ไปยังชั้นล่าง หรือชั้นที่กำหนด ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วปกติ เมื่อลิฟต์วิ่งถึงชั้นล่าง แล้วประตูลิฟต์จะเปิดออกโดยทันที

2.2 การประยุกต์ใช้ IoT สำหรับระบบลิฟต์โดยสาร

ในปี ค.ศ. 2018 Ge และคณะ ได้นำเสนอการใช้ระบบลิฟต์อัจฉริยะในอาคารอัจฉริยะที่สามารถให้ข้อมูลช่วยเหลือผู้โดยสารโดยอิงตามการเคลื่อนไหวและการรับรู้ตามเวลาจริง ได้พัฒนาต้นแบบ แอปพลิเค-ชันให้ความช่วยเหลือที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลางซึ่งให้การแสดงภาพตามเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานและความฉลาดในการช่วยเหลือผู้ใช้ เช่น การเคลื่อนที่ไปยังชั้นอื่นเพื่อลดเวลารอคอยของผู้โดยสาร ผลลัพธ์ แสดงให้เห็นว่าการใช้งานระบบและประสบการณ์การใช้งานของ Intellevator ของผู้ทดสอบระบบได้ผลดีกว่าลิฟต์ธรรมดาทั่วไปที่มีอยู่ ระบบยังต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้ข้อมูลที่รายงานผลมีความถูกต้องมากขึ้น [2]

ในปี ค.ศ. 2015 Wang และคณะ ได้พัฒนาแพลตฟอร์ม JavaNIO เพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของลิฟต์โดยสารระยะไกลด้วยการใช้เทคโนโลยี Zigbee ร่วมกับอุปกรณ์ IoT สื่อสารผ่านโปรโตคอล UDP ระบบที่ออกแบบรองรับการตรวจสอบแบบเรียบไทม์ โดยมีฟังก์ชันให้บริการ การแจ้งเตือนเมื่อลิฟต์ทำงานผิดปกติผ่านทาง SMS ข้อเสียของระบบคือต้องใช้ต้นทุนสูงในการพัฒนาระบบ [3] ต่อมา Khan และ Ullah ได้นำเสนอ Frameworks สำหรับระบบลิฟต์อัจฉริยะ ในปี ค.ศ. 2017 เพื่อแก้ปัญหาสถานการณ์ฉุกเฉิน เช่น กรณีคนติดลิฟต์ โดยผู้วิจัยจะใช้ Raspberry Pi 3 โมเดล B+ ในการจำลองซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด [4] ทั้งนี้ทางผู้วิจัยจะให้มีการติดตั้งตัวโมดูลต่าง ๆ ภายในลิฟต์ด้วยซึ่งโมดูลควบคุมความเร็ว โมดูลตรวจจับอารมณ์ เป็นต้น แต่มีข้อจำกัดคือระบบยังไม่ได้นำไปทดสอบใช้งานจริง

ในปี พ.ศ. 2560 นันทิกา เบญจเทพานันท์ และคณะ ได้พัฒนาอุปกรณ์ติดตามที่มีชื่อว่า TrackMe บนบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ร่วมกับระบบติดตามผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่งสามารถส่ง SMS ไปยังผู้ ใช้ได้ หากเกิดเหตุร้ายสามารถตรวจดูตำแหน่งเพื่อแจ้งแก่ตำรวจหรือโรงพยาบาลใกล้เคียงที่ใกล้ที่สุด และสามารถส่งข้อมูลได้จริงที่แสดงผลบนแผนที่ Google ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ แต่ข้อจำกัดคือใช้งานได้เฉพาะแอนดรอยด์เท่านั้น [5] และในปี ค.ศ. 2018 Olalere และคณะ ได้นำเสนอระบบตรวจสอบการทำงานของระบบลิฟต์ โดยสารระยะไกล (RCM) โดยใช้อุปกรณ์ IoT สำหรับการเก็บข้อมูล จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ เชื่อมต่อเครือข่ายและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่ติดตั้งบนระบบลิฟต์ เมื่อเกิดปัญหาในลิฟต์ โดยสารจะมีการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านอีเมล์ จากผลการทำงานระบบแจ้งเตือนยังมีความล่าช้า [6]

2.3 เทคโนโลยี LoRa

LoRa (Long Range) [7] เป็นเทคโนโลยีสื่อสารระยะไกล โดยจะใช้งานในย่านความถี่วิทยุไม่ต้องต้องขอใบอนุญาตเช่น 433 MHz, 868 MHz และ 915 MHz ในการทดสอบบนพื้นที่โล่ง LoRa สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับการส่งสัญญาณระยะไกล มากกว่า 10 กิโลเมตร แต่เมื่อใช้ในในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง ระยะทางการส่งสัญญาณจะลดลงต่ำกว่า 1 กิโลเมตร เทคโนโลยี LoRa ที่มีการนำมาใช้งาน จะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ LoRa และ LoRaWAN กรณี LoRa จะเป็นการใช้งานในย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาต การสื่อสารจะเน้นเป็นแบบ Point-to-Point ระหว่างโหนดที่ใช้งาน LoRa แต่ละตัว จำกัดระยะให้บริการ แต่ในกรณี LoRaWAN โหลด LoRa สามารถสื่อสารไปยังโหนดปลายทางที่อยู่ระยะไกล ผ่านทาง LoRa เกตเวย์ ดังนั้นโครงข่ายจะครอบคลุมการสื่อสารระยะไกล เช่นเดียวกับระบบเครือข่าย WAN

2.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LoRa ในงานด้านความปลอดภัยและสุขภาพ

ในปี ค.ศ. 2018 Valach และ Macko ได้ประยุกต์ใช้ LoRa ในการพัฒนาอุปกรณ์ IoT โดยใช้บอร์ด Arduino สำหรับช่วยดูแลสุขภาพผู้สูงอายุ หากเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่นผู้สูงอายุได้รับอุบัติเหตุ ระบบจะแจ้งเตือนอัตโนมัติไปยังผู้ดูแล จากผลการทดสอบยังไม่แนะนำให้ใช้ LoRa เนื่องจากพื้นที่ให้บริการ LoRa ยังไม่ครอบคลุม และไม่ได้สามารถติดตามเวลาจริงทันที [8] ในปีเดียวกัน Wu และคณะ ได้นำเสนออุปกรณ์ IoT แบบสวมใส่ เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายและส่งข้อมูลกลับไปยังศูนย์ควบคุม ผ่านเทคโนโลยี LoRa ระบบจะทำการตรวจสอบคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ รังสี อัลตราไวโอเลต และข้อมูลสิ่งแวดล้อมทั่วไป ข้อมูลจะถูกรวบรวมจากอุปกรณ์ส่งไปยังเครื่องบริการที่อยู่ใน ระบบคลาวด์ (Cloud Computing) และแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทราบผ่านแอปพลิเคชันมือถือเมื่อเกิดสถานการณ์ ฉุกเฉิน [9]

ในปี พ.ศ. 2561 ศราวุธ ชัยมูล และ กมล บุญล้อม ได้เสนอการพัฒนาเมืองอัจฉริยะโดยใช้โครงข่าย LoRaWAN ที่ใช้ตัวอย่างการวัดคุณภาพทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม จากผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ส่งผ่านโครงข่าย LoRa ได้ระยะทางประมาณ 1 - 4 กิโลเมตร ข้อมูลถูกนำเสนอบนเว็บ ทำให้สามารถวิเคราะห์ ผลได้ทุกที่ทุกเวลา [10] Wu และคณะ ได้เสนออุปกรณ์สวมใส่สำหรับตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วย เทคโนโลยี LoRa (WE-Safe) [11] ในปี ค.ศ. 2018 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้แบบเรียลไทม์โดยส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจสอบการทำงานของลิฟต์ระยะไกลแต่มีค่าใช้จ่ายสูงในการพัฒนา มีการพัฒนาเฟรมเวอร์คต้นแบบเพื่อช่วยในการช่วยเหลือกรณีลิฟต์ติดค้างด้วยการทำงานร่วมกับ Raspberry Pi แต่ยังเป็นเพียงแค่แนวคิดและเป็นอุปกรณ์ต้นแบบการพัฒนา มีการนำเทคโนโลยี LoRa มาใช้ในการสื่อสารเพื่อส่งข้อมูลสุขภาพ และข้อมูลสภาพแวดล้อม แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้ LoRa ในการช่วยเหลือกรณีลิฟต์ติดค้าง ด้วยเหตุผู้วิจัยนี้จึงมีแนวคิดจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LoRa เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการแจ้งเหตุฉุกเฉินภายในลิฟต์ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์กับลิฟต์โดยสารโดยตรง เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้

3. ระบบที่พัฒนา

3.1 สถาปัตยกรรมระบบ

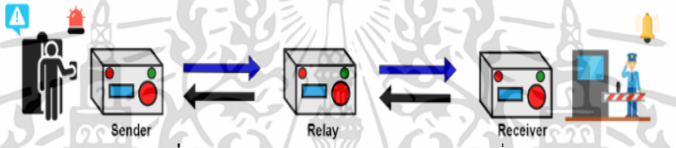
3.1.1 แบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1. ระบบการทำงานของอุปกรณ์แบบที่ 1

จากรูปที่ 1 อุปกรณ์แบบที่ 1 จะมีตัว Sender ที่ใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉิน เมื่อผู้ใช้กดปุ่มสีแดง อุปกรณ์จะส่งสัญญาณผ่าน LoRa แบบ Point-to-Point ไปยังตัว Receiver ซึ่งเป็นตัวรับแจ้งเหตุที่ติดตั้งอยู่ภายในป้อมยาม หลังจากที่ รปภ. ทราบเหตุแล้วก็จะกดปุ่มสีแดงที่ตัวอุปกรณ์ Receiver เพื่อส่งสัญญาณกลับมายังตัว Sender ให้ผู้ที่อยู่ภายในลิฟต์ทราบและรอการช่วยเหลือ

3.1.2 แบบที่ 2

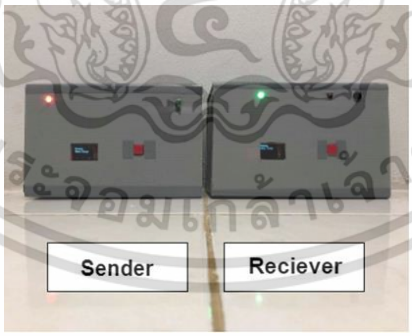


รูปที่ 2. ระบบการทำงานของอุปกรณ์แบบที่ 2

จากรูปที่ 2 เป็นการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ซึ่งมีตัว Sender ที่ใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉินโดยการกดปุ่มสีแดงเพื่อส่งสัญญาณการแจ้งเหตุไปยังตัว Receiver ซึ่งเป็นตัวรับแจ้งเหตุที่ติดตั้งอยู่ภายในป้อมยาม โดยมี Relay ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับ-ส่ง สัญญาณ

3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

3.2.1 อุปกรณ์ต้นแบบที่ 1



รูปที่ 3. อุปกรณ์ต้นแบบที่ 1

จากรูปที่ 3 อุปกรณ์ต้นแบบมีการทำงานตามสถาปัตยกรรมแบบที่ 1 ตัวส่ง (Sender) และตัวรับ (Receiver) ออกแบบให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดกะทัดรัดและมีฟังก์ชันที่แสดงข้อมูลบนหน้าจอ OLED ได้ มีไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ มีปุ่มไว้สำหรับการแจ้งเหตุและตอบรับการช่วยเหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์จะสามารถเปิดดูข้างในได้เพื่อสะดวกในการตรวจเช็คหรือซ่อมแซมอุปกรณ์ อุปกรณ์ทำงานได้โดยเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่หรือ Power bank ได้ โดยฟังก์ชันการทำงานทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 1

ฟังก์ชัน	ตัวส่ง	ตัวรับ
ปุ่มกดแจ้งเหตุฉุกเฉิน	√	√
ข้อความแสดงบนหน้าจอ	√	√
LED แสดงสถานะ (ON/OFF)	√	√
LED แสดสถานะ(สำเร็จ/ไม่สำเร็จ)	√	√
เสียงแจ้งเตือน	X	√

3.2.2 อุปกรณ์ต้นแบบที่ 2

อุปกรณ์ออกแบบให้มีหน้าตาเหมือนแบบที่ 1 แต่ได้มีการเพิ่มอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Relay) เพื่อช่วยเพิ่มระยะทางการสื่อสารจาก Sender ไปยัง Receiver ดังรูปที่ 4 และสำหรับฟังก์ชันการทำงานแสดงดังตารางที่ 2

รูปที่ 4. อุปกรณ์ทวนสัญญาณ

ตารางที่ 2. ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 2

ฟังก์ชัน	ตัวส่ง	ตัวทวนสัญญาณ	ตัวรับ
ปุ่มกดแจ้งเหตุฉุกเฉิน	√	X	√
ข้อความแสดงบนหน้าจอ	√	√	√
LED แสดงสถานนะ (ON/OFF)	√	X	√
LED แสดสถานะ(สำเร็จ/ไม่สำเร็จ)	√	X	√
เสียงแจ้งเตือน	X	X	√

4. การออกแบบระบบ

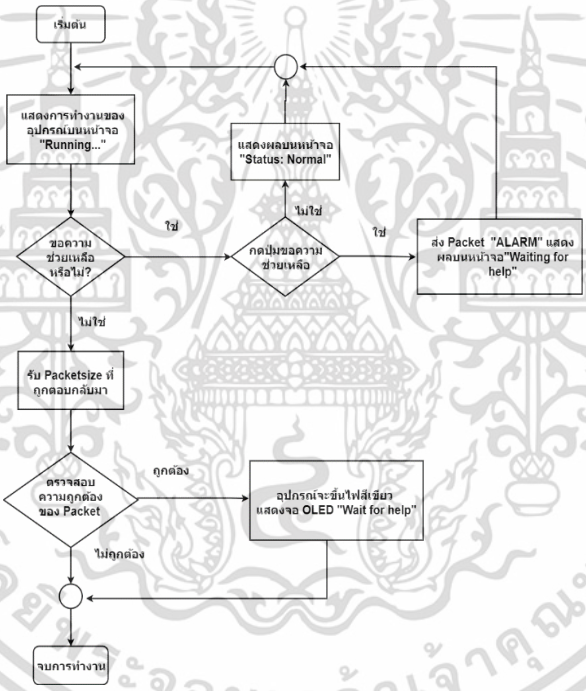
ระบบการทำงานของอุปกรณ์แบบที่ 1 จะเป็นการสื่อสารแบบ Point-to-Point อุปกรณ์ตัวส่ง จะส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือไปยังตัวรับ เมื่ออุปกรณ์ตัวรับได้รับข้อความ ผู้รับก็จะกดปุ่มส่งสัญญาณตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขอความช่วยเหลือกลับไปยังอุปกรณ์ตัวส่งอีกครั้ง ในขณะที่อุปกรณ์แบบที่ 2 ออกแบบให้ตัวส่งสามารถสัญญาณไปยังตัวรับระยะไกลผ่านตัวทวนสัญญาณ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้สามารถใช้ตัวทวนสัญญาณหลาย ๆ ตัวทำงานเชื่อมต่อกันได้ เพื่อทำให้ตัวส่งสามารถส่งสัญญาณไปยังตัวรับที่อยู่ไกลได้ตามที่กำหนด อุปกรณ์ทุกตัวสามารถรับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรอง (Power Bank) ได้

4.1 ผังงานของตัวส่ง

รูปที่ 5 แสดงผังการทำงานของตัวส่ง หากอุปกรณ์มีสถานะการใช้งานปกติ บนหน้าจอจะขึ้น “Running” พร้อมกับ “Status : Normal” เมื่อมีการกดปุ่มที่ตัวอุปกรณ์ LoRa จะส่งแพ็คเกต (Packet) ที่มีข้อความ “ALARM” ไปยังตัวรับ ในกรณีตัวส่งได้รับแพ็กเกตเข้ามาก็จะทำการตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลในแพ็กเกตตรงกับตัวแปรที่กำหนดไว้หรือไม่ หากใช่อุปกรณ์จะขึ้นไฟสีเขียวเพื่อเป็นการบ่งบอกว่า ผู้รับตอบรับการขอความช่วยเหลือแล้ว



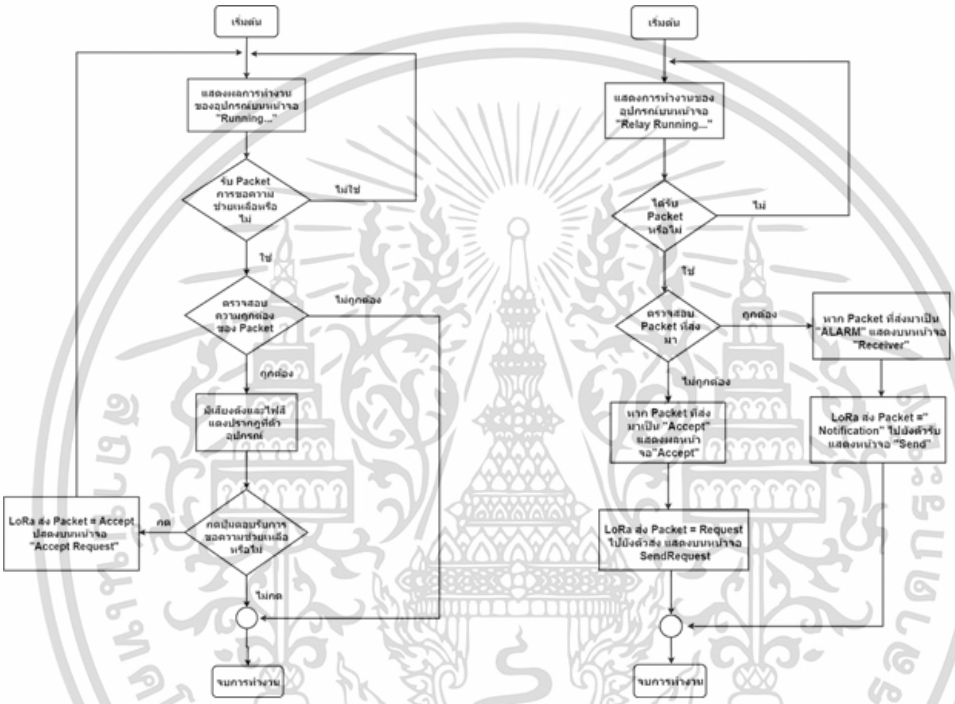
รูปที่ 5. ผังงานของโปรแกรมตัวส่ง

4.2 ผังงานของตัวรับและตัวทวนสัญญาณ

จากรูปที่ 6 (ซ้าย) แสดงผังงานของหากอุปกรณ์ตัวรับมีสถานะ การใช้งานปกติ บนหน้าจอจะขึ้นคำว่า “Running” เมื่ออุปกรณ์ได้รับแพ็กเกต และมีข้อความตรงกับค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์จะมีเสียงสัญญาณเตือนขึ้นมาและขึ้นไฟเตือนสีแดง หากผู้รับ (เช่น รปภ.) ได้ยินเสียงสัญญาณและต้องการตอบกลับ จะต้องกดปุ่มที่ตัวอุปกรณ์ จากนั้นอุปกรณ์ตัวรับจะส่งจะแสดงข้อความ “Accept Request” บนจอและส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ็กเกต ข้อมูลที่มีข้อความ “Accept” กลับไปยังตัวส่ง เพื่อเป็นการตอบรับการขอความช่วยเหลือที่ส่งมา ขณะที่รูปที่ 6 (ขวา) แสดงผังงานของตัวทวนสัญญาณ หากตัวทวนสัญญาณได้รับแพ็กเกตที่มีข้อความ “ALARM” บนหน้าจอก็จะแสดงคำว่า “Receiver” หลังจากนั้นอุปกรณ์จะส่งต่อแพ็กเกตที่มีข้อความ “Notification” ไปยังตัวรับ ในกรณีที่ตัวทวนสัญญาณได้รับข้อความ “Accept” จะส่งต่อข้อความตอบรับ “Request” ไปยังตัวส่งเพื่อแสดงให้ทราบว่าผู้รับตอบรับการช่วยเหลือ



รูปที่ 6. ผังงานโปรแกรมตัวรับ (ซ้าย) และตัวทวนสัญญาณ (ขวา)

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 วิธีการศึกษา

5.1.1 ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LoRa สำหรับการแจ้งเหตุฉุกเฉิน โดยศึกษา LoRa ที่ใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณที่แตกต่างกัน เช่น 433-510MHz เพื่อหาความถี่ที่เหมาะสมจะนำมาใช้งานในการสื่อสารจริง ในการทดลองเลือกทดลองที่ตึก 5 และตึก 6 เป็นตึกอาคารเรียนรวม ซึ่งจะมีสิ่งกีดขวางรบกวนสัญญาณ เช่น เสาอาคาร ผนังตึกที่หนาบดบังทัศนียภาพ การรับส่งสัญญาณ

5.1.2 ออกแบบอุปกรณ์แบบที่ 1 ทำงานแบบ Point-to-Point สำหรับการแจ้งเหตุฉุกเฉินสำหรับลิฟต์โดยสารมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

5.1.3 พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับแจ้งเหตุฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ทดสอบการใช้งานโดยการจัดมุมและวัดระยะต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

5.1.5 ออกแบบอุปกรณ์แบบที่ 2 ใช้ตัวทวนสัญญาณ เพื่อขยายระยะทางในการส่งสัญญาณ

5.1.6 ทดสอบประเมินผลอุปกรณ์แบบที่ 2

5.1.7 สรุปผลงานวิจัย

5.2 ทดสอบอุปกรณ์แบบที่ 1

5.2.1 ทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์แบบที่ 1 ในที่โล่ง

ผู้วิจัยได้ใช้บอร์ด Lora ESP32 SX1276 ในการทำการวิจัย อุปกรณ์ที่นำมาพัฒนามีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์โดยประมาณ 1,400 บาท ต่ออุปกรณ์ 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยตัวส่ง 1 ตัว และตัวรับสัญญาณ 1 ตัว ผู้วิจัยได้ทำการสอบประสิทธิภาพระยะทางการรับส่งสัญญาณสูงสุด โดยได้ทำการทดสอบในที่โล่ง กำหนดตำแหน่งตัวส่งอยู่ที่ศาลาข้างตึก 7 กำหนดตำแหน่งตัวรับที่ป้อมยามหลัง มอ. (เป้าหมาย) โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง และมีข้อกำหนดในการทดสอบคือ ความถี่ที่ใช้ในการส่ง 433 MHz, 510 MHz กำลังการส่ง 14,17 mwatt (mW) (เป็นกำลังส่งต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถปรับได้) ข้อความที่ใช้ในการส่ง และความถี่ในการส่งข้อความ สำหรับการวัดระยะทางในการส่งผู้วิจัยได้ใช้แอปพลิเคชัน Nike Run Club ดังแสดงในรูปที่ 7 เนื่องจากเป็นแอปพลิเคชันที่มีความแม่นยำสูงใช้วัดระยะทางในการเดินหรือวิ่ง สามารถใช้ได้ทั้งระบบ IOS และ Android เป็นแอปพลิเคชันที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันมีระบบ GPS แบบเรียลไทม์ มีการบอกระยะทางแบบเมตรทำให้ง่ายต่อการใช้ พร้อมทั้งยังแสดงแผนที่ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดระยะทางด้วย

รูปที่ 7. แอปพลิเคชัน Nike Run Club

ผลจากการทดลองประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Lora ESP32 ในที่โล่ง พบว่าความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่ดีที่สุดคือ 510 MHz กำลังการส่ง 17 mwatt (mW) ซึ่งเป็นความถี่และกำลังการส่งสูงสุดที่อุปกรณ์สามารปรับได้ ดังนั้น จากการทดลองในตารางที่ 3 ผู้วิจัยจึงได้นำความถี่ 510 MHz และกำลังส่ง 17 mwatt (mW) มาใช้ในการทดลองในการทดสอบประสิทธิภาพในขั้นตอนต่อไป

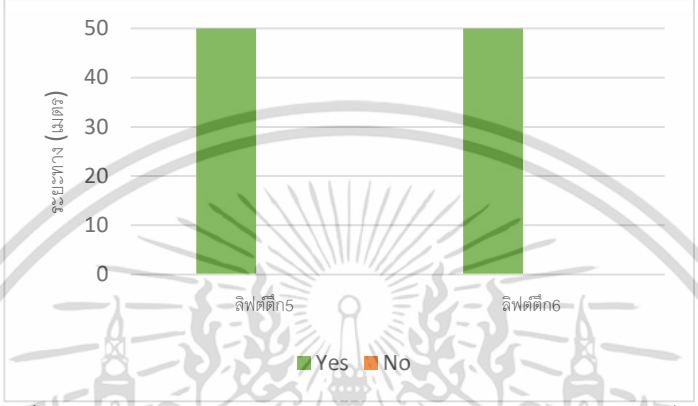
ตารางที่ 3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แบบที่ 1 ในที่โล่ง

ความถี่ที่ใช้ในการส่ง (MHz)	**กำลังการส่ง mwatt (mW)**	**ข้อความที่ใช้ในการส่ง**	**ความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อความ**	**ระยะทาง (เมตร)**
433	14	Help me	1 ครั้ง/5 วินาที	150
	17			200
510	14			200
	17			>200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ทดสอบการส่งสัญญาณของอุปกรณ์แบบที่ 1 ภายในลิฟต์

โดยกำหนดตัวแปรที่สำคัญในการทดลองดังนี้ ตำแหน่งตัว Sender ระยะทางในการส่ง (วัดโดยใช้แอปพลิเคชัน Nike Run Club) และความสำเร็จในการส่งสัญญาณ (การทดลองทำที่ลิฟต์ชั้น 1 เท่านั้น)



รูปที่ 8. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการส่งสัญญาณภายในลิฟต์ของอุปกรณ์แบบที่ 1
*หมายเหตุ: ทดลอง 5 ครั้ง โดยส่งและรับสัญญาณครั้งละ 5 รอบ

ผู้วิจัยได้ติดตั้งตัวส่งสัญญาณที่บริเวณประตูลิฟต์ด้านใน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าได้ระยะทางในการส่งสัญญาณได้ดีที่สุดคือ 50 เมตร ในการทดลองจริงส่วนในระยะที่ 60 เมตร ขึ้นไปนั้นการส่งสัญญาณขาดหาย โดยสาเหตุที่ระยะทางในการส่งลดลงนั้น คาดว่าเกิดจากความหนาของตัวลิฟต์ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณลดลง (ลิฟต์ทั้งสองตึก มีความหนาที่ด้านหน้าประตู 21 เซนติเมตร)

5.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์แบบที่ 1

ในการทดสอบได้กำหนดตัวแปรในการทดสอบดังนี้ ตำแหน่งตัวส่ง ระยะทางในการรับส่งสัญญาณ ความสำเร็จการรับส่งสัญญาณ ระยะเวลาในการส่งสัญญาณ ผลทดสอบประสิทธิภาพของการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 1 ที่ตึก 5 และตึก 6 แสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แบบที่ 1 ในลิฟต์ตึก 5

ความถี่ที่ใช้ในการส่ง (MHz)	Sender - Received	Success/Fail
510	10 เมตร	Success
	20 เมตร	Success
	30 เมตร	Success
	40 เมตร	Success
	50 เมตร	Fail

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 1 ในลิฟต์ตึก 6

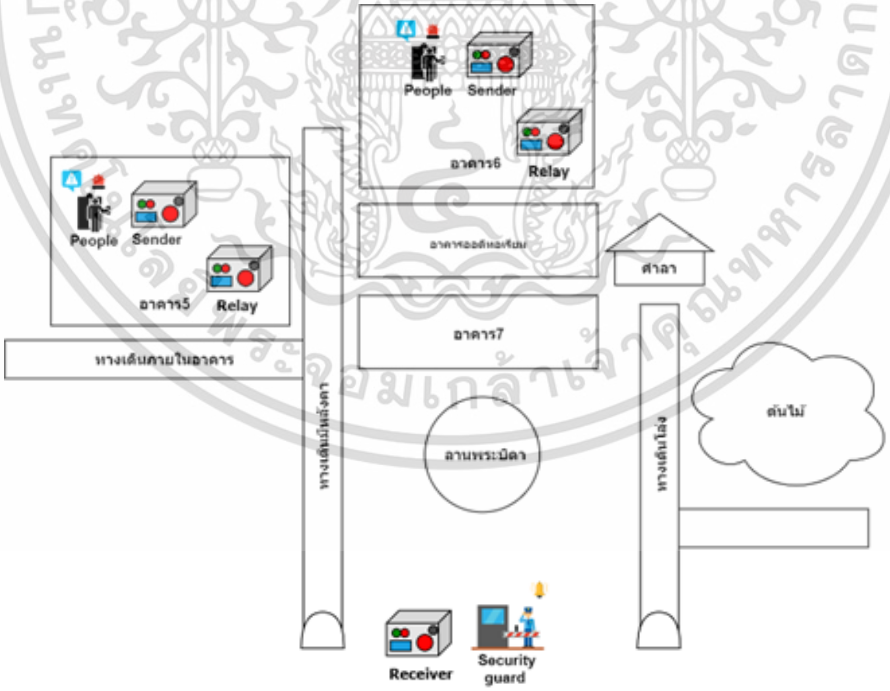
ความถี่ที่ใช้ในการส่ง (MHz)	Sender - Received	Success/Fail
433-510	10 เมตร	Success
	20 เมตร	Success
	30 เมตร	Fail

ในการทดลองรับส่งสัญญาณในพื้นที่โล่งจะได้ระยะทางประมาณ 200 เมตร แต่เมื่อทดสอบในสถานที่จริง จากตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบพบว่าเมื่อทำการส่งสัญญาณภายในลิฟต์ตึก 5 อุปกรณ์สามารถส่งและตอบกลับสัญญาณได้ดีที่สุดในระยะ 40 เมตร และการส่งและตอบกลับสัญญาณภายในลิฟต์ตึก 6 สามารถส่งสัญญาณได้ดีที่สุดในระยะ 20 เมตร

การส่งสัญญาณในที่โล่งสามารถส่งได้ไกลกว่าการส่งสัญญาณจากลิฟต์มายังข้างนอก เนื่องจากความหนาของลิฟต์ที่ลดทอนกำลังสัญญาณ อุปกรณ์ที่ทดสอบใช้เสาอากาศขนาดเล็กทำให้มีกำลังในการรับส่งสัญญาณต่ำ รวมถึงยังมีสัญญาณรบกวนภายในอาคารอีกด้วย และมีสิ่งกีดขวางจากลิฟต์ไปยังป้อมยาม เช่น เสาอาคาร ผนังตึก จึงทำให้ผลการทบสอบได้ระยะทางค่อนข้างต่ำ เพื่อเพิ่มระยะการรับส่งสัญญาณให้ไกลขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการใช้งานอุปกรณ์ทวนสัญญาณเพื่อมาแก้ปัญหาดังกล่าว

5.3 ทดสอบอุปกรณ์แบบที่ 2 (ใช้ตัวทวนสัญญาณ)

ในการทดลองกำหนดความถี่ในการส่งสัญญาณเป็น 510 MHz กำลังการส่ง 17 mwatt (mW) ใช้ตัวส่ง ตัวรับ และตัวทวนสัญญาณอย่างละ 1 ตัว (การทดลองทำที่ลิฟต์ชั้น 1 เท่านั้น)



รูปที่ 9. แผนผังการทดลองอุปกรณ์แบบที่ 2 ใน อาคาร 5 และอาคาร 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์แบบที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาอุปกรณ์โดยประมาณ 2,100 บาท ประกอบด้วยตัวส่ง 1 ตัว ตัวรับ 1 ตัว และตัวทวนสัญญาณ 1 ตัวต่ออุปกรณ์ 1 ชุด ตำแหน่งในการทดสอบตัวส่ง และตัวรับเป็นดังรูปที่ 9 โดยในการทดสอบตัวทวนสัญญาณจะอยู่บริเวณด้านหน้าของลิฟต์

5.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์แบบที่ 2

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แบบที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ในลิฟต์ตึก 5

ความถี่ที่ใช้ในการส่ง (MHz)	Sender - Relay	Relay - received	Success/Fail
510	5 เมตร	10 เมตร	Success
		20 เมตร	Success
		30 เมตร	Success
		40 เมตร	Success
		50 เมตร	Fail

ตารางที่ 7. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ในลิฟต์ตึก 6

ความถี่ที่ใช้ในการส่ง (MHz)	Sender - Relay	Relay - received	Success/Fail
510	10 เมตร	10 เมตร	Success
		20 เมตร	Success
		30 เมตร	Fail

ตารางที่ 8. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบที่ 2 ในลิฟต์ตึก 6

แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
อุปกรณ์แบบที่ 1	1.ใช้เวลาในการรับ-ส่งสัญญาณ 5-7 นาที 2.ต้นทุนต่ำ	1. ส่งสัญญาณไม่ถึงเป้าหมาย
อุปกรณ์แบบที่ 2	1.ส่งสัญญาณได้ระยะทางที่ไกลกว่าแบบที่ 1	1. ใช้เวลาในการรับ-ส่งสัญญาณ ประมาณ 10 วินาที 2 .ต้นทุนสูงกว่า

จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์แบบที่ 2 ที่ใช้งานตัวทวนสัญญาณ 1 ตัว ส่งสัญญาณที่ตึก 5 ได้ระยะเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 45 เมตร และที่ตึก 6 ได้ระยะสูงสุดที่ 30 เมตร ซึ่งดีขึ้น 12.5% และ 50% ตามลำดับ แต่ยังไม่สามารถส่งสัญญาณถึงป้อมยามได้เนื่องจากปัญหาประสิทธิภาพเสาอากาศที่ใช้และปัญหาสิ่งกีดขวางรบกวนสัญญาณ แต่ตัวระบบก็ทำงานได้สมบูรณ์ ถ้าหากมีการเพิ่มตัวทวนสัญญาณในการทดลองเพิ่มขึ้น ก็จะสามารถส่งสัญญาณไปถึงป้อมยามได้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบโดยรวมระหว่างอุปกรณ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะได้ผลดังตารางที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉินในกรณีลิฟต์ติดค้างและนำอุปกรณ์มาทำการทดลองประสิทธิภาพการส่งสัญญาณระยะไกล โดยจะเป็นการส่งสัญญาณผ่านลิฟต์ ที่มีลักษณะแบบ Point-to-Point และแบบที่ใช้ตัวทวนสัญญาณ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าการส่งสัญญาณแบบ Point-to-Point ยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งานจริง ในกรณีที่จุดรับสัญญาณอยู่ไกลกว่าที่กำหนด ในอุปกรณ์แบบที่ 2 ที่มีการใช้ตัวทวนสัญญาณเป็นตัวกลางในการรับส่งสัญญาณ ทำให้สัญญาณสามารถส่งไปได้ไกลมากขึ้น แม้ในการทดลองจะยังไม่สามารถส่งสัญญาณถึงปลายทาง แต่ในอนาคตผู้วิจัยจะทดสอบโดยเพิ่มจำนวนตัวทวนสัญญาณให้มากขึ้น ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการทำงานจริง ก็จะสามารถส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือไปยังจุดรับสัญญาณที่กำหนดได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยจะพัฒนาอุปกรณ์แบบที่ 3 ให้สามารถแจ้งเหตุผ่านไลน์ (LINE) และตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ผ่านเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) ได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Guru. 2562. ทำอย่างไรเมื่อลิฟต์ค้าง. แหล่งข้อมูล : https://guru.sanook.com/8929/. ค้นหาเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2562.

[2] Ge, H., Hamada, T., Sumitomo, T. and Koshizuka, N. 2018. Intellevator: A Context-Aware Elevator System for Assisting Passengers. Proceedings 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), Bucharest, 81-88.

[3] Wang, X., Ge, H., Zhang, W. and Li, Y. 2015. Design of elevator running parameters remote monitoring system based on Internet of Things. Proceedings 6th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), Beijing, 549-555.

[4] Khan, S. and Ullah, K. 2017. Smart elevator system for hazard notification. 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), Karachi, 1-4.

[5] นันทิกา เบญจเทพานันท์, สิริลักษณ์ อนันต์สถิตย์สิน, กนกวรรณ จูประสงค์, เจนจิรา ล้อมจันทร์ และ ปาณิศา ติงหงะ. 2560. การพัฒนาต้นแบบระบบติดตามพิกัดผู้ป่วยอัลไซเมอร์ด้วยอาดุยโน่และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง,* 26(1), 47-56. [Nunthika Benjaithapanun, Siriluck Anansatitzin, Kanokwan Jupasong, Jenjira Lomchan and Panisa Tinghnga. 2017. The Prototype Development of GPS Tracking System for Alzheimer using Arduino and Android Operating System. *Journal of Science Ladkrabang*, 26(1), 47-56. (in thai)]

[6] Olalere, I. O., Dewa, M. and Nleya, B. 2018. Remote Condition Monitoring of Elevator's Vibration and Acoustics Parameters for Optimised Maintenance Using IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technology. Proceedings 31st IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering (CCECE), Quebec City, 1-4.

[7] Wikipedia. 2019. LoRa. แหล่งข้อมูล : https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa. ค้นหาเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2562.

[8] Valach, A. and Macko, D. 2018. Exploration of the LoRa Technology Utilization Possibilities in Healthcare IoT Devices. Proceedings 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Stary Smokovec, 623-628.

[9] Wu, F., Rüdiger, J. and Yuce, M.R. 2018. WE-Safe: A wearable IoT sensor node for safety applications via LoRa. Proceedings 4th IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Singapore, 144-148.

[10] ศราวุธ ชัยมูล และ กมล บุญล้อม. 2561. การประเมินผล IoT LoRaWAN สำหรับเมืองอัจฉริยะ : กรณีใช้ตรวจสอบสภาพแวดล้อม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 41, อุบลราชธานี, 121-124. [Sarawut Chaimoon and Kamol Boonlom. 2018. Evaluation of IoT LoRaWAN for Smart Cities: Environment Monitoring Use-case. The Proceedings of 41st Electrical Engineering Conference (EECON-41), Ubon Ratchathani. 121-124. (in Thai)]

[11] Wu, F., Redouté, J. and Yuce, M.R. 2018. WE-Safe: A Self-Powered Wearable IoT Sensor Network for Safety Applications Based on LoRa. IEEE Access, 6, 40846-40853.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้