

ระบบคัดแยกรูปภาพก่อนส่งข้อมูลแบบหลายช่องสัญญาณด้วยลอรา

Image Classification and Multichannel Transmission with LoRa

วรรณัย สารุพันธ์, นนท เขียวหวาน, สรัช ทอคำพันธ์, สุชัยศรี โลออน, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง และ อนันต์ ผลเพิ่ม*

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
* ผู้รับผิดชอบบทความ
anan.p@ku.ac.th

Received: 16 Jan 2021
Revised: 21 May 2021
Accepted: 31 Dec 2021

บทคัดย่อ

การลักลอบเข้าไปหาผลประโยชน์ในอุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเป็นอันตรายต่อสภาวะแวดล้อมของผืนป่า การปราบปรามป้องกันของเจ้าหน้าที่เป็นไปด้วยความยากลำบากสาเหตุจากพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ยากต่อการเข้าถึง และไม่มีสัญญาณโทรศัพท์สำหรับติดตั้งอุปกรณ์แจ้งเตือน บทความนี้จึงเสนอระบบที่สามารถรายงานผลด้วยรูปภาพจากพื้นที่อนุรักษ์ทางโทรศัพท์โดยใช้เทคนิคการเลือกรูปภาพที่สนใจ และการแบ่งข้อมูลส่งผ่านเทคโนโลยีลอราแบบหลายช่องสัญญาณช่วยให้เจ้าหน้าที่ได้ทราบถึงการบุกรุกได้อย่างทันท่วงที จากการทดสอบระบบในพื้นที่จริงได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ: เทคโนโลยีลอรา การคัดแยกด้วยรูปภาพ การส่งแบบหลายช่องสัญญาณ กระบวนการส่งรูปภาพ

Abstract

Smuggling into national parks and wildlife sanctuaries by poachers is dangerous to the forest environments. It is quite difficult for the officers to cope with caused by the large protected area, harsh walking conditions, and lack of mobile phone signal for installing the monitoring devices. In this paper, "Image Classification and Multichannel Transmission with LoRa" has been proposed. By using picture classification and selection techniques, selected pictures are sliced into small packets before transmitting over multichannel LoRa communication channels within near real-time. After testing in real forest environments, promising results are achieved.

Keywords: LoRa technology, Image Classification, Multichannel Transmission, Image delivery method

1. บทนำ

ปัจจุบันมีผู้ลักลอบเข้าไปในเขตอุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเพื่อหาประโยชน์อย่างผิดกฎหมาย ไม่ว่าจะเป็นการลักลอบตัดเก็บต้นไม้ค่าหรือการล่าสัตว์สงวนในเขตอุทยานฯ ทั้งหมดนี้นอกจากจะเป็นการทำลายธรรมชาติและระบบนิเวศที่อุดมสมบูรณ์ หากไม่มีการป้องกันและจัดการที่ดีอาจเป็นการยากที่จะฟื้นฟูความเสียหายทั้งหมดนี้ในภายหลัง

จากปัญหาข้างต้น ทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้มีการพยายามป้องกันและแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยการติดกล้องถ่ายภาพสนามในจุดเสี่ยงต่าง ๆ แต่กล้องเหล่านี้จำเป็นต้องมีเจ้าหน้าที่เดินทางเข้าไปนำข้อมูลกลับมา จึงไม่สามารถตรวจจับผู้บุกรุกได้ทันท่วงที

ทางผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถถ่ายภาพและสามารถส่งข้อมูลมายังศูนย์กลางเพื่อให้เจ้าหน้าที่ทราบได้อย่างทันท่วงที แต่การจะส่งข้อมูลจากพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณโทรศัพท์และห่างไกลจากชุมชนนั้นจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่สามารถส่งข้อมูลในระยะไกล (มากกว่า 10 กิโลเมตร) ได้ และไม่ควรรใช้พลังงานมากเกินไปในการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง ทางผู้วิจัยเล็งเห็นว่าเทคโนโลยีการส่งข้อมูลด้วยลอรา นั้นมีคุณสมบัติดังกล่าว จึงจะเลือกนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการพัฒนา ลอรา นั้นมีอัตราการส่งถ่ายข้อมูลที่ต่ำ (Low Bandwidth) ไม่เหมาะแก่การส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่อย่างรูปภาพจากกล้องได้ จึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถรับทราบข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การส่งรูปภาพผ่านเครือข่ายภายใต้ข้อจำกัดด้านอัตราการส่งที่ต่ำนั้นมีแนวคิดในการแก้ปัญหาได้หลายทาง การบีบอัดข้อมูลก่อนส่งเพื่อให้ปริมาณข้อมูลที่ต้องการส่งลดลง [1] เป็นวิธีที่นิยมไม่เฉพาะกับการส่งรูปภาพเท่านั้นยังนิยมใช้กับการส่งข้อมูลอื่น ๆ ด้วย แต่เนื่องจากข้อมูลจำพวกรูปภาพนั้นจะมีความพิเศษกว่าข้อมูลชนิดอื่น คือสามารถเลือกส่งข้อมูลแค่บางส่วนจากข้อมูลทั้งหมดได้ เช่น การเลือกรูปที่สนใจทั้งรูป [2] หรือการเลือกสิ่งที่น่าสนใจภายในรูปนั้น แนวคิดที่จะส่งเฉพาะข้อมูลส่วนของรูปที่ต่างออกไปจากการส่งครั้งก่อนเท่านั้นไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลทั้งหมด [3] อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายไร้สายนั้นยังมีความเสี่ยงที่ข้อมูลจะสูญหายไปเพียงบางส่วนและทำให้ต้องส่งข้อมูลส่วนนั้นใหม่ ดังนั้นจึงมีแนวคิดเรื่องการซ่อมข้อมูลที่สูญหายใหม่ที่ปลายทาง [4] เพื่อลดการส่งข้อมูลใหม่ จากหลากหลายวิธีนี้เอง ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าการลดปริมาณข้อมูลตั้งแต่ต้นทางและการลดการประมวลผลที่ส่วนกลางนั้นมีความจำเป็น [5-6] จึงเลือกใช้รูปแบบการประมวลผลรูปภาพในอุปกรณ์ประมวลผลขั้นต้นแล้วจึงเลือกรูปภาพที่สนใจ [2] จากนั้นจะเลือกบางส่วนของภาพ [3] โดยอาจส่งเพียงรูปบุคคลเท่านั้นไปให้ปลายทาง แต่ไม่ดำเนินการสร้างหรือซ่อมแซมข้อมูลใหม่ที่ปลายทาง [4] เนื่องจากเป็นการรวมการประมวลผลไว้ที่ส่วนกลางที่อาจสร้างปัญหาต่อการเพิ่มอุปกรณ์ในระบบใน

ภายหลัง [5-6] รวมถึงเป้าหมายของผู้ใช้ไม่ใช่อุปกรณ์รูปภาพที่คมชัด แต่เป็นการได้ภาพบางส่วนอย่างทันเวลา

ในส่วนของการส่งข้อมูลนั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ระยะทาง ภูมิศาสตร์ที่จะติดตั้งอุปกรณ์ ค่าใช้จ่าย และโครงสร้างพื้นฐานที่มี จากงานของ Aloys Augustin [7] ที่นำเทคโนโลยีลอรามาใช้เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ส่งข้อมูลได้ไกลและใช้พลังงานต่ำ แต่ลอรา นั้นถูกออกแบบมาสำหรับการส่งข้อมูลขนาดเล็กด้วยอัตราการส่งถ่ายข้อมูลที่ต่ำจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการอื่น ๆ เพื่อให้ผ่านข้อจำกัดนี้ไปได้ โดยวิธีดังกล่าวนี้มีหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้ CSMA (Carrier-sense multiple access) กับลอรา เพื่อป้องกันการส่งข้อมูลพร้อมกันและทำให้ข้อมูลเสียหายต้องทำการส่งใหม่ [8] การแบ่งข้อมูลเป็นหลายช่องทางหรือช่องสัญญาณ [9-10] เพื่อให้สามารถส่งถ่ายข้อมูลในอัตราที่สูงขึ้นได้ และการบีบอัดข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลที่ต้องการส่งมีขนาดเล็กลง [1]

จากวิธีการต่าง ๆ นี้ ผู้วิจัยเลือกวิธีการบีบอัดเพื่อลดขนาดข้อมูล [1] และเนื่องจากในการใช้งานจริงแต่ละช่องสัญญาณจะไม่ได้ถูกใช้งานตลอดเวลาจึงจะทำการแบ่งข้อมูลเป็นหลายช่องสัญญาณ [10] เพื่อให้การส่งแต่ละครั้งส่งได้ใกล้เคียงเวลาจริงที่สุด [9]

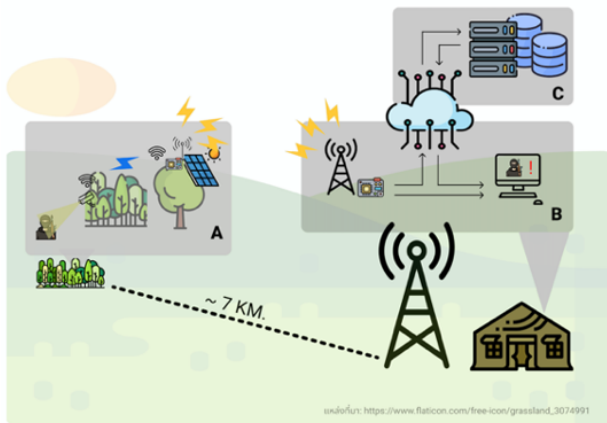
3. รายละเอียดการพัฒนา

จากที่มาและความสำคัญข้างต้นผู้วิจัยเสนอระบบคัดแยกรูปภาพก่อนส่งข้อมูลแบบหลายช่องสัญญาณด้วยลอรา ที่สามารถรายงานผลต่าง ๆ ให้กับเจ้าหน้าที่เพื่อประเมิน เตรียมการ และเข้าดำเนินการกับผู้บุกรุกต่อไป โดยในหัวข้อนี้จะแบ่งเป็น 2 หัวข้อได้แก่ส่วนการพัฒนาโครงงาน และส่วนการประหยัพลังงาน

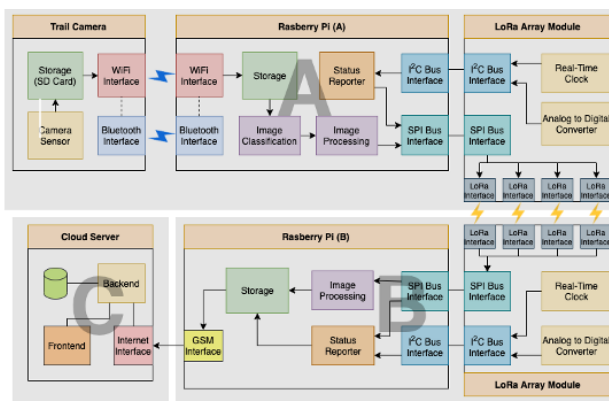
3.1 การพัฒนาโครงงาน

จากข้อมูลในรูป 1 และ 2 สามารถอธิบายลำดับการทำงานในแต่ละส่วนได้ดังนี้

ในส่วน A อุปกรณ์ Raspberry Pi (A) จะดำเนินการติดต่อกับกล้องถ่ายภาพโดยการจับคู่บลูทูธ จากนั้นจึงส่งคำสั่งให้ WiFi ของกล้องถ่ายภาพทำงานดังรูปที่ 3 ด้วยข้อจำกัดของกล้องทำให้ต้องเชื่อมต่อผ่านกระบวนการถ่ายโอนไฟล์ (FTP) เพื่อนำเข้าข้อมูลรูปใหม่จากกล้องถ่ายภาพเท่านั้น



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ



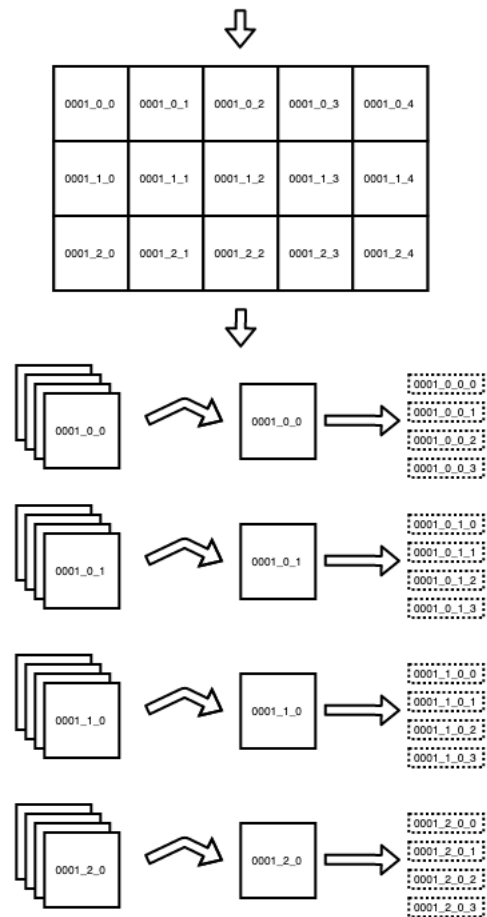
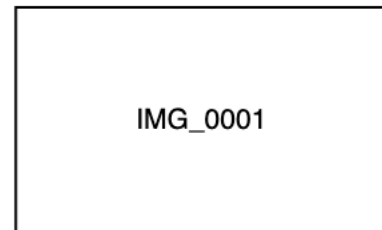
รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 3 กล้องถ่ายภาพสแตนด์เปิดใช้งาน WiFi

เมื่อ Raspberry Pi (A) ได้รับรูปภาพแล้วจะทำการคัดแยกรูปภาพที่สนใจด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ลดขนาดรูปภาพรูปภาพที่สนใจ แบ่งเป็นส่วนย่อยและทำการเข้ารหัสรูปภาพส่วนย่อยเป็นไฟล์ภาพตามมาตรฐาน JPEG วิธีการนี้จะป้องกันไม่ให้รูปทั้งหมดเสียหายหากมีส่วนใดส่วนหนึ่งเสียหายหรือสูญ

หายจะไม่กระทบกับส่วนย่อยอื่น ๆ แต่เนื่องจากการแบ่งเป็นส่วนย่อยจะทำให้ขนาดรวมของรูปภาพขณะส่งมีปริมาณมากขึ้น จึงใช้การเข้ารหัสเป็น JPEG เพื่อให้ส่วนย่อยแต่ละส่วนมีขนาดเล็กลง โดยจะมีการเปรียบเทียบขนาดที่เหมาะสมในหัวข้อต่อไป

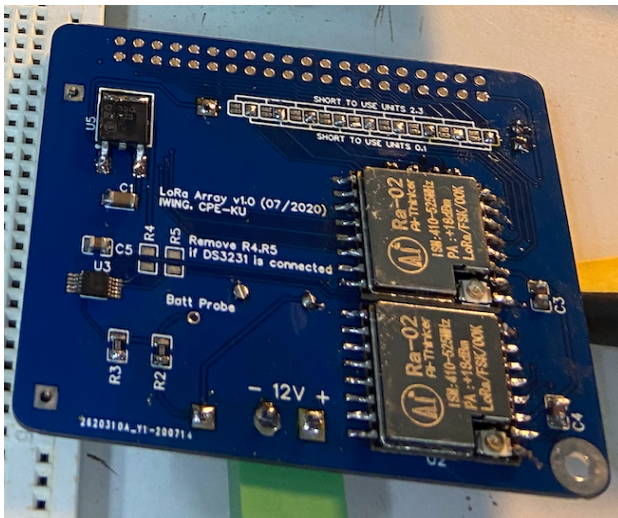


รูปที่ 4 การแบ่งส่วนรูปภาพและแพ็กเก็ตลอรา

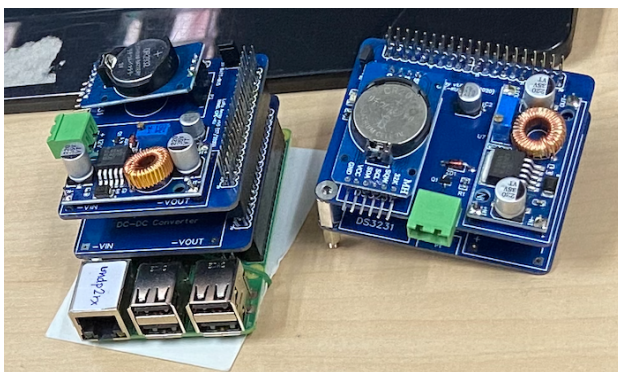
หลังการจัดการรูปภาพเสร็จสิ้น จะนำรูปภาพส่วนย่อยแต่ละส่วนมาแบ่งเป็นแพ็กเก็ตขนาดที่สามารถส่งผ่านลอราตามที่ได้เลือกไว้ดังรูปที่ 4 จากนั้นทำการเพิ่มแพ็กเก็ตเฮดเดอร์ให้แก่แพ็กเก็ตโดยมีโครงสร้างดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แพ็กเก็ตเฮดเดอร์ของแต่ละแพ็กเก็ตลอรา

ลำดับไบนารี	ข้อมูล
0 – 1	รหัสรูปภาพ
2	ตำแหน่งส่วนย่อยในแนวระนาบ
3	ตำแหน่งส่วนย่อยในแนวระดับ
4 – 5	ลำดับของข้อมูลของส่วนย่อย
6 เป็นต้นไป	ข้อมูลรูปภาพส่วนย่อยหลังถูกแบ่ง



รูปที่ 5 อุปกรณ์ LoRa Array Module



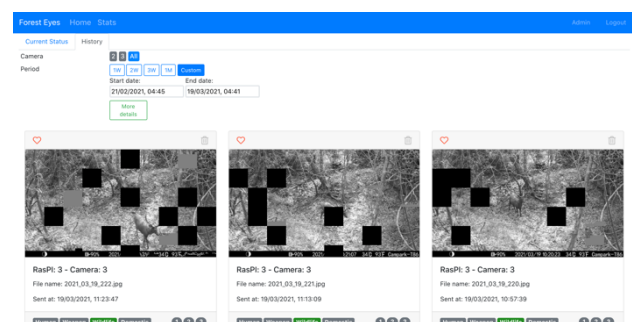
รูปที่ 6 LoRa Array Module หลังเชื่อมต่อ Raspberry Pi

ในการส่งข้อมูลผ่านลอรา นั้นจะใช้โมดูล RA-02 จำนวน 4 ชุด ที่ติดตั้งบน LoRa Array Module ดังรูปที่ 5 โดยทำการเชื่อมต่อผ่าน SPI Bus เดียวกันจากอุปกรณ์ Raspberry Pi (A) ดังรูปที่ 6 เพื่อส่งข้อมูลด้วยลอราผ่าน 4 ช่องสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในทุก ๆ ช่วงเวลาที่กำหนดจะติดต่อไปยังอุปกรณ์ ADC บน LoRa Array Module โดยใช้เป็นอุปกรณ์รับ

ADS1115 สำหรับวัดความต่างศักย์ของแหล่งพลังงานขาเข้าของอุปกรณ์ผ่าน I2C Bus จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลพร้อมกับลำดับของรหัสรูปภาพล่าสุด เวลาล่าสุดที่ติดต่อกำลังถ่ายภาพ รหัสรูปภาพล่าสุดที่ส่งผ่านลอรา เวลาล่าสุดที่ทำการส่งรูปภาพผ่านลอรา และอุณหภูมิ ณ ขณะนั้นของอุปกรณ์ ส่งข้อมูลผ่านลอราด้วยเช่นกัน

ในส่วน B หรือส่วนที่ทำการรับข้อมูลลอรา นั้นจะใช้ อุปกรณ์ Raspberry Pi (B) เชื่อมโมดูล LoRa Array Module เหมือนส่วน A แต่ให้อุปกรณ์ลอราอาร์รับข้อมูลจากลอราแทน โดยหากมีอุปกรณ์ใดได้รับข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณขัดจังหวะ (interrupt) มายัง Raspberry Pi (B) เพื่อทำการส่งต่อข้อมูลเข้ามายัง Raspberry Pi (B)

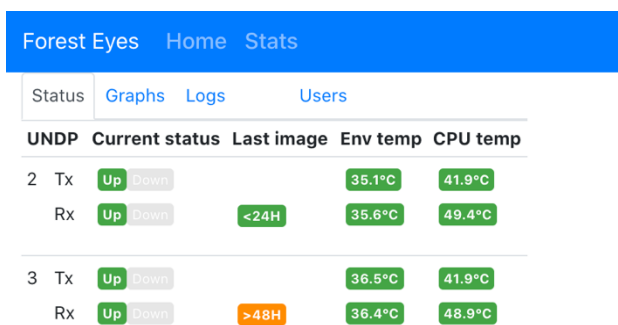
เมื่อได้รับข้อมูลมาแล้วอุปกรณ์ Raspberry Pi (B) ทำการอ่านข้อมูลแพ็กเก็ตเกิดแฮดเดอร์เพื่อแยกข้อมูลการรายงานสถานะอุปกรณ์กับข้อมูลรูปภาพ จากนั้นทำการจัดเก็บข้อมูลดิบที่ได้ในรูปแบบของ “รหัสรูปภาพ -> ตำแหน่งรูปภาพส่วนย่อย x, y -> ลำดับข้อมูลในรูปภาพส่วนย่อย” โดยทุก ๆ ช่วงเวลาที่กำหนดให้ จะทำการรวมข้อมูลรูปภาพส่วนย่อยที่สุดตามลำดับให้เป็นรูปภาพส่วนย่อยอีกครั้ง จากนั้นจัดวางรูปภาพส่วนย่อยตามตำแหน่งที่ถูกต้องจึงได้ผลลัพธ์เป็นรูปภาพเดิมก่อนการแบ่งส่วน จากนั้นส่งรูปภาพดังกล่าวและข้อมูลสถานะของแต่ละอุปกรณ์ไปยังเครื่องแม่ข่ายผ่านเครือข่าย 3G/4G ด้วย 3G/4G USB Module



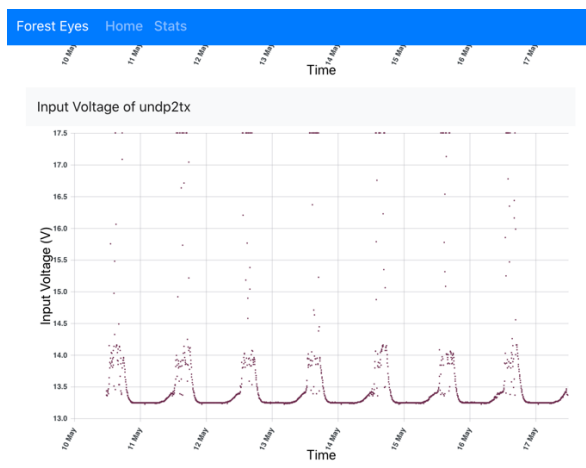
รูปที่ 7 เว็บไซต์รายงานรูปภาพจากพื้นที่จริง

ในส่วน C นั้น สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ Backend และ Frontend

- ส่วน Backend จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากส่วน B ผ่าน HTTP/HTTPS REST APIs ทั้งข้อมูลรูปภาพและสถานะของอุปกรณ์แต่ละส่วน จากนั้นบันทึกข้อมูลที่รับลงฐานข้อมูลและเตรียมข้อมูลและสนับสนุนการทำงานกับส่วน Frontend
- ส่วน Frontend พัฒนาขึ้นในรูปแบบของเว็บไซต์จะติดต่อไปยังส่วน Backend ผ่าน HTTP/HTTPS REST APIs เพื่อยืนยันการเข้าสู่ระบบ แสดงข้อมูลรูปภาพดังรูปที่ 7 และแสดงสถานะอุปกรณ์แต่ละส่วนดังรูปที่ 8



(ก.) สถานะอุปกรณ์ ณ ขณะนั้น



(ข.) ข้อมูลพลังงานที่อุปกรณ์ได้รับย้อนหลัง

รูปที่ 8 เว็บไซต์รายงานสถานะของอุปกรณ์

3.2 การประหยัดพลังงาน

เนื่องจากอุปกรณ์ในส่วน A และส่วน B จำเป็นต้องนำไปติดตั้งในพื้นที่ที่จำกัด ที่ไม่สามารถติดตั้งแผงโซลาร์ที่มีขนาดใหญ่ได้ จึงจำเป็นต้องลดการใช้พลังงานในแต่ละส่วนอุปกรณ์ให้ได้มากที่สุด

[11] โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการในแต่ละส่วนเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวดังนี้

ส่วน A ได้ทำการปิดการใช้งานพอร์ตการเชื่อมต่อที่ไม่จำเป็นต่อการทำงานทั้งพอร์ต HDMI USB และ Ethernet ที่ล้วนแต่เป็นพอร์ตที่ใช้พลังงานสูง แต่เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเพื่อทราบสถานะของอุปกรณ์โดยไม่รบกวนการทำงานของบลูทูธและ WiFi ได้นั้น จึงได้มีการใช้โมดูล GW-040 สำหรับเชื่อมต่อบลูทูธผ่านทาง UART Serial ที่ใช้พลังงานน้อยกว่าทดแทนการเชื่อมต่อผ่าน Ethernet

ทั้งนี้ อุปกรณ์ Raspberry Pi ไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานในรูปแบบอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน กล่าวคือวิธีการหยุดการทำงานชั่วคราว (sleep) เพื่อประหยัดพลังงานไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้เพียงพอ จึงใช้การลดความเร็วนาฬิกาของ CPU จากสูงสุดที่ 1.4 GHz เหลือเพียง 0.6 GHz ที่นอกจากจะทำให้พลังงานที่ใช้โดยเฉลี่ยต่ำลงแล้ว ยังช่วยลดอุณหภูมิขณะทำงานของอุปกรณ์ด้วย [12]

ส่วน B โดยภาพรวมนั้น ส่วน B จะใช้วิธีการประหยัดพลังงานคล้ายคลึงกับส่วน A แตกต่างที่ Raspberry Pi (B) นั้นจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านสัญญาณโทรศัพท์ และติดตั้ง LoRa Beacon/Tester ผ่านทาง USB จึงจำเป็นต้องเปิดใช้งานพอร์ตดังกล่าวไว้ โดยจะเพิ่มการปิดการใช้งาน WiFi ของอุปกรณ์แทน

4. การทดสอบการใช้งาน

ในส่วนของการทดสอบการใช้งานนั้นผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอการทดสอบและผลการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือส่วนการทดลองในห้องปฏิบัติการและพื้นที่มหาวิทยาลัย และส่วนการทดลองติดตั้งในพื้นที่จริง

4.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการและพื้นที่มหาวิทยาลัย

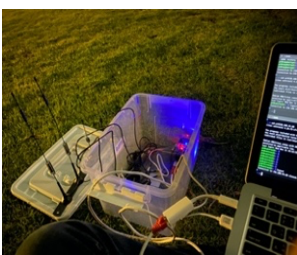
ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบส่วนต่าง ๆ ของระบบ ผลของระยะห่างต่อประสิทธิภาพในการส่งระหว่างอุปกรณ์ดังรูปที่ 9 หรือขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการส่ง โดยในบทความนี้นำเสนอการทดสอบ 2 หัวข้อคือ 1) การประเมินคุณภาพของรูปภาพหลังการลดขนาด และ 2) อัตราส่วนระหว่างขนาดของส่วนย่อยกับปริมาณข้อมูลที่ต้องส่งทั้งหมด

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของรูปภาพหลังการลดขนาด

ขนาดมิติ (พิกเซล)	คุณภาพ JPEG (เปอร์เซ็นต์)	เวลากลางวัน		เวลากลางคืน (อินฟราเรด)		เฉลี่ย	
		ขนาด (ไบต์)	ค่าประเมิน	ขนาด (ไบต์)	ค่าประเมิน	ขนาด (ไบต์)	ค่าประเมิน
427x240	10	3637	2.50	2329	2.30	2983.0	2.40
	15	5482	3.00	3636	2.70	4559.0	2.85
	20	7140	3.50	4967	3.10	6053.5	3.30
	25	8709	3.80	6212	3.40	7460.5	3.60
	50	14737	4.20	11250	3.70	12993.5	3.95
640x360	10	7622	3.90	4891	3.30	6256.5	3.60
	15	12040	4.20	7938	3.70	9989.0	3.95
	20	16069	4.50	10868	3.90	13468.5	4.20
	25	19776	4.70	13714	4.20	16745.0	4.45
	50	33935	4.90	24836	4.50	29385.5	4.70
854x480	10	14503	4.10	9054	3.60	11778.5	3.85
	15	23045	4.60	14575	4.10	18810.0	4.35
	20	30442	4.50	19844	4.20	25143.0	4.35
	25	37276	4.80	24894	4.40	31085.0	4.60
	50	63506	5.00	44516	4.60	54011.0	4.80

ตารางที่ 3 ขนาดของส่วนย่อยต่อปริมาณข้อมูลที่ต้องส่งรวม

ขนาดของส่วนย่อย (พิกเซล)	ขนาดรวม (ไบต์)	จำนวนส่วนที่ถูกแบ่ง (ชิ้น)	โอเวอร์เฮด (เปอร์เซ็นต์)	ขนาดของแต่ละส่วนย่อย (ไบต์)			แพ็กเก็ตต่อส่วนย่อย (แพ็กเก็ต)		
				น้อยที่สุด	มากที่สุด	เฉลี่ย	น้อยที่สุด	มากที่สุด	เฉลี่ย
16x16	168808	920	950.52	161	233	183.49	5	6	5
24x24	84560	405	426.23	172	285	208.79	5	8	6
32x32	57079	240	255.21	164	306	237.83	5	8	6
48x48	35581	112	121.43	183	455	317.69	5	12	8
64x64	26548	60	65.21	303	527	442.47	8	14	12
96x96	21181	28	31.81	420	985	756.46	11	25	19
128x128	18765	15	16.78	1072	1370	1251.00	27	35	32



(ก.) อุปกรณ์ฝั่งส่ง



(ข.) อุปกรณ์ฝั่งรับ

รูปที่ 9 การทดลองผลของระยะต่อประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล

4.1.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการและพื้นที่มหาวิทยาลัย

เนื่องจากจำเป็นต้องมีการลดขนาดและคุณภาพของรูปภาพจึงต้องมีการเลือกขนาดที่เหมาะสม กล่าวคือรูปภาพต้องยังคงคุณภาพไว้ได้โดยมีขนาดที่เหมาะสม [13] จากการทดลองลดขนาดและลดคุณภาพการบีบอัดเพื่อให้ได้ขนาดรูปภาพที่เล็กลงได้

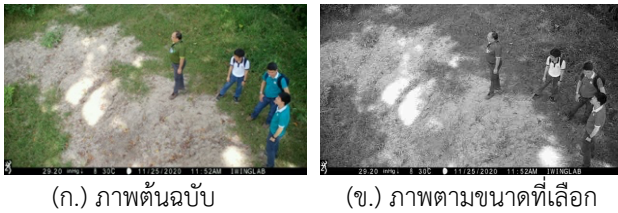
ผลลัพธ์ดังแสดงตารางที่ 2

การทดลองนี้จะให้ผู้ประเมินทำการประเมินรูปภาพกลางวันและกลางคืนแยกกัน เพราะคุณภาพและขนาดรูปภาพที่ถ่ายในเวลากลางวันที่มีแสงจะแตกต่างจากการถ่ายในเวลากลางคืนที่ไม่มีแสง

การประเมินด้วยมนุษย์นั้นจะให้ผู้ร่วมประเมินให้คะแนนในแต่ละรูปโดยมีเกณฑ์ในระดับแย่มาก แย่ ปานกลาง ดี ดีเยี่ยม โดยต้องมีคะแนนเฉลี่ยมากกว่า 0, 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ

จากผลการประเมินผู้วิจัยเลือกรูปภาพขนาด 640x360 พิกเซล และคุณภาพการเข้ารหัสที่ 20% เนื่องจากเป็นรูปภาพที่ขนาดเล็กที่สุดที่ได้รับการประเมินให้อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม โดยสามารถลดขนาดรวมรูปภาพจาก 1,848,832 ไบต์ เหลือ 16,069 ไบต์ คิดเป็นขนาด 0.87% ของขนาดเดิมโดยที่ยังคงคุณภาพรูป

ต้นฉบับไว้ได้ดังรูปที่ 10



(ก.) ภาพต้นฉบับ

(ข.) ภาพตามขนาดที่เลือก

รูปที่ 10 ภาพการลดคุณภาพและมิติของรูปภาพเพื่อขนาด

4.1.2 อัตราส่วนระหว่างขนาดของส่วนย่อยกับปริมาณข้อมูลที่ต้องส่งรวม

เนื่องจากจำเป็นต้องมีการแบ่งรูปภาพใหญ่ให้เป็นรูปภาพส่วนย่อยเพื่อลดโอกาสที่รูปภาพที่ถูกเข้ารหัสจะมีความเสียหายจากการสูญหายข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งไป แต่การแบ่งรูปภาพย่อยนั้น แม้จะมีการเข้ารหัสด้วยมาตรฐาน JPEG แต่ก็เป็นการเพิ่มปริมาณข้อมูลรวมที่ต้องส่งเช่นกัน จึงต้องมีการทดลองเพื่อหาขนาดของส่วนย่อยที่เหมาะสมที่จะทำการแบ่ง ดังที่แสดงในตารางที่ 3



(ก.) ภาพก่อนการแบ่ง

(ข.) รูปส่วนย่อย

รูปที่ 11 ภาพแบบเต็มและแบ่งส่วนย่อย

จากการทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกแบ่งรูปภาพส่วนย่อยเป็นรูปละ 48x48 พิกเซล เนื่องจากการแบ่งที่ขนาดนี้จะได้รูปภาพย่อยหนึ่งภาพที่มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไป หากแบ่งเป็นแพ็กเก็ตที่ขนาด 40 ไบต์ จะแบ่งได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8 แพ็กเก็ต หากใช้ขนาดที่ใหญ่กว่านั้นจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงที่จะมีแพ็กเก็ตใดเสียหายและทำให้ส่วนย่อยนั้นเสียหายทั้งหมด และสาเหตุที่ไม่เลือกขนาดส่วนย่อยที่เล็กกว่านี้เพราะถึงแม้จะลดขนาดเชิงมิติของรูปภาพลงแต่ขนาดเชิงความจุไม่ได้ลดลงมากนัก ยังจำเป็นต้องใช้ 5 – 6 แพ็กเก็ตในการส่งรูปภาพส่วนย่อยแต่ละรูป แต่กลับส่งผลกระทบต่อรูปรวมอย่างมาก จึงไม่สามารถแบ่งรูปภาพให้มีขนาดเล็ก

เกินไปได้ สามารถเปรียบเทียบอัตราส่วนของรูปภาพก่อนการแบ่งและรูปส่วนย่อยได้ดังรูปที่ 11

4.2 การทดลองติดตั้งในพื้นที่จริง

เพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเมื่อระบบถูกนำไปติดตั้งใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ทำการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบในพื้นที่จริง โดยได้รับการอนุเคราะห์จากเจ้าหน้าที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัย ให้เข้าทำการติดตั้งอุปกรณ์ในพื้นที่เขตป่าบริเวณผืนป่าที่ไม่มีสัญญาณโทรศัพท์และ ณ จุดชมวิวนางน้ำ รวมถึงพื้นที่เสี่ยงที่เจ้าหน้าที่ต้องการให้มีระบบแจ้งเตือนไปติดตั้งจริงด้วย

ผู้วิจัยได้ทำการเข้าติดตั้งอุปกรณ์ในพื้นที่เขตป่าแล้วทั้งหมด 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งได้มีการพบปัญหาและได้ทำการแก้ไขปรับปรุงส่วนต่าง ๆ ของระบบดังนี้

4.2.1 การทดลองติดตั้งในพื้นที่จริง ครั้งที่ 1

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบครั้งแรกตั้งแต่วันที่ 24 ถึง 25 พฤศจิกายน 2563 โดยสามารถติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ตามที่คาดไว้ กล้องถูกติดตั้งในจุดที่เป็นจุดเสี่ยงและยากต่อการมองเห็น ดังรูปที่ 12 อุปกรณ์คัดแยกรูปนั้นจะติดตั้งในจุดที่ห่างออกไปที่ปลอดภัยกว่าและพ้นจากสายตาของผู้ไม่หวังดี ระบบทั้งหมดสามารถทำงานได้อย่างสัมพันธ์กันทุกส่วน



รูปที่ 12 กล้องถ่ายภาพสัตว์หลังการติดตั้ง

จากผลการติดตั้งครั้งที่ 1 ได้พบปัญหาคือ ความคมชัดของภาพที่ไม่เพียงพอ การยากในการติดตามแก้ไขหลังอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งไปแล้ว ไม่สามารถการติดตามสถานะการทำงานของระบบได้ และความเสถียรของระบบในการทำงานระยะยาว โดยปัญหาที่พบจะถูกแก้ไขก่อนการทดลองการติดตั้งครั้งต่อไป

4.2.2 การทดลองติดตั้งในพื้นที่จริง ครั้งที่ 2

การติดตั้งครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 22 ถึง 23 ธันวาคม 2563 ผู้วิจัยได้ทำการถอนการติดตั้งอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในครั้งที่ 1 เพื่อนำกลับมาเก็บข้อมูลการทำงาน ณ ห้องปฏิบัติการ และได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ชุดที่ปรับปรุงใหม่ทดแทนเพิ่ม 2 ชุด โดยทั้ง 2 ระบบสามารถทำงานได้ตามการคาดหวัง

ในการติดตั้งครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงส่วนต่าง ๆ ของระบบ ทั้งการทำให้ประเมิณคุณภาพของรูปภาพเพื่อใช้ประกอบการคัดเลือกขนาดรูปภาพดังหัวข้อที่ 4.1.1 การเพิ่มส่วนรายงานสถานะของอุปกรณ์ที่จะส่งข้อมูลทุก ๆ ช่วงเวลาหนึ่งเพื่อใช้ในการติดตามสถานะของอุปกรณ์ และเพิ่มส่วนจัดการข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้นสามารถทำงานต่อได้ด้วยตัวเองในระยะยาวได้

นอกจากนี้ยังได้มีการเพิ่มส่วนเชื่อมต่อแบบไร้สายด้วยโมดูล GW-040 สำหรับเชื่อมต่อบลูทูธผ่านทาง UART Serial ให้กับอุปกรณ์ฝั่งส่งให้สามารถติดตามแก้ไขหลังอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งไปแล้วและยังมีประโยชน์ด้านการประหยัดพลังงานดังหัวข้อที่ 3.2 อีกด้วย



(ก.) ภาพจากจุดติดตั้งที่ 2

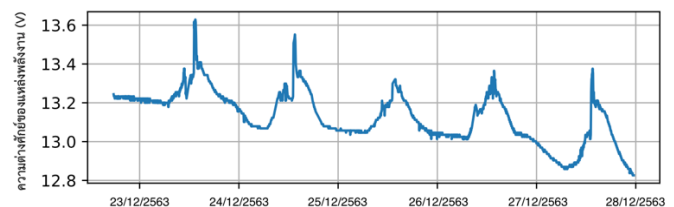


(ข.) ภาพจากจุดติดตั้งที่ 3

รูปที่ 13 ภาพจริงหลังถ่าย คัดเลือก และส่งผ่านลอรา

จากรูปที่ 13 จะแสดงให้เห็นภาพที่ได้จากจุดติดตั้งใหม่ทั้งสองจุด โดยในการติดตั้งครั้งนี้นอกจากระบบจะคัดเลือกรูปภาพบุคคลให้เป็นรูปที่สนใจแล้ว ยังได้เพิ่มรูปภาพสัตว์ให้เป็นรูปภาพที่สนใจเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาพันธุ์สัตว์ป่าตามความต้องการของเจ้าหน้าที่อีกด้วย

ในรูปที่ 13 (ข) จะมีส่วนของรูปภาพที่เสียหายเกิดจากข้อมูลบางส่วนเสียหายไประหว่างการส่งข้อมูลด้วยลอรา แต่จากการออกแบบทำให้ความเสียหายนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนย่อยอื่น ๆ ของภาพ



รูปที่ 14 ความต่างศักย์ของแหล่งพลังงานในแต่ละวัน

ปัญหาที่พบจากการติดตั้งครั้งนี้ได้แก่พลังงานของกล้องถ่ายภาพสัตว์ไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะยาวเนื่องจากไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานใหม่ มีเพียงแบตเตอรี่ภายในกล้องเท่านั้น จำเป็นต้องให้เจ้าหน้าที่เข้าไปทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยครั้งเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานต่อไปได้ นอกจากนี้ จากรูปที่ 14 ซึ่งเป็นการรายงานถึงความต่างศักย์ของแหล่งพลังงานของอุปกรณ์และใช้ในการประมาณพลังงานที่ได้รับหรือพลังงานที่เหลืออยู่ในอุปกรณ์รับข้อมูลทำให้ทราบว่าปริมาณพลังงานที่ระบบได้รับต่อวันจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์นั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานของอุปกรณ์ ทำให้เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง หนึ่งในสองของระบบที่ติดตั้งไม่สามารถทำงานได้ตลอดเวลา สามารถทำงานได้เพียงช่วงเวลาที่ได้รับพลังงานในช่วงกลางวันเท่านั้น

4.2.3 การทดลองติดตั้งในพื้นที่จริง ครั้งที่ 3

ระหว่างวันที่ 23 ถึง 25 กุมภาพันธ์ 2564 ผู้วิจัยได้ทำการเข้าพื้นที่เขตฯ เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบในการติดตั้งครั้งก่อน โดยได้ทำการลดความถี่ในการเชื่อมต่อกับกล้องถ่ายภาพสัตว์และยังเพิ่มคำสั่งในการปิดการเชื่อมต่อของกล้องทันทีหลังการใช้งานเพื่อทำการประหยัดของกล้อง และได้เพิ่มขนาดของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ณ จุดรับสัญญาณลอราเพื่อให้ได้รับพลังงานต่อวัน

มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงโมดูล LoRa Array เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีประโยชน์มาด้วย เช่น กระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์แต่ละส่วนใช้ อุณหภูมิภายในกล่อง อุปกรณ์ ฯลฯ

จากการแก้ไขข้างต้นทำให้กล่องถ่ายภาพสัตว์สามารถทำงานได้นานขึ้น และระบบส่วนอื่นได้รับพลังงานที่เพียงพอต่อการใช้งาน สามารถทำงานต่อเนื่องได้ตลอดเวลา

5. บทสรุป

จากการทดลองในพื้นที่มหาวิทยาลัยและการนำไปติดตั้งจริง ณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง ดังรูปภาพที่ 15 สามารถสรุปได้ว่าระบบสามารถทำงานได้ครบตามจุดประสงค์โดยสามารถส่งข้อมูลรูปภาพผ่านเครือข่ายลอราจากพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณโทรศัพท์มายังเจ้าหน้าที่ได้อย่างทันทั่วทั้งที่ใกล้เคียงเวลาจริง โดยมีระยะห่างระหว่างภาพที่ถ่ายจริงจนถึงการแจ้งเตือนครั้งแรกหรือการเริ่มส่งข้อมูลรูปภาพตั้งแต่ 15 นาทีจนถึง 20 นาที และใช้เวลาในการส่งรูปภาพแต่ละรูปเฉลี่ย 15 ถึง 20 นาทีเช่นกัน โดยในรูปที่ 16 จะแสดงรูปภาพที่ถ่ายได้ในเวลา 4:42 น. และระบบได้รับ ณ เวลา 4:55 น. ในวันเดียวกัน

ผู้จัดทำมีความเห็นว่าโครงการนี้ยังมีแนวทางที่พัฒนาต่อได้อีกหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็น การคัดเลือกอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้น การเพิ่มอุปกรณ์เพื่อใช้ของสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังสามารถใช้ระบบนี้ในการรายงานข้อมูลอื่น ๆ จากพื้นที่อับสัญญาณโทรศัพท์ลักษณะนี้ได้อีก เช่น ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ การรายงานจุดความร้อนในพื้นที่ ฯลฯ



(ก.) แผงโซลาร์และอุปกรณ์



(ข.) อุปกรณ์รับลอรา

รูปที่ 15 อุปกรณ์ฝั่งรับสัญญาณติดตั้งในพื้นที่จริง



RasPi: 2 - Camera: 2
File name: 2021_03_22_372.jpg
Sent at: 22/03/2021, 04:55:12

รูปที่ 16 ภาพหน้าจอรูปภาพและข้อมูลที่ได้รับ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยส่วนหนึ่งจาก United Nations Development Programme (UNDP) ปี 2561 - 2563 ทางทีมวิจัยขอขอบคุณ คุณเพิ่มศักดิ์ กนิษฐชาติ หัวหน้าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง และคุณรุ่ง น้ำแก้ว รวมถึงทีมงานเจ้าหน้าที่ลาดตระเวนเชิงคุณภาพที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าพื้นที่ และช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Turcza and M. Duplaga, "Low-Power Image Compression for Wireless Capsule Endoscopy," 2007 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques, Krakow, 2007, pp. 1-4
- [2] อนิวัตต์ ชลเกียรติภูมิ, อนันต์ ผลเพิ่ม, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, "ระบบตรวจจับและคัดแยกสิ่งมีชีวิตด้วยรูปภาพในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ (Wildlife Detection and Image Classification System for National Reserved Forest)". ECTI-CARD 2020 การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 12. 26-27 พฤษภาคม. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ : หน้า 255-259, 2563.

- [3] David Elliott Slobodin, "Method and apparatus for wireless image transmission to a projector", US7180475B2, February 2007
- [4] S. D. Rane, G. Sapiro and M. Bertalmio, "Structure and texture filling-in of missing image blocks in wireless transmission and compression applications", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 12, no. 3, pp. 296-303, March 2003
- [5] JM. Satyanarayanan, "The Emergence of Edge Computing," in Computer, vol. 50, no. 1, pp. 30-39, Jan. 2017
- [6] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, no. 5, pp. 637-646, Oct. 2016
- [7] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. Townsley, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," Sensors, vol. 16, no. 9, p. 1466, September 2016
- [8] M. O’Kennedy, T. Niesler, R. Wolhuter and N. Mitton, "Practical evaluation of carrier sensing for a LoRa wildlife monitoring network", 2020 IFIP Networking Conference (Networking), Paris, France, 2020, pp. 614-618
- [9] นันทวรรณ หาญวิญญานันท์, อนันต์ ผลเพิ่ม, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง. "ระบบขนส่งรูปภาพระยะไกลในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติแบบใกล้เคียงเวลาจริง (Near Real-time Image Transfer System for National Reserved Forest)". ECTI-CARD 2020 การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 12. 26-27 พฤษภาคม. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ : หน้า 260-264, 2563.
- [10] Y. Guo and Z. Liu, "Time-Delay-Estimation-Liked Detection Algorithm for LoRa Signals Over Multipath Channels", in IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 7, pp. 1093-1096, July 2020
- [11] B. Martinez, M. Montón, I. Vilajosana and J. D. Prades, "The Power of Models: Modeling Power Consumption for IoT Devices," in IEEE Sensors Journal, vol. 15, no. 10, pp. 5777-5789, Oct. 2015
- [12] J. M. Kim, Y. G. Kim and S. W. Chung, "Stabilizing CPU Frequency and Voltage for Temperature-Aware DVFS in Mobile Devices," in IEEE Transactions on Computers, vol. 64, no. 1, pp. 286-292, Jan. 2015
- [13] T. N. Pappas and R. J. Safranek, "Perceptual criteria for image quality evaluation", Handbook of Image and Video Processing (pp. 669-684). Academic Press.