



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ

Static Ad-Hoc Network for Smart Farming Using LoRa Communication

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ หมั่นสกุล

TNI

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ตุลาคม 2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ

Static Ad-Hoc Network for Smart Farming Using LoRa Communication

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. อรรณพ ห่มั่นสกุล

TNI

สนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

บทคัดย่อ

สัญญาเลขที่: 1811/A009

ชื่อโครงการ: การสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ

ชื่อนักวิจัย: รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หมั่นสกุล

อีเมล: annop@tni.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 12 เดือน

การศึกษาวิจัยในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ ด้วยรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ (Things) และรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย LoRa โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ (กรณีศึกษา ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง) ด้วยการทดลองการออกแบบและทดลองกับอาคารภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มนกแอ่นกินรังของศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอบ้านแพรก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

โดยผลจากการวิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ที่สามารถรองรับการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเฉพาะกิจ (Private Network) ด้วยเทคโนโลยี LoRa WAN ที่ระบบสามารถเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น และคำนวณการใช้พลังงานได้ รวมถึงสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังตลอดเวลา เพื่อควบคุมการถ่ายเทอากาศตามหลักการการเกษตรแบบแม่นยำ และนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มนกแอ่นกินรังเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อม และหาข้อสรุปของตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญของสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง เพื่อนำไปออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อม ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ข้อมูลมหาภาค (Big Data) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ให้การสนับสนุนเงินทุนการวิจัยตลอดโครงการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณท่าน อาจารย์ ดร.โสภณ มงคลลักษณ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านเทคนิค รวมถึงขอขอบคุณนักศึกษา นายสุภโชค เกียรติกิตติกุล นายณัฐพัชร์ พัฒโน และนายชรัตน์ จำแสง ที่ช่วยปฏิบัติการทดลองการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ หมั่นสกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย

ตุลาคม 2562

TNI

ผลงานจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1. ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- Suppachok Kiatikitikul and Annop Monsakul, “A Performance Study in NB-IoT Networks through the IoT Platforms in Thailand.” RSU International Research Conference 2019, pp. 408-405, 26 April 2019.

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่)

3. อื่นๆ:

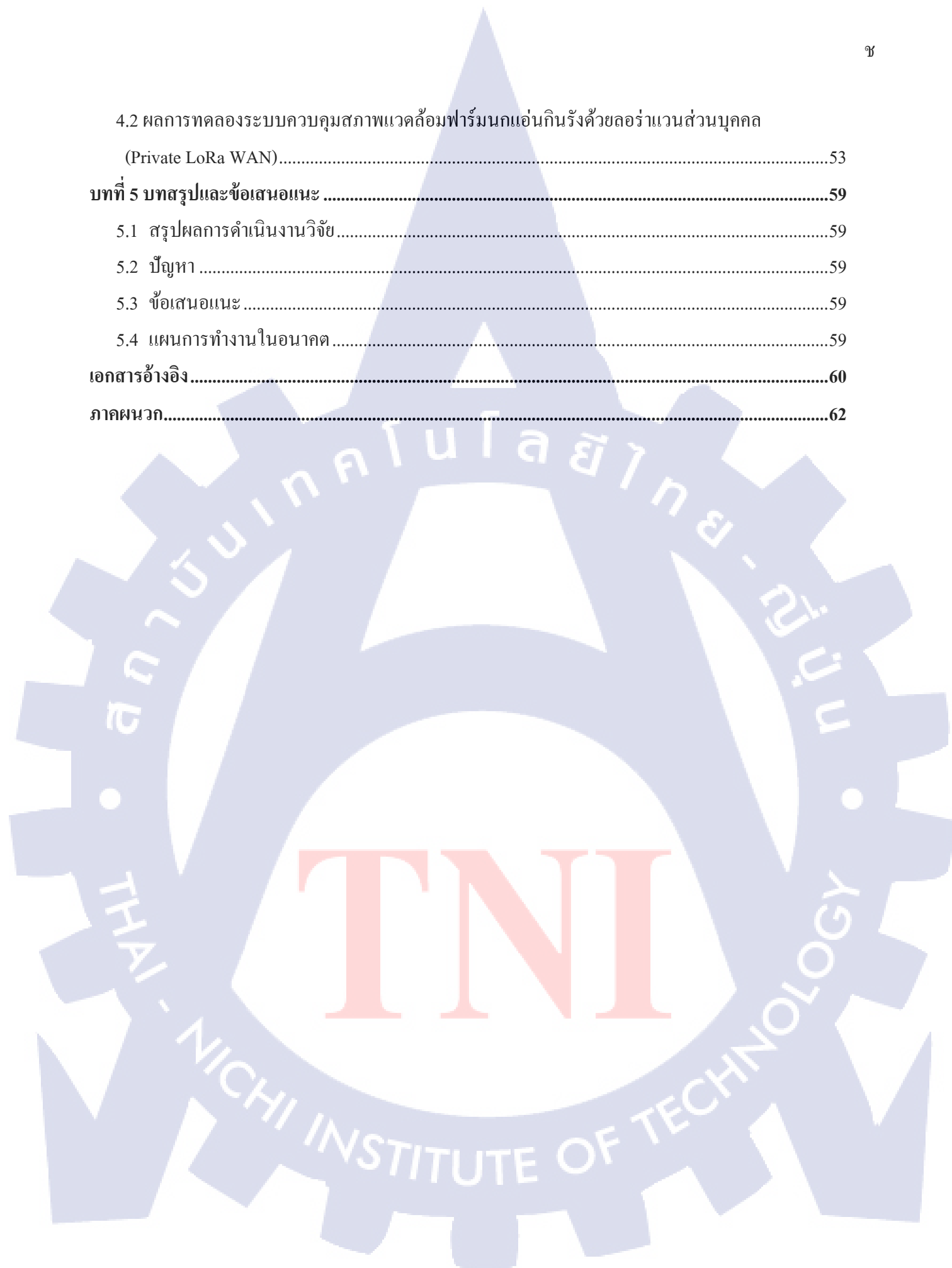
- ปริญญานิพนธ์ เรื่อง “ระบบสังเกตการณ์การใช้ไฟส่องสว่างและเครื่องปรับอากาศในห้องเรียน ด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Monitoring System for Light and Air Conditioning Usage in classroom using Private LoRa WAN)” ของนายณัฐพัชร์ พัฒโน นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย (Performance Analysis in NB-IoT Networks Through the IoT Platforms in Thailand)” ของนายศุภโชค เกียรติศักดิ์กุล นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การเข้ารหัสแบบครบวงจรผ่านแพลตฟอร์ม LoRaWAN แบบเปิด (Providing End-to-End Encryption Over Open LoRaWAN Platform)” ของนายชรัตน์ ขำแสง นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 ในงาน Cisco Innovation Challenge 2019 “Cisco Systems (Thailand) Limited ผู้นำด้านเทคโนโลยีเครือข่ายระดับโลก เชิญมาร่วมสร้างหนทางแก้ปัญหาในรูปแบบของแอปพลิเคชัน โซลูชัน ฯลฯ ด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ IoT หรือ Cybersecurity ให้สังคมดีขึ้นได้ด้วยนวัตกรรมซึ่งเงินรางวัลมูลค่ากว่า 180,000 บาท และโอกาสที่จะไปแข่งขันประชันไอเดียต่อในระดับนานาชาติ”

สารบัญ

บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
ผลงานจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	ง
สารบัญ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิจัย.....	7
2.1 อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง	7
2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	8
2.3 เซ็นเซอร์	8
2.3.1 อนุาล็อกเซ็นเซอร์	9
2.3.2 ดิจิทัลเซ็นเซอร์	10
2.4 อุปกรณ์ RAK 831 LoRa Module และ LoRa Module RAK5205.....	10
2.5 โอฟีรุ่นที่สี่ (Internet Protocol version 4, IPv4)	11
2.6 คลาวด์แพลตฟอร์ม Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)	12
2.6.1 ESP32.....	13
2.6.2 Raspberry Pi.....	14
2.6.3 Arduino.....	14
2.6.4 Arduino IDE	15
2.6.5 C Programming Language.....	15
2.6.6 ภาษา HTML	16
2.6.7 ภาษา PHP	16
2.6.8 SQL.....	17
2.6.9 PostgreSQL.....	18

2.6.10 NoSQL.....	18
2.6.11 MongoDB.....	19
2.6.12 MQTT Protocol	19
2.6.13 Mosquitto.....	20
2.6.14 LoRaWan.....	21
2.6.15 Loraserver.IO.....	22
2.6.16 RAK831.....	22
2.6.17 DHT11 Sensor	23
2.6.18 Light Sensor.....	23
2.6.19 TTN Gateway	23
บทที่ 3 การออกแบบและดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 การออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ สำหรับฟาร์มอัจฉริยะ (ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง)	25
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	31
3.2.1 แผนภาพโครงสร้างภายในของระบบลอราส่วนบุคคล (Private LoRaWAN).....	31
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ภายในระบบ.....	32
3.2.3 การตั้งค่าเกตเวย์บนอุปกรณ์ Raspberry Pi และการติดตั้ง LoRa เกตเวย์เซิร์ฟเวอร์.....	33
3.2.4 การพัฒนาเว็บไซต์.....	41
3.3 การออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราส่วนบุคคล (Private LoRa WAN).....	46
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	47
4.1 ผลการทดลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยลอราส่วนบุคคล (Private LoRa WAN).....	47
4.1.1 หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบ	47
4.1.2 หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบ	48
4.1.3 หน้าจอลบอุปกรณ์ภายในระบบ	49
4.1.4 หน้าจอแสดงผลรวมทุกดัก	49
4.1.5 หน้าจอแสดงผลเฉพาะดัก.....	50
4.1.6 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้อง	51

4.2 ผลการทดลองระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN).....	53
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	59
5.2 ปัญหา	59
5.3 ข้อเสนอแนะ	59
5.4 แผนการทำงานในอนาคต	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	62

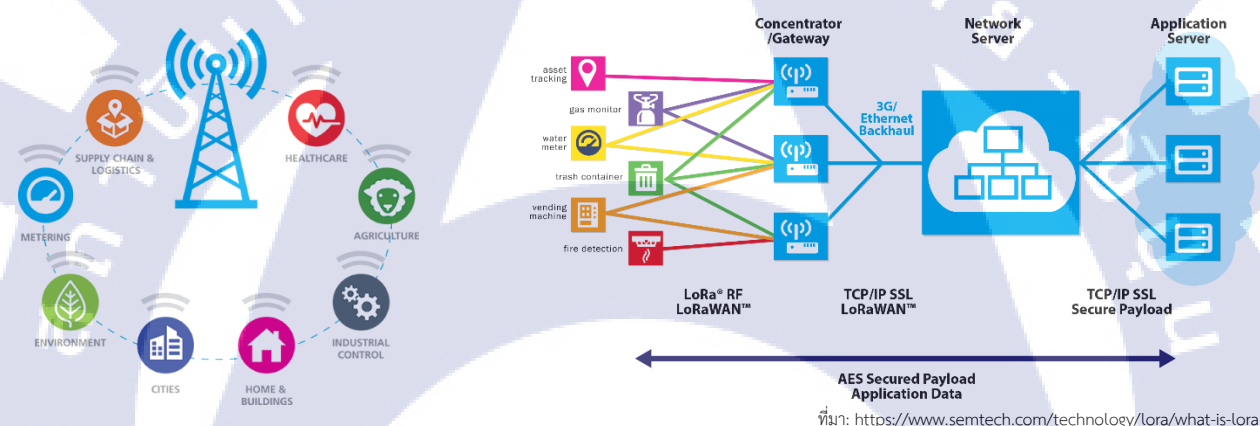


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยี IoT หรือ Internet of Things เข้ามามีบทบาทกับการทำให้อุปกรณ์จะคุยกันเอง สื่อสารกันได้เองได้แล้วทำรายงานหรือแจ้งผลให้มนุษย์ทราบ และได้เห็นคำว่า M2M หรือ Machine to Machine ที่อุปกรณ์คุยกันภาษาเดียวกันได้โดยผ่านภาษามาตรฐาน (Protocol) และเมื่อเทคโนโลยี IoT ต้องการให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารแบบไร้สายได้ในระยะทางไกล จึงเกิดเทคโนโลยีที่ชื่อว่า LoRaWAN (Long-Range Wide Area Network) โดยใช้ความสามารถของ LoRa เพื่อรองรับรูปแบบของการสื่อสารดังกล่าว ตามรูปที่ 1.1

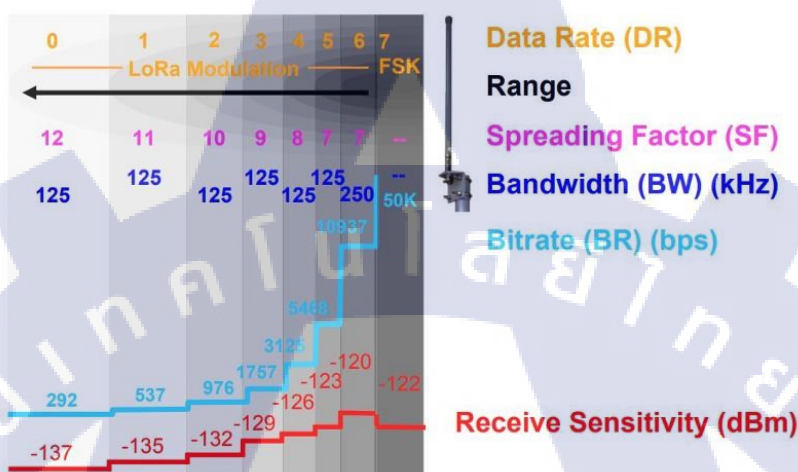


รูปที่ 1.1 ภาพรวมของเทคโนโลยี LoRaWAN

จากรูปที่ 1.1 LoRaWAN แบ่งส่วนประกอบในการเชื่อมต่อออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

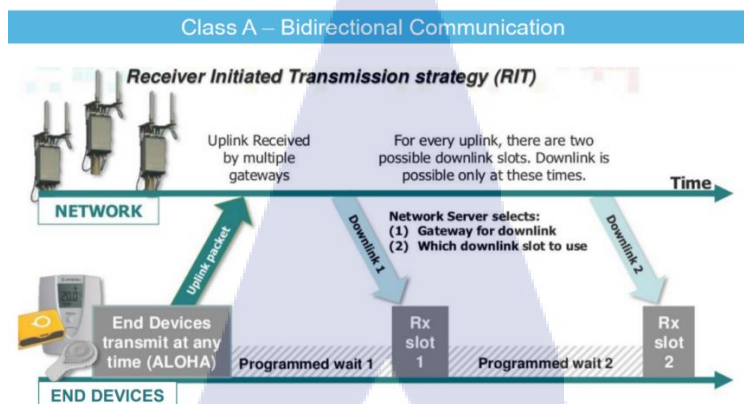
- 1) End-Devices: เชื่อมต่อระหว่าง End-Device จะเชื่อมต่อเข้าไปที่ Gateway
- 2) Concentrator/Gateway: เชื่อมต่อระหว่าง Gateway กับ Network Server จะกระทำผ่านโปรโตคอล UDP
- 3) Network Server: เชื่อมต่อกับ Application Server ผ่าน Standard IP และจัดการเรื่อง Authenticates data ของ End-Devices
- 4) Application Server: ถอดข้อมูลที่รับมาจาก End-device และประมวลผล

Lora มักคำว่า Long Range เป็นเทคโนโลยีสัญญาณการสื่อสารอยู่โดยใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum Technology ซึ่งรูปแบบถูกพัฒนาโดย Semtech Corporation ซึ่งก็มาจากการต้องการการสื่อสารไร้สายที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างไกล โดยใช้พลังงานต่ำ (Lora is the Low Power Wide Area Network: LPWAN) รวมถึงความปลอดภัยในการส่งข้อมูลบนมาตรฐาน LoRaWAN Protocol ตามรูปที่ 1.2



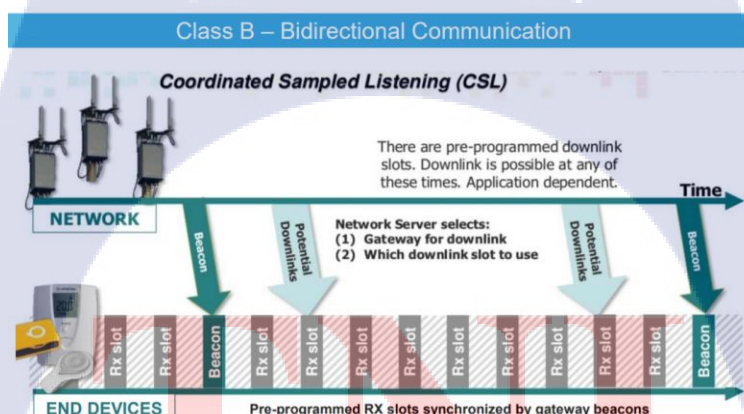
รูปที่ 1.2 Proprietary Spread Spectrum

Long Range เป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายในระยะไกล มีย่านความถี่ EU433 MHz, AS923 MHz และ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่แบบ unlicensed band สามารถใช้งานได้ โดยที่ไม่ต้องขออนุญาต (ถ้ากำลังส่งไม่เกิน 500 mWatt) สาเหตุที่ LoRa ได้รับความนิยม เพราะมีจุดเด่น คือ กินกำลังไฟต่ำ สามารถทำงานโดยใช้แบตเตอรี่ได้หลายปี และยังส่งข้อมูลได้ไกล หลายกิโลเมตร นอกจากนี้ ยังสามารถเชื่อมต่อกับ Gateway เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย Internet อีกทั้งยังสามารถทำ LoRa Localization ในการระบุตำแหน่ง โดยคำนวณจากสัญญาณและระยะเวลาที่ packet รับส่งกับ Gateway ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับการ Localization ทั่วๆ ไป ยังมีจำนวน Gateway เยอะๆ ก็จะระบุตำแหน่งได้แม่นยำมากขึ้น และประหยัดกว่าการใช้ GPS มาก รวมถึงการควบคุมการ Sleep ให้ประหยัดพลังงาน สาเหตุที่ LoRa ประหยัดพลังงาน เนื่องจากตัวอุปกรณ์ จะอยู่ในสถานะ “Sleep” เมื่อไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูล โดย LoRa มีโหมดการทำงาน 3 คลาส (ปัจจุบันนิยมใช้เพียง 2 คลาสคือ A และ B) ดังนี้



รูปที่ 1.3 Class A-LoRa

Class A: เป็นวิธีที่อุปกรณ์ LoRa ส่งข้อมูลไม่บ่อย อยากจะส่งก็ส่งไปเลย (เหมือนหลักการของ ALOHA) เช่น Smoke detector ต้องการส่งข้อมูลไปหาตัวรับ Gateway (Uplink) เมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้น ฝั่งรับ (Gateway) จะส่งข้อมูลรับกลับมาให้ตัวส่ง (downlink) ซึ่งก็ต้องรอช่วงเวลา ที่พอดีกับตัวอุปกรณ์ LoRa เปิดรอรับข้อมูล ข้อดี คือประหยัดพลังงานมาก แต่ข้อเสีย คือ downlink ที่ส่งกลับมามาหาตัวอุปกรณ์ LoRa อาจจะต้องรอเวลาให้พอดีกัน ซึ่งก็มีโอกาสที่ข้อมูลอาจจะสูญหาย หากจังหวะการส่งไม่พอดีกัน ตามรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.4 Class B-LoRa

Class B: เป็นรูปแบบการส่งข้อมูลที่ได้ดีขึ้น เพราะมีการเปิด downlink จาก คลาส A บ่อยขึ้น (ตามรูป) และจะกินพลังงานมากกว่า คลาส A แต่น้อยกว่า คลาส C ตามรูปที่ 1.4

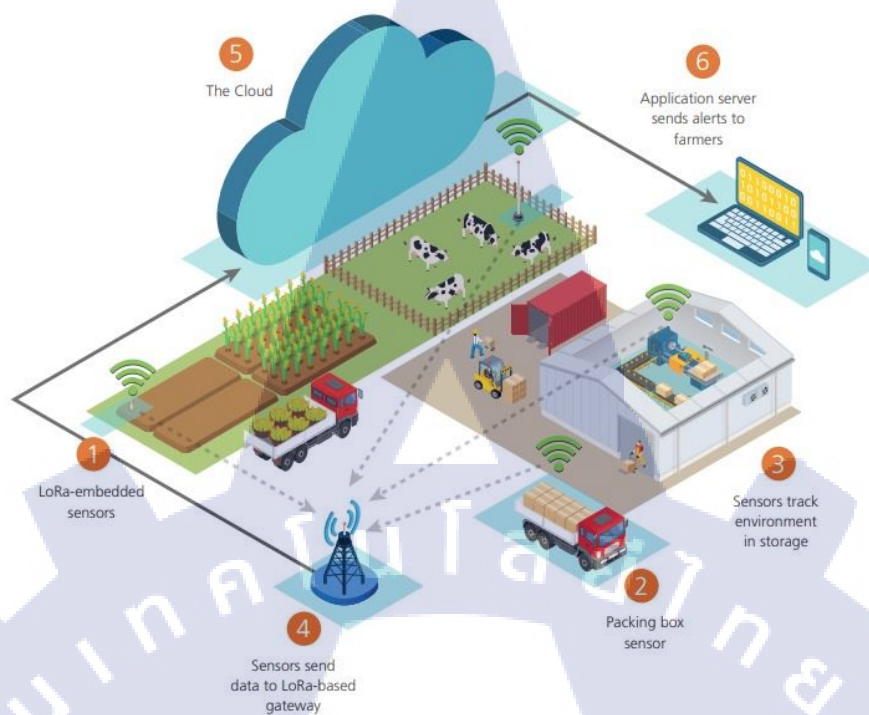
Class C: เปิด uplink/downlink ตลอดเวลา สำหรับงานที่ต้องการความเสถียร แต่กินพลังงานมากที่สุด

จากข้อดีข้างต้น บริษัท กสท โทรคมนาคม (มหาชน) หรือ CAT ตระหนักถึงความต้องการตามนโยบาย Thailand 4.0 จึงได้มีการนำเทคโนโลยีโครงข่าย LoRa (Long Range Network) ซึ่งรองรับการให้บริการ IoT มาติดตั้งและเปิดให้บริการภายใต้ชื่อ “LoRa IoT by CAT” โดยเป็นผู้ให้บริการแบบครบวงจรทั้งระบบตั้งแต่ End-Devices, Concentrator/Gateway, Network Server และ Application Server แต่ทั้งนี้ผู้ใช้งานต้องตรวจสอบพื้นที่ให้บริการก่อนสมัครใช้งาน เนื่องจากปัจจุบันยังไม่สามารถครอบคลุมในหลายอำเภอ/จังหวัด รวมถึงปัญหาการใช้เทคโนโลยีไร้สายในโรงงาน/สถานประกอบการที่มีเครื่องจักรหรืออุปกรณ์กำเนิดความถี่/สัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันอยู่หลายกรณี ทำให้เทคโนโลยี LoRa เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการสื่อสารภายในเครือข่ายส่วนตัวนั้นๆ

ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการออกแบบและใช้งานสำหรับระบบนิเวศของเครือข่ายส่วนตัว LoRa ที่ใช้ย่านความถี่สาธารณะ 920-925 MHz ตามประกาศของ กสทช. โดยจะทำการออกแบบตามสถาปัตยกรรมของ LoRaWAN ซึ่งประกอบไปด้วย

- 1) การ configure อุปกรณ์ (End-Devices) และพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งาน
- 2) การ configure เสารับ-ส่งสัญญาณ (Concentrator/ Gateway)
- 3) การ configure อุปกรณ์ (Network Server)
- 4) การ configure อุปกรณ์ (Application Server)

ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนหลักทั้งหมดนั้นทางคณะผู้วิจัยยังคงต้องเลือกหาอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม รวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่สามารถรองรับการใช้งานที่หลากหลายได้ เช่น รองรับระบบ Agriculture and Food Processing, Asset Tracking, Energy Management & Sustainability, Fall Detection, Waste Management, Water Flow Monitoring เป็นต้น ตามรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 LoRa Technology Is Connecting Our Smart Farming

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- (1) เพื่อการออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ
- (2) เพื่อศึกษารูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ (Things) และรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย LoRa
- (3) เพื่อประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ
- (4) เพื่อใช้เป็นเครือข่ายจำลอง (Testbed) สำหรับหัวข้อปัญญานิพนธ์และวิทยานิพนธ์ ของนักศึกษา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- (1) เนื้อหาของการวิจัย
 - ออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ
- (2) กลุ่มเป้าหมาย หรือ ประชากร
 - อาจารย์และนักศึกษาผู้ร่วมวิจัย
- (3) ระยะเวลา
 - 12 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) สามารถเป็นเครือข่ายจำลอง (Testbed) ที่รองรับการทำวิจัยในเรื่อง Internet of Things (IoT) ด้วยเครือข่าย LoRa ซึ่งผลงานวิจัยทางด้านนี้ยังมีน้อยอยู่มากในปัจจุบัน และสามารถสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่าย
- (2) สามารถเปิดอบรมให้กับผู้สนใจทั้งภายในและภายนอกสถาบันฯ
- (3) สามารถมีผลงานวิจัยที่สามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการหรือวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ อย่างน้อย 1 บทความ



TNI

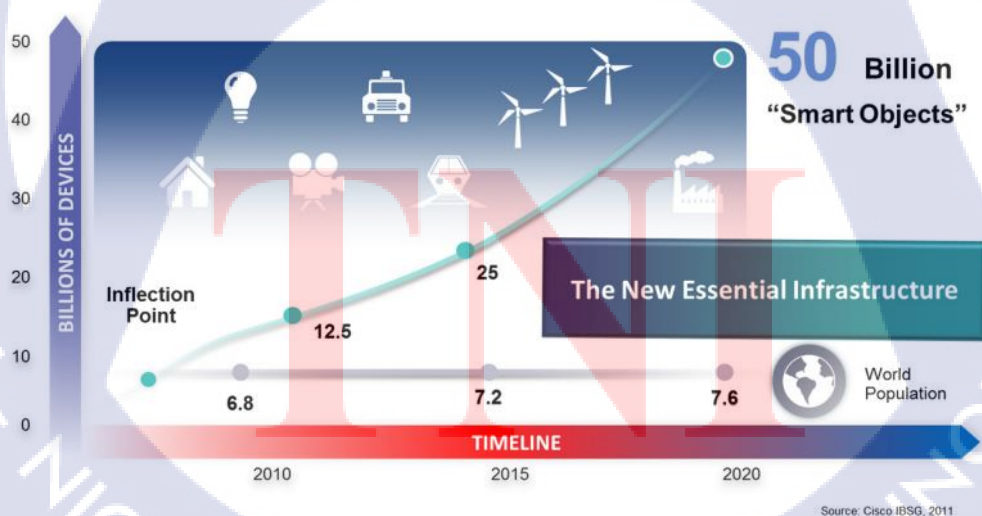
บทที่ 2

ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิจัย

2.1 อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่ง

อินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสิ่งด้วยไอพีรุ่นที่หก (Internet of Things) สร้างขึ้นบนเครือข่ายที่ซับซ้อนเชื่อมต่ออุปกรณ์กว่าพันล้านชิ้นและมนุษย์ เพื่อเข้าใช้งานหลากหลายเทคโนโลยี หลายโปรโตคอล หลายแพลตฟอร์ม โดยจุดประสงค์หลักของ IoT คือ การสร้างโลกอัจฉริยะที่ทั้ง ภายนอก ดิจิทัลและโลกเสมือน สร้างสภาพแวดล้อมอัจฉริยะที่จะทำให้เกิดการกระตุ้น ด้านสุขภาพ การขนส่ง เมือง อุตสาหกรรม ดิจิตอล และสิ่งต่างๆนอกเหนือจากชีวิตประจำวัน

ความคาดหวังต่อการเชื่อมต่อของเครือข่ายอัจฉริยะ เพื่อให้เข้าถึงสารสนเทศได้ไม่ใช่เพียงแค่ทุกเวลาและทุกสถานที่ แต่ยังครอบคลุมถึงทุกสิ่งและทุกคนผ่าน เส้นทาง เครือข่าย บริการต่างๆ ซึ่งจะประสบความสำเร็จโดยมีเป้าหมายที่จะจัดการชีวิตประจำวัน เครื่องมือตรวจวัด ระบุตัวตน อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง โดยสร้างขึ้นด้วยที่อยู่ไอพีเพื่อให้กลายเป็นอุปกรณ์อัจฉริยะ ที่สามารถทำการสื่อสารได้ไม่ใช่เพียงอุปกรณ์อื่นๆแต่ยังเชื่อมต่อกับมนุษย์ได้ด้วย โดยคาดหวังที่จะเข้าไปถึงพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงถ้าไม่มีการพัฒนาสร้างการตรวจวัดและการใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่ง

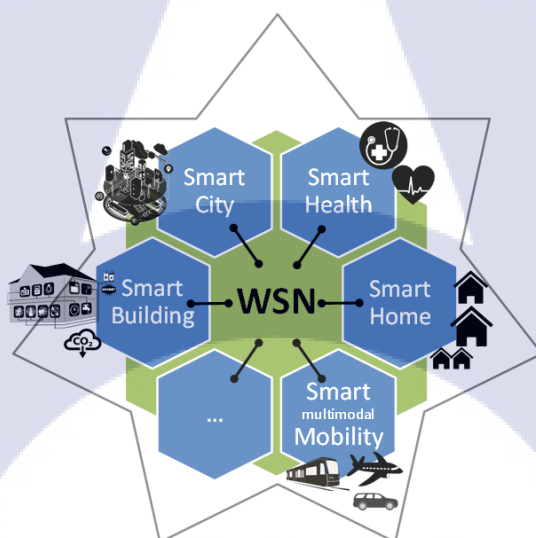


รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในอนาคต

2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensors Network, WSN) คือ โหนดเซ็นเซอร์ขนาดเล็กสามารถตั้งค่าเครือข่ายด้วยตัวเองได้ (เรียกว่า Motes) สื่อสารกันด้วยสัญญาณวิทยุ และถูกนำไปใช้ตรวจจับได้จริง เซ็นเซอร์โหนดเป็นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ทำงานได้หลากหลาย ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลที่มีการประมวลผลที่ถูกจำกัด และหน่วยความจำที่ถูกจำกัด สื่อสารผ่านอุปกรณ์วิทยุ ใช้พลังงาน และเซ็นเซอร์หนึ่งอย่างหรือมากกว่านั้น

โหนด (Motes) จะมีรูปทรงและรูปร่างที่ต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งานสามารถให้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งหากถูกปล่อยให้ใช้งานมากจะต้องมีผลกระทบน้อย สามารถที่จะชาร์จพลังงานเพื่อใช้งานในห้องทดลอง หลากหลายอุปกรณ์ขนาดเล็กที่แตกต่างกัน ในสถานการณ์ที่มีความหลากหลายมากที่สุด เพื่อให้แน่ใจ หลากหลายของการใช้งาน บางแอปพลิเคชันสามารถตรวจสอบ สิ่งแวดล้อม สถาปัตยกรรม สุขภาพและความปลอดภัย



รูปที่ 2.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.3 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์คือตัวแปลงสัญญาณโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับหรือวิเคราะห์ลักษณะของสภาพแวดล้อมโดยให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่วัด

2.3.1 อนาล็อกเซ็นเซอร์

อนาล็อกเซ็นเซอร์โดยทั่วไปจะเชื่อมต่อไปยัง ADC (Analogue to Digital Converter) เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ต่อเนื่องให้อ่านค่าเป็นดิจิทัลในมิลลิโวลต์ คุณภาพและผลลัพธ์ในการวัดจะขึ้นอยู่กับทั้ง ADC และ Sampling Frequency เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สำหรับ Arduino แบบ analog Sensor สำหรับใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้น โดยการอ่านค่าอุณหภูมิและความชื้นออกมาเป็นค่า Analog สำหรับป้อนให้กับ Arduino มีข้อดีเช่น ใช้พลังงานต่ำ มีขนาดเล็ก สามารถวัดอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปติดตั้งได้ง่ายมีตัวยึดจับ ใช้งานง่าย สามารถ calibration ได้อย่างที่ต้องการแม่นยำมากที่สุด มีความไวในการวัดสูง ใช้แรงดัน DC5V อัตราการกินกระแสต่ำเพียงแค่ 2mA (Max 5mA) สามารถวัดอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสามารถวัดได้ตั้งแต่ 20 ถึง 95% และค่าความชื้นผิดพลาดที่ $\pm 5\%$ RH



รูปที่ 2.3 เซ็นเซอร์ความชื้น



รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์อุณหภูมิ

2.3.2 ดิจิทัลเซ็นเซอร์

ดิจิทัลเซ็นเซอร์โดยทั่วไปจะจัดการผ่าน Digital communication protocol เช่น I2C, SPI, 1-Wire, Serial หรือขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โพรโทคอลที่เป็นกรรมสิทธิ์ โดยทั่วไปตามสัญญาอนุญาต ดิจิทัลเซ็นเซอร์นั้นจะมีคำสั่งที่เพิ่มเข้ามา เช่น เปิด ปิด หรือจัดการข้อผิดพลาด

Z1 mote มีดิจิทัลเซ็นเซอร์ 2 อย่างติดตั้งมาแล้วคืออุณหภูมิและความเร่ง 3 แกน

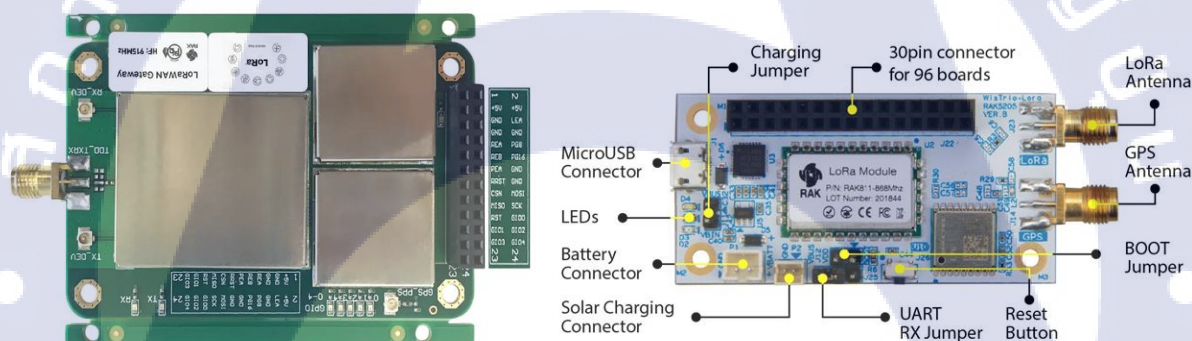
ADXL345 ใช้วัดความเร่งมีตัวอย่างที่ชื่อ test-adxl345.c ใน examples/zolertia/z1 ที่แสดงถึงการทำงานของเซ็นเซอร์

TMP102 เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบดิจิทัล ซึ่งติดตั้งมาบน Z1 แพลตฟอร์มมีความแม่นยำ +/-5 เซลเซียส และสามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่จาก -25 เซลเซียส ถึง 85 เซลเซียส ซึ่งตัวอย่าง examples/zolertia/z1/test-102.c จะแสดงถึงการทำงานของเซ็นเซอร์

External digital sensor สามารถเชื่อมต่อกับ Z1 ได้

SHT25 Humidity and Temperature ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นด้วยเซ็นเซอร์ตัวเดียว

2.4 อุปกรณ์ RAK 831 LoRa Module และ LoRa Module RAK5205



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ RAK 831 LoRa Module และ LoRa Module RAK5205

RAK831 เป็นอุปกรณ์ Gateway LoRa ที่มี LoRa Module อยู่ในตัว จึงรองรับการทำงานผ่าน LoRaWAN Protocol โดย RAK831 จะต้องเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi ได้ ทำให้ Raspberry Pi มีความสามารถในการส่งและรับค่าผ่าน LoRaWAN ได้ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในการพัฒนาแพลตฟอร์มเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในโครงข่ายนี้ RAK831 มีจุดเด่นที่น่าสนใจหลายอย่างเช่น มีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ไร้สายอื่น ๆ มีมาตรฐานที่ใช้งานยาวนานความถี่ต่าง ๆ ได้ทั่วโลก ใช้พลังงานต่ำมากทำให้ยืดยอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้หลายปี มีระยะการส่งที่ไกลถึง 15 กิโลเมตรในชนบทและในเมือง เป็นต้น

RAK831 จะมาพร้อมกับเสารับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุในย่านต่าง ๆ โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้ทำหน้าที่เป็น Gateway ที่รับข้อมูลผ่าน LoRaWAN เข้ามาจาก LoRa Node และประมวลผลข้อมูลเพื่อส่งไปยัง Network Server หรือส่งข้อมูลจาก Network Server ผ่าน LoRaWAN กลับไปยัง LoRa Node เพื่อควบคุมอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Node

LoRa Module RAK5205 เป็น โมดูล End Node สำหรับการสื่อสารแบบไร้สายผ่านเทคโนโลยี LoRaWAN โดยถูกพัฒนาจากตัวรับส่งสัญญาณ Semtech SX1276 ของบริษัท Semtech เจ้าของลิขสิทธิ์ LoRaWAN Technology ทำงานโดยการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่อิสระ มีระยะการส่งที่ไกลถึงได้สูงสุด 15 กิโลเมตร ใช้พลังงานต่ำมาก

ในโครงการวิจัยนี้จะใช้ LoRa Module RAK5205 เป็น End Node ในเครือข่าย LoRaWAN โดย RAK5205 ตัวหนึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์และส่งไปยัง Gateway และ RAK5205 อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจาก Gateway และสั่งการทำงานระบบควบคุมสภาพแวดล้อม

2.5 ไอพีรุ่นที่สี่ (Internet Protocol version 4, IPv4)

ไอพีรุ่นที่สี่ เป็นอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol, IP) รุ่นที่สี่ โดยไอพีจะอยู่ในระดับเน็ตเวิร์กเลเยอร์ (Network Layer) ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับแอดเดรสและข้อมูล และควบคุมการส่งข้อมูลที่ใช้ในการหาเส้นทางของแพ็กเก็ต (Package) ซึ่งการหาเส้นทางของไอพี จะทำการหาเส้นทางที่ดีที่สุด และสามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางของข้อมูลในระดับดาต้าลิงก์เลเยอร์ (Data Link Layer)

การเชื่อมต่อไอพี เพื่อทำการส่งข้อมูลจะเป็นแบบ connectionless หรือเกิดการเชื่อมต่อข้อมูลในทุกๆ ครั้งของการส่งข้อมูล 1 คาต้าแกรม (datagram) โดยจะไม่ทราบถึงข้อมูลคาต้าแกรมที่ส่งก่อนหน้านี้หรือส่งตามมา แต่การส่งข้อมูลใน 1 คาต้าแกรม อาจเกิดการส่งได้หลายครั้งในกรณีที่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยๆ (fragmentation) และจะถูกนำไปรวมเป็นคาต้าแกรมเดิมเมื่อถึงปลายทาง

ไอพีแอดเดรสของไอพีรุ่นที่สี่ เป็นระบบ 32 บิต หรือสามารถระบุตัวเลขได้ตั้งแต่ 0.0.0.0 ถึง 255.255.255.255 ไอพีแอดเดรสของไอพีรุ่นที่สี่ จะเขียนโดยใช้เลขฐานสิบจำนวนจำนวนสี่หลักโดยใช้จุดคั่นระหว่างแต่ละหลัก โดยไอพีรุ่นที่สี่ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นคลาสชนิดต่างๆ เพื่อจุดประสงค์การใช้งานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ไอพีแอดเดรสและโฮสในแต่ละคลาส

คลาส	ไอพีเริ่มต้น	ไอพีสิ้นสุด	เน็ตไอดี(บิต)	โฮสไอดี(บิต)
A	0.0.0.0	127.255.255.255	8	24 = 16777216
B	128.0.0.0	191.255.255.255	16	16 = 65536
C	192.0.0.0	223.255.255.255	24	8 = 256
D	224.0.0.0	239.255.255.255	-	มัลติแคส
E	240.0.0.0	247.255.255.255	-	สำรอง

2.6 คลาวด์แพลตฟอร์ม Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)



<http://www.signiant.com/fast-file-transfer-to-amazon-s3/>

รูปที่ 2.6 โลโก้ Amazon Simple Storage Services

Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) คือที่เก็บข้อมูลที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต คุณสามารถใช้ Amazon S3 ในการจัดเก็บและเรียกกลับข้อมูลขนาดใดก็ได้ตลอดเวลา จากที่ไหนก็ได้ที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต คุณสามารถทำสิ่งเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการที่เรียบง่ายและเข้าใจได้กับหน้าเว็บอินเทอร์เน็ตการจัดการของ AWS และคู่มือนี้จะเป็นการทำความเข้าใจกับ Amazon S3 และวิธีการใช้หน้าด้านการจัดการของ AWS ให้สำเร็จด้วยการแสดงขั้นตอนการทำงานดังนี้



<http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/gsg/GetStartedWithS3.html>

รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการทำงานของ Amazon S3

- (1) สมัครเข้าใช้งาน Amazon S3
- (2) สร้างคลังเก็บข้อมูล

- (3) เพิ่มข้อมูลเข้าไปในคลัง
- (4) เรียกดูข้อมูลได้
- (5) สามารถเคลื่อนย้ายข้อมูลได้
- (6) สามารถข้อมูลหรือลบคลังออกได้

2.6.1 ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน โดยราคา ณ ที่เขียนบทความอยู่นี้ มีราคาไม่เกิน 500 บาท (บอर्डพัฒนาสำเร็จรูป) โดยตัวไอซี ESP32 มีสเปกโดยละเอียด ดังนี้

- ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz
- มีแรมในตัว 512KB
- รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16MB
- มาพร้อมกับ WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station-SoftAP และ Wi-Fi direct
- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6V ถึง 3V
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

อุปกรณ์รองรับการเชื่อมต่อคลิสตอล 32.768kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะการใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32 รองรับการเชื่อมต่อับัสต่าง ๆ ดังนี้

- มี GPIO จำนวน 32 ช่อง
- รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ I2C จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
- รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ I2S จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card

2.6.2 Raspberry Pi

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Raspberry Pi Foundation มีคุณสมบัติเด่น คือ ติดต่อและสามารถควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ลักษณะทั่วไปของ Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการใช้งานทั่วไป เช่น ใช้เพื่อทำงานเอกสาร, ดูหนัง ฟังเพลง, ใช้เพื่อการคำนวณต่าง ๆ หรือจะทำงานเป็น Web Server ก็ย่อมได้เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็ก สามารถรับรู้สถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ว่ากำลังทำงานอยู่หรือไม่ และยังสามารถสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานหรือหยุดทำงานก็ได้

บอร์ด Pi 4 ไม่ได้ต่างกับ Pi 3 Model B+ มากนัก แต่มีการอัปเกรดฮาร์ดแวร์อย่างน่าสนใจดังนี้

- CPU ARM Cortex-A72 1.5 GHz Quad-core 64 bit และ รองรับ H.265 Hardware Video Decode
- ตัวเลือกของ Ram คือ 1, 2 และ 4 GB (ราคา 35\$, 45\$ และ 55\$ คอลล่าสหรัฐฯตามลำดับ)
- 1 พอร์ต Gigabit Ethernet
- Bluetooth 5.0
- USB 3.0 x 2 พอร์ต
- USB 2.0 x 2 พอร์ต
- Micro-HDMI x 2 พอร์ต ความละเอียดได้ระดับ 4K

2.6.3 Arduino

Arduino (อาดูโน้ หรือ อาดูยอีโน้) คือ โครงการที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไคลบารีของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายรูปแบบ เพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง สาเหตุหลักที่ทำให้ Arduino เป็นนิยมนมาก เป็นเพราะซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันสามารถโหลดได้ฟรี และตัวบอร์ดทดลองยังถูกแจกแปลน ทำให้ผู้ผลิตจินนำไปผลิตและขายออกตลาดมาในราคาที่ถูกลง

Arduino Board เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลัก ถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่า บอร์ด Arduino, โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ด หรือสเปค เช่น จำนวนของขา รับส่งสัญญาณ, แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

2.6.4 Arduino IDE

Arduino IDE เป็นเครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานได้กับ Arduino ได้ทุกรุ่น โดยภายในจะมีเครื่องมือที่จะเป็นสำหรับติดต่อ Arduino เช่น การค้นหา Arduino ที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกรุ่น Arduino ที่ต่ออยู่เพื่อนตรวจสอบว่าขนาดของโปรแกรมที่เขียน หรือไลบรารีต่าง ๆ ที่ซัฟพอร์ตกับ Arduino รุ่นนั้น ๆ อีกทั้งยังมีโปรแกรมติดต่อผ่านซีเรียลโดยตรงสำหรับคอมพิวเตอร์

2.6.5 C Programming Language

เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมทั่วไป ถูกพัฒนาโดยเดนนิส ริตชี (Dennis Ritchie) เมื่อประมาณต้นปีค.ศ. 1970 เพื่อใช้งานบนระบบปฏิบัติการ UNIX แทนภาษา Assembly ซึ่งเป็นภาษาระดับต่ำที่สามารถกระทำในระบบฮาร์ดแวร์ได้ด้วยความเร็ว แต่จุดอ่อนของภาษา Assembly ก็คือความยุ่งยากในการโปรแกรม ความเป็นเฉพาะตัวและความแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่อง ต่อมาถูกนำไปใช้ในระบบปฏิบัติการต่าง ๆ จนถูกใช้เป็นภาษาพื้นฐานสำหรับภาษาอื่น เช่น ภาษาจาวา Java ภาษาพีเอชพี (PHP) ภาษาซีชาร์ป C# ภาษาซีพลัสพลัส C++ ภาษาเพิร์ล (Perl) ภาษาไพทอน (Python) หรือภาษารูบี้ (Ruby) ภาษาซีเป็นภาษาเขียนโปรแกรมระบบเชิงคำสั่ง (หรือเชิงกระบวนการ) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้แปลด้วยตัวแปลโปรแกรมแบบการเชื่อมโยงที่ตรงไปตรงมา สามารถเข้าถึงหน่วยความจำในระดับล่าง ภาษา C แม้จะเป็นภาษาระดับสูง แต่ก็สามารถใช้เป็นภาษาเครื่องได้เป็นอย่างดี [3]

ข้อดีของ ภาษา C

1. ภาษา C สามารถนำไปใช้ได้บนเครื่องทุก platform ไม่ว่าจะเป็น Intel PC ที่วิ่ง Windows 95 หรือ Windows NT, Windows XP, Windows 7 หรือ แม้แต่ Linux ทั้งเครื่อง Macintosh และ เครื่องเวอร์คสเตชัน ตลอดจนเมนเฟรม เนื่องจากมี compiler ของภาษาซีอยู่ทั่วไป

2. ภาษา C เป็นภาษาที่ง่าย ๆ คือมีแต่ข้อกำหนดในการใช้งานหรือ Syntax แต่ไม่มีฟังก์ชันสำเร็จรูป (Built-in Function) ใด ๆ ดังนั้นหากผู้ใช้ต้องการทำอะไรก็ตาม ต้องเขียนทุกอย่างขึ้นเอง หรือ อาจเรียก Library Functions มาใช้งานโดยฟังก์ชันที่เป็นงานที่ใช้บ่อย ๆ จะถูกรวบรวมไว้ใน Library Functions เช่น การจัดการข้อความ การดำเนินการเกี่ยวกับ Input/Output (I/O) การจองหน่วยความจำ (Memory Allocation) และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน (เช่น GUI เป็น X-Windows หรือ Direct X) การทำเช่นนี้จะทำให้ภาษาซี เป็นภาษาที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย (portable)

เมื่อภาษาซีได้รับความนิยมมากขึ้น จึงมีผู้ผลิต compiler ภาษาซีออกมาแข่งขันกันมากมาย ทำให้เริ่มมีการใส่ลูกเล่นต่าง ๆ เพื่อดึงดูดใจผู้ซื้อ ทาง American National Standard Institute (ANSI) จึงตั้งข้อกำหนดมาตรฐานของภาษา C ขึ้น เรียกว่า ANSI C เพื่อกำหนดมาตรฐานของภาษาไว้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป

2.6.6 ภาษา HTML

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของเอกสารบน Website หรือที่เราเรียกกันว่าเว็บเพจ ถูกพัฒนาและกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) และจากการพัฒนาทางด้าน Software ของ Microsoft ทำให้ภาษา HTML เป็นอีกภาษาหนึ่งที่ใช้เขียนโปรแกรมได้ หรือที่เรียกว่า HTML Application

HTML เป็นภาษาประเภท Markup สำหรับการสร้างเว็บเพจ โดยใช้ภาษา HTML สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Text Editor ต่างๆ เช่น Notepad, Ediplus หรือจะอาศัยโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือช่วยสร้างเว็บเพจ เช่น Microsoft FrontPage, Dream Weaver ซึ่งอำนวยความสะดวกในการสร้างหน้า HTML ส่วนการเรียกใช้งานหรือทดสอบการทำงานของเอกสาร HTML จะใช้โปรแกรม เช่น IE Microsoft Internet Explorer (IE), Mozilla Firefox, Safari, Opera, และ Netscape Navigator เป็นต้น

2.6.7 ภาษา PHP

PHP ย่อมาจาก PHP Hypertext Preprocessor แต่เดิมย่อมาจาก Personal Home Page Tools เป็นภาษาคอมพิวเตอร์จำพวก Scripting language ภาษาจำพวกนี้คำสั่งต่าง ๆ จะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่า Script และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปลชุดคำสั่ง ตัวอย่างของภาษา Script เช่น JavaScript , Perl เป็นต้น ลักษณะของ PHP ที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่น ๆ คือ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นจึงกล่าวว่า PHP เป็นภาษาที่เรียกว่า Server-side หรือ HTML-Embedded Scripting Language นั่นคือในทุก ๆ ครั้งก่อนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งให้บริการเป็น Web Server จะส่งหน้าเว็บเพจที่เขียนด้วย PHP ให้เรา มันจะทำการประมวลผลตามคำสั่งที่มีอยู่ให้เสร็จเสียก่อน แล้วจึงค่อยส่งผลลัพธ์ที่ได้ให้เรา ผลลัพธ์ที่ได้นั้นก็คือเว็บเพจที่เราเห็นนั่นเอง ถือได้ว่า PHP เป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถสร้าง Dynamic Web pages (เว็บเพจที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

PHP เป็นผลงานที่เติบโตมาจากกลุ่มของนักพัฒนาในเชิงเปิดเผยรหัสต้นฉบับ หรือ OpenSource ดังนั้น PHP จึงมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับ Apache Web server ระบบ

ปฏิบัติอย่างเช่น Linux หรือ FreeBSD เป็นต้น ในปัจจุบัน PHP สามารถใช้ร่วมกับ Web Server หลายๆตัวบนระบบปฏิบัติการอย่างเช่น Windows 95/98/NT เป็นต้น

2.6.8 SQL

SQL ย่อมาจาก structured query language คือภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อจัดการกับฐานข้อมูล โดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเป็นระบบเปิด (open system) หมายถึงเราสามารถใส่คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ และ คำสั่งงานเดียวกันเมื่อส่งงานผ่าน ระบบฐานข้อมูลที่แตกต่างกันจะได้ ผลลัพธ์เหมือนกัน ทำให้เราสามารถเลือกใช้ฐานข้อมูล ชนิดใดก็ได้โดยไม่ติดขัดกับฐานข้อมูลใดฐานข้อมูลหนึ่ง นอกจากนี้แล้ว SQL ยังเป็นชื่อโปรแกรมฐานข้อมูล ซึ่งโปรแกรม SQL เป็นโปรแกรมฐานข้อมูลที่มีโครงสร้างของภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพการทำงานสูง สามารถทำงานที่ซับซ้อนได้โดยใช้คำสั่งเพียงไม่กี่คำสั่ง โปรแกรม SQL จึงเหมาะที่จะใช้กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และเป็นภาษาหนึ่ง ซึ่งแบ่งการทำงานได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Select Query ใช้สำหรับดึงข้อมูลที่ต้องการ
2. Update Query ใช้สำหรับแก้ไขข้อมูล
3. Insert Query ใช้สำหรับการเพิ่มข้อมูล
4. Delete Query ใช้สำหรับการลบข้อมูล

ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ระบบจัดการฐานข้อมูลที่สนับสนุนการใช้คำสั่ง SQL เช่น Oracle , DB2, MS-SQL, MS-Access นอกจากนี้ภาษา SQL ถูกนำมาใช้เขียนร่วมกับโปรแกรมภาษาต่าง ๆ เช่น ภาษา c/, Visual Basic , Visual C# และ Java ประเภทของคำสั่งภาษา SQL มีดังนี้

1. ภาษานิยามข้อมูล (Data Definition Language: DDL) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูล กำหนดโครงสร้างข้อมูลว่ามี Attribute ใด ชนิดของข้อมูล รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตารางและการสร้างดัชนี คำสั่ง: CREATE, DROP, ALTER

2. ภาษาจัดการข้อมูล (Data Manipulation Language: DML) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเรียกใช้ เพิ่ม ลบ และเปลี่ยนแปลงข้อมูลในตาราง คำสั่ง: SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE

3. ภาษาควบคุมข้อมูล (Data Control Language: DCL) เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดสิทธิการอนุญาต หรือ ยกเลิก การเข้าถึงฐานข้อมูล เพื่อป้องกันความปลอดภัยของฐานข้อมูล คำสั่ง: GRANT, REVOKE

2.6.9 PostgreSQL

PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) คือ PostgreSQL เรียกได้ว่าเป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุ-สัมพันธ์ (object-relational) แบบ ORDBMS โดยสามารถใช้รูปแบบคำสั่งของภาษา SQL ได้เกือบทั้งหมด นอกจากนี้ยังเป็นระบบฐานข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดของ Open Source ที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ได้มีการพัฒนามาจาก POSTGRES 4.2 โดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (Berkeley Computer Science department, University of California.)

PostgreSQL สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการได้ทั้ง Linux, UNIX (AIX, BSD, HP-UX, SGI Irix, Mac OS X, Solaris, Tru64) และ Windows

ดังนั้น PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) ระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับหลาย ๆ องค์กร เพื่อช่วยในการจัดการฐานข้อมูล ให้เป็นไปตามแผนการดำเนินการที่วางไว้ โปรแกรม PostgreSQL (โพสท์เกรสคิวแอล) เป็นที่นิยมอย่างมากเพราะสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และยังมีการอัปเดตให้ทันสมัยอยู่เสมอ

2.6.10 NoSQL

NoSQL คือ เทคโนโลยีฐานข้อมูลที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานเฉพาะทางบางอย่างที่ SQL ยังไม่สามารถตอบโจทย์ได้ดีเพียงพอ เมื่อพูดถึง NoSQL จะได้ยินชื่อเว็บไซต์ที่ใหญ่ๆ ติดพวงมาลัย เช่น Facebook, Twitter, Four Square, Digg และอื่นๆ ทำให้เรารู้ว่า NoSQL เป็นระบบฐานข้อมูลสำหรับงานที่ต้องรองรับข้อมูลขนาดใหญ่ รองรับการขยายระบบได้ง่าย เป็นต้น

ข้อดีของ NoSQL

- โดยมาก NoSQL มักถูกออกแบบมาให้มี Availability สูงมาก และ Scale ระบบเพื่อรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากได้ง่าย ถึงแม้ระบบจะทำงานร่วมกันข้าม Data Center ก็ตาม
- NoSQL หลายๆ ระบบถูกออกแบบมาสำหรับ Unstructured Data โดยเฉพาะ เช่น ประมวลผล Log, XML, JSON และเอกสารต่าง ๆ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเฉพาะทางแต่ละประเภทสูง

ข้อเสียของ NoSQL

- ส่วนใหญ่แล้ว NoSQL จะทำงานแบบ Non-transactional ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมีความละเอียดสูงและผิดพลาดไม่ได้เลย NoSQL หลายๆ ระบบก็อาจจะไม่เหมาะในหลายๆ กรณี
- การเรียกอ่านข้อมูลขึ้นมาใช้ส่วนใหญ่แล้วจะมี Cost ที่สูงกว่าการใช้ SQL เพราะไม่สามารถเลือกเจาะจงได้ อย่างง่ายๆ ว่าจะเรียกข้อมูลส่วนไหนขึ้นมา ยกเว้นสำหรับงานเฉพาะทางบางอย่างที่คิดว่า SQL แบบชัดเจนมาก (ขึ้นอยู่กับงานที่ทำและเทคโนโลยีที่เลือก) แต่การบันทึกข้อมูลลงไปส่วนใหญ่จะง่ายกว่า SQL

- เทคโนโลยีส่วนใหญ่ไม่มีความเป็นมาตรฐานกลาง ดังนั้นการเปรียบเทียบแต่ละเทคโนโลยีค่อนข้างทำได้ยาก ผู้ใช้งานต้องมีความคุ้นเคยกับการจัดการ Software เหล่านี้ให้ได้ด้วยตัวเอง
- ผู้เชี่ยวชาญที่สามารถสนับสนุนเทคโนโลยีเหล่านี้ในระดับองค์กรได้นั้นยังมีไม่มาก แต่เทคโนโลยี NoSQL นี้กลับมีความจำเป็นมากในการที่องค์กรจะสร้างความแตกต่างในเชิงเทคโนโลยีจากคู่แข่ง

2.6.11 MongoDB

เป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL ตัวหนึ่งซึ่งไม่เหมือนกับ MySQL มีการเก็บข้อมูลแบบข้อมูล คือการเก็บข้อมูลในรูปแบบที่เป็นแบบมีโครงสร้าง โดยมีโครงสร้างแบบทั้งลึกและกว้าง ในแต่ละแถวของฐานข้อมูลสามารถเก็บเป็นแบบอาร์เรย์หลายมิติได้ ไม่แบนราบเหมือน MySQL 1 แถวของฐานข้อมูลที่สามารถแปลงเป็นอาร์เรย์ก็ได้แค่มิติเดียวเท่านั้น

รองรับการทำ Full Index มีข้อดีในการค้นหาได้อย่างรวดเร็วกับข้อมูลที่มีปริมาณมหาศาลและ ค้นหาได้จากข้อมูลในส่วนใดก็ได้

รองรับการขยายขนาดและรองรับการทำงานหนัก ๆ เพราะว่ามันรองรับงานหนัก และ ปริมาณข้อมูลมาก ๆ สามารถขยายขนาดได้อย่างรวดเร็ว ลดข้อจำกัดต่าง ๆ ลง

ทำระบบสำรองได้ง่าย เราสามารถเพิ่มระบบเพื่อทำงานเป็นตัวหลัก ตัวรองหรือว่าเป็นหลาย ๆ ตัวช่วยกันทำงาน ได้อย่างง่าย ๆ ไม่ต้องตั้งค่ามากเท่ากับ MySQL

แก้ไขข้อมูลได้รวดเร็ว หากเราใช้ MySQL แล้วศึกษาลึก ๆ จะพบว่าการดึงข้อมูล อัปเดตข้อมูลจะทำให้ตารางนั้นถูกล็อก จังหวะที่ทำการอัปเดตข้อมูลแต่ว่า MongoDB ไม่เป็นอย่างนั้น

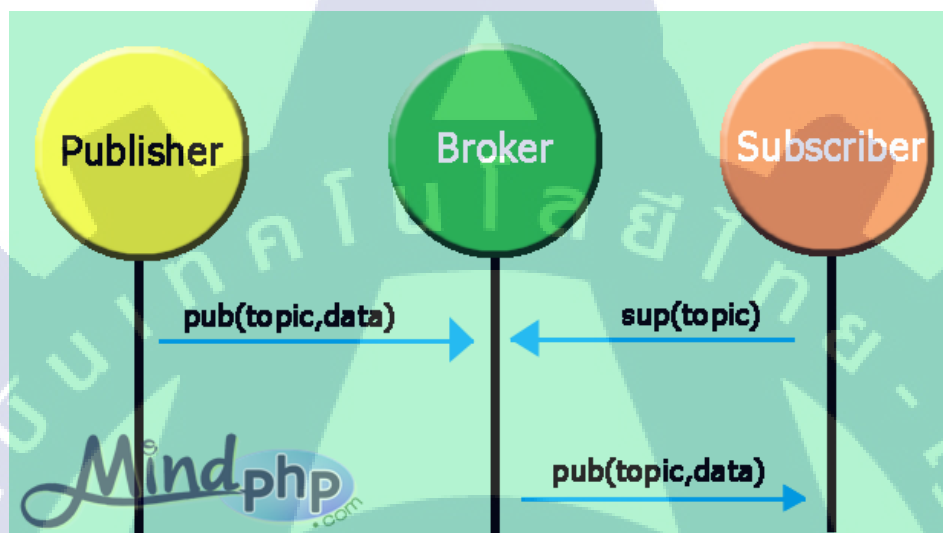
เขียนชุดคำสั่งการทำงานได้ หากเรามีการทำงานหลายขั้นตอนแบบซ้ำ ๆ เมื่อเกิดการทำงานในลักษณะแบบใดเราก็จัดกลุ่มคำสั่งที่ทำซ้ำ ๆ แล้วเขียนเหมือนเป็น script เอาไว้เลย เวลานั้นก็รันทั้งก้อนนี้เลย

เก็บข้อมูลด้วยระบบ GridFS เป็นระบบการเก็บไฟล์บนพื้นที่ฮาร์ดดิสก์ที่เก็บข้อมูลเป็นก้อนๆ และรองรับการเพิ่มหรือลดของปริมาณข้อมูลได้

2.6.12 MQTT Protocol

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็นโปรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ สนับสนุนเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรศัพท์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากที่อื่นได้ เช่นการสั่งปิดเปิดไฟในบ้านจากที่อื่น ๆ

เนื่องจากโปรโตคอลตัวนี้มีน้ำหนักเบา ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนวิธต่ำ ใช้หลักการแบบ publisher / subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ในเว็บเซอร์วิสที่ต้องใช้เว็บเซิร์ฟเวอร์เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่จัดการคิวรับ — ส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber ดังภาพ



รูปที่ 2.8 การทำงานเบื้องต้นของ MQTT

[Ref] : <https://medium.com/@tanakornpiamsin/ติดตั้ง-mqtt-server-d31bcae85d0d>

จากภาพจะเห็นได้ว่า Topic จะเป็นตัวอ้างอิงหลัก ข้อมูลที่จะ Publisher ออกไปยัง Broker จะต้องใช้ topic กำกับไว้เสมอ ทางฝ่าย subscriber ก็จะอ้างอิงถึง topic เพื่อเรียกข้อมูลที่ต้องการ เหมือนกับการสมัครเป็นสมาชิกของหนังสือพิมพ์ฉบับหนึ่ง ชื่อของหนังสือก็เปรียบเหมือน topic และผู้ผลิตก็คือ publisher เมื่อถึงเวลาที่หนังสือเสร็จ ผู้ส่ง Broker ก็จะนำหนังสือพิมพ์มาส่งให้เรา

2.6.13 Mosquitto

Mosquitto คือ Open-source message broker ที่มีการติดตั้ง MQTT โปรโตคอลเวอร์ชัน 3.1 และ 3.1.1 โดย Mosquitto เป็นซอฟต์แวร์แบบน้ำหนักเบาและเหมาะสมสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์ IoT ที่มีการใช้พลังงานต่ำเป็นไปยังการใช้งานรูปแบบเซิร์ฟเวอร์เต็มรูปแบบ MQTT โปรโตคอลมีการใช้โมเดล

publish/subscribe แบบน้ำหนักเบาทำให้เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ IoT ที่มีพลังงานต่ำ เช่น เซอร์ บอน
โทรศัพท์มือถือ บนอุปกรณ์ฝังตัวหรือบนไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6.14 LoRaWan

LoRa เป็นเทคโนโลยีสัญญาณการสื่อสารอยู่โดยใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum technology ซึ่ง
รูปแบบถูกพัฒนาโดย Semtech Corporation

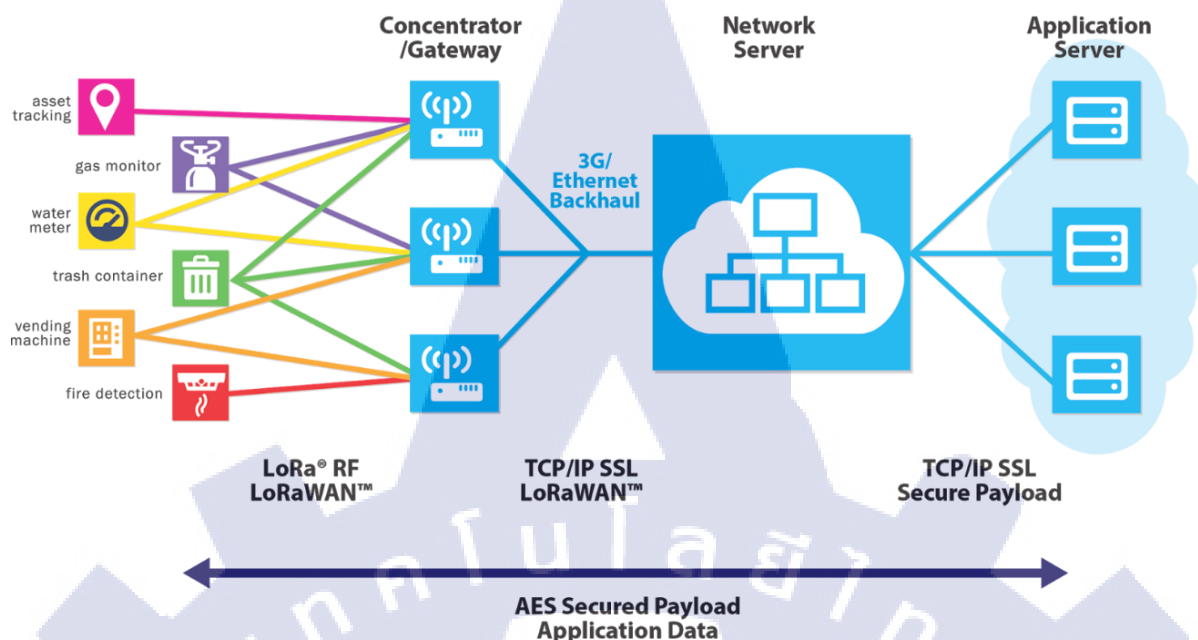
LoRaWan คือ ลอราที่มีการใช้ LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) หรือเครือข่ายสื่อสารแบบ
กว้างที่เน้นใช้พลังงานต่ำ เป็นเทคโนโลยีที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับงานทางด้าน Internet of Things แบ่ง
ออกเป็น 4 ส่วน

- End Device
- Concentrator / Gateway
- Network Server
- Application Server

จุดเด่นของ LPWAN เทคโนโลยีได้แก่

- Secure—Bidirectional Communication
- Simple Star Network Topology
- Low data rate
- Low cost
- Long battery life

TNI



รูปที่ 2.9 แผนผังโครงสร้างภายในของลอราแวน

[Ref]: <https://devopedia.org/lora>

2.6.15 Loraserver.IO

Loraserver.IO คือโปรเจกต์โอเพ่นซอร์สสำหรับการติดตั้งเครือข่าย LoRaWAN โดยมีหน้าจอบริบทอินเตอร์เฟซพร้อมทั้ง gRPC และ Rest APIs โดยส่วนประกอบต่าง ๆ สามารถปรับแต่งได้ระหว่างทำการติดตั้งลอราเซิร์ฟเวอร์หรือหลังจากติดตั้งไปแล้ว ทุกส่วนประกอบจะเป็นลิขสิทธิ์ของ MIT และสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ Loraserver.IO ประกอบไปด้วย 3 ส่วน

1. App Server เป็นแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์แบบโอเพ่นซอร์สทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นโครงสร้างภายในของระบบ ทำหน้าที่รับ join-request และจัดการกับ payloads ต่าง ๆ ของอุปกรณ์
2. Gateway Bridge คือเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่แปลงแพ็คเกจให้เป็น JSON แล้วส่งผ่าน MQTT Protocol ซึ่งเป็นโปรโตคอลแบบ UDP โดยทำหน้าที่สื่อสารกับลอราชิป
3. Network Server เป็นเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์แบบโอเพ่นซอร์ส ทำหน้าที่เป็นตัวสื่อสารกับ Gateway โดยมี Uplink และ Downlink ในการจัดส่งข้อมูล

2.6.16 RAK831

เป็น RF Front-end ของ Lora Gateway โดยสามารถรับค่าได้จากหลายคลื่นความถี่ในเวลาเดียวกัน โดย RAK831 เหมาะสำหรับการพัฒนาลอราอย่างมากเนื่องจากสามารถติดตั้งซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ได้อย่างง่ายดาย

โดยใช้โมดูล USB-SPI FT2232 โดยสามารถนำไปติดตั้งกับอุปกรณ์เพื่อทำหน้าที่ให้เป็น Gateway ได้ โดยตัว RAK831 ต้องการโฮสต์ในการติดตั้งเช่นบน Raspberry Pi หรือ WisAP(OpenWRT Based) หรือโฮสต์สามารถเป็นคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้

2.6.17 DHT11 Sensor

โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT11 Temperature and Humidity Sensor Module) เป็น โมดูลที่สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้นบริเวณรอบๆทั่วไปหรือในห้องหรือประยุกต์ใช้งานอื่นเช่น Testing, Inspection Equipment, Automatic Control, Data Logger, Weather Station, Humidity Regulator ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมและการต่อใช้งานภายนอก สามารถเชื่อมต่อใช้งานกับบอร์ด Raspberry Pi, Arduino, ARM, MCS-51, AVR, PIC มีความถูกต้องแม่นยำให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ Digital Output, การตรวจวัดคงที่กับ DHT11 Sensor, ย่านวัดอุณหภูมิ 0-50 องศาเซลเซียส, ย่านวัดความชื้น 20-90% RH, ง่ายกับการติดตั้งโมดูล สามารถ Fix จุดตรวจวัดได้ง่าย

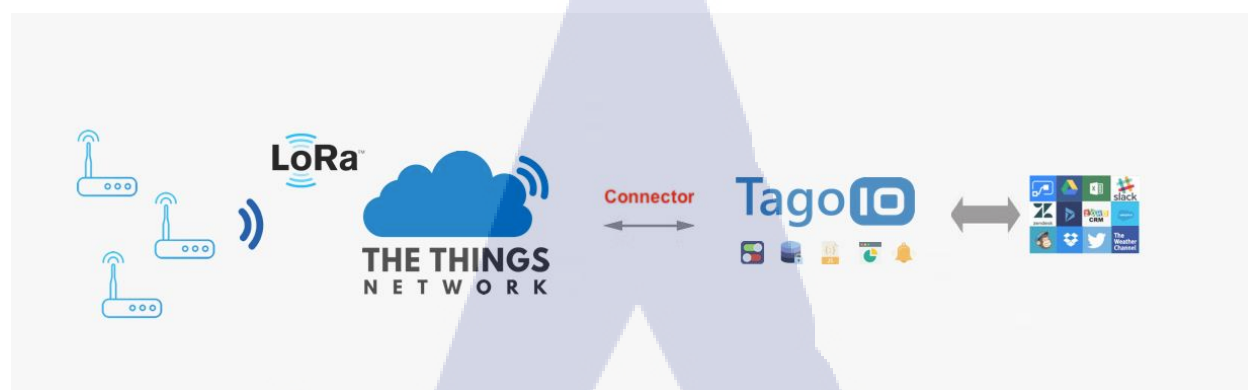
2.6.18 Light Sensor

เซ็นเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical sensor หรือ Photo sensor) โดยทั่วไปใช้ในงานการตรวจจับการเคลื่อนไหว การตรวจจับวัตถุ และการตรวจสอบขนาดรูปร่างของวัตถุ เซ็นเซอร์ชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งและรับแสง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (Emitter) และตัวรับแสง (Receiver) ลักษณะการตรวจจับเกิดจากการที่ลำแสงจากตัวส่งแสง ส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรู้สภาวะที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงสถานะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงส่วนใหญ่นิยมใช้โฟโต้ไดโอด (Photo diode) หรือโฟโต้-ทรานซิสเตอร์ (Photo transistor) ส่วนตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) เนื่องจากการต่อใช้งานร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำได้ง่าย สะดวกในการบำรุงรักษา ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้รับผลกระทบจากสภาวะรอบข้างไม่ว่าจะเป็นสนามแม่เหล็ก ความถี่ ความร้อน ความชื้น หรือการสั่นสะเทือน

2.6.19 TTN Gateway

TTN (The Things Network) ให้บริการเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์และแอปเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้ทุกคนสามารถมาเชื่อมต่อและใช้งานร่วมกันได้ โดย TTN Gateway เป็นไดรฟ์เวอร์ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง RAK831 กับ Raspberry Pi เพื่อให้อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถทำงานร่วมกันได้โดยมีความสามารถในการใช้พลังงานต่ำ ส่งข้อมูลได้ไกลและใช้แบนวิธน้อย



รูปที่ 2.10 The Things Network

บทที่ 3

การออกแบบและดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ (ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง)

เนื่องด้วยรังนกแอ่นเป็นที่นิยมบริโภคมาเป็นเวลายาวนาน จากหลักฐานลายลักษณ์อักษร เรื่องเล่าและโบราณคดีต้องค้นพบว่า กลุ่มชาติพันธุ์ในไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรรังนกหลักของโลก) ได้มีการเก็บใช้รังนกจากแหล่งธรรมชาติเป็นอาหารและยาคู่กับชาติพันธุ์จีนมาไม่น้อยกว่า 500 ปี โดยมีความเชื่อว่ารังนกแอ่นเป็นอาหารและยาที่ช่วยบำรุงร่างกายรวมถึงการรักษาโรคต่างๆ ปัจจุบันจากผลการวิจัยพบว่า รังนกแอ่นมีโปรตีนและเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายหลายประการ จากประโยชน์ดังกล่าว การเก็บรังของนกแอ่นกินรัง (หรือมีชื่อเรียกสามัญโดยทั่วไปว่านกแอ่น หรือนกแอ่นกินรัง ตะโพกขาว) เพื่อการค้าเป็นที่นิยมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นับแต่อดีตกาล แม้ปรากฏว่ามีรังของนกแอ่นกินรังมากกว่าหนึ่งชนิดที่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ หากแต่นกแอ่นกินรังที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Aerodramus fuciphagus* Thunberg, 1812 (BirdLife International, 2016) หรือชื่อพ้อง *Germain's Swiftlet* : *Aerodramus germani* Oustalet, 1876 ถือได้ว่าเป็นชนิดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตของรังที่มีปริมาณการซื้อขายกันมากที่สุดในท้องตลาดของประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับนกแอ่นชนิดอื่นๆ กล่าวได้ว่าผลผลิตรังนกแอ่นกินรังในพื้นที่ธรรมชาติและพื้นที่ส่วนบุคคลเกือบทั้งหมดเป็นรังนกแอ่นกินรังตะโพกขาว ความเชื่อและความนิยมในการบริโภคของรังนกแอ่นกินรังของชาวจีนทำให้เกิดมูลค่าทางการค้าที่สูงยิ่งในบรรดาประเทศที่มีการส่งออกรังนกแอ่นกินรังเป็นสินค้าออก อย่างไรก็ตามกำลังการผลิตรังของนกแอ่นกินรังจากธรรมชาติยังมีปริมาณไม่มากนักเมื่อเทียบกับความต้องการในการบริโภค ส่งผลให้รังของนกชนิดดังกล่าวมีราคาแพงในท้องตลาด ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเลี้ยงนกแอ่นกินรังในพื้นที่ส่วนบุคคลของประเทศต่างๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่ปรากฏว่ามีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติของนกชนิดนี้อยู่ โดยเฉพาะในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม และได้เริ่มแพร่หลายเข้ามาในประเทศไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อุตสาหกรรมการเก็บรังนกแอ่นกินรังเพื่อการจำหน่ายนับได้ว่าเป็นธุรกิจการเกษตรประเภทหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้อย่างมากและต่อเนื่องให้กับประเทศไทย

ธุรกิจฟาร์มนกแอ่นกินรังในประเทศไทย เริ่มต้นช่วงประมาณปี พ.ศ. 2530 ในหลายพื้นที่ทางตอนใต้ที่ติดกับชายแดนประเทศมาเลเซียขึ้นมาถึงจังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีนกแอ่นเข้ามาอาศัยทำรังในบ้านเก่า อาคารร้าง โรงหนังที่ปิดกิจการ หรือแม้แต่ต้นตาลโตคนในทุ่งนาก็มีนกแอ่นอาศัยทำรังอยู่ร่วมต้นเดียวกับ

ค้างคาว โดยที่นกแอ่นมีการอพยพและขยายแหล่งหากินมาจากแหล่งเดิมและมีนกแอ่นจำนวนมากที่อพยพเข้ามาในพื้นที่ที่ไม่ใช่เขตสัมปทานหรือเกาะ/ถ้ำเหมือนเช่นแต่ก่อน ในช่วงเวลานั้นจำนวนบ้านนกที่สร้างขึ้นถือว่ายังมีจำนวนน้อยมากและไม่เป็นที่แพร่หลาย เมื่อเทียบกับจำนวนนกแอ่นที่ต้องการที่อยู่อาศัย จวบจนถึงปัจจุบันได้มีเกษตรกรที่ดำเนินธุรกิจฟาร์มนกแอ่นกินรังในประเทศไทยในหลายภูมิภาค โดยส่วนใหญ่เป็นการสร้างฟาร์มนกในเขตเมืองจึงทำให้เกิดปัญหา เช่น มลพิษทางเสียง มลพิษทางอากาศ พาหะนำโรค บดบังทัศนียภาพ เป็นต้น ดังตัวอย่างเช่นในจังหวัดภูเก็ตที่ได้มีวิธีแก้ไขปัญหา เช่น การกำหนดพื้นที่เลี้ยงนกแอ่นกินรัง การป้องกันโรคระบาด การใช้อาคารปิดประเภท เป็นต้น โดยการแบ่งพื้นที่ตามกฎหมายผังเมืองมีพื้นที่ 4 โซนกำหนดไว้ชัดเจนที่ไม่สามารถเลี้ยงนกนางแอ่นได้ เนื่องจากเป็นสัตว์ป่าคุ้มครองฯ ได้แก่ (1) โซนสีแดง เขตพาณิชยกรรมหนาแน่นมาก (2) โซนสีส้ม เขตพาณิชยกรรมหนาแน่นปานกลาง (3) โซนสีเหลือง ที่อยู่อาศัย (4) โซนสีเขียวอ่อน พื้นที่นันทนาการ หากเป็นพื้นที่นอกโซนดังกล่าวต้องไปพิจารณาตามกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายสาธารณสุข เรื่องก่อเหตุรำคาญ เป็นต้น ในส่วนของปัญหาคุณภาพของผลผลิตรังนกในปัจจุบันก็ยังประสบกับปัญหารังนกไม่ได้คุณภาพ จนทำให้เกษตรกรจำหน่ายได้ในราคาที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ไม่มีความเหมาะสมในแง่ของสภาพอุณหภูมิและความชื้น

การทำธุรกิจฟาร์มนกแอ่นกินรังจะประสบความสำเร็จได้นั้นต้องมียุทธศาสตร์ประกอบที่สำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา คือ สภาพถิ่นที่อยู่อาศัยที่เป็นอาณาเขตหากิน และแหล่งที่อยู่อาศัยสำหรับทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดำเนินการให้ได้บ้านนกตรงตามเงื่อนไขทางด้านชีววิทยาของนกแอ่นกินรัง เพื่อดึงดูดนกให้เข้าอยู่อาศัยในเวลาอันรวดเร็วให้ได้ผลผลิตรังนกแอ่นในเวลาสั้นและได้รังนกแอ่นที่มีคุณภาพจำนวนมาก สภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังที่พึงประสงค์ต้องประกอบด้วย เส้นทางบินที่เหมาะสม ช่องทางเข้า-ออกที่เหมาะสม ความมืดที่เหมาะสม ความปลอดภัยจากศัตรูรบกวน และการเปิดเสียงเรียกนกแอ่น และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสร้างสภาพอุณหภูมิ ความชื้นที่เหมาะสม การถ่ายเทอากาศที่เหมาะสมให้เกิดขึ้นภายในอาคารและพื้นที่การสร้างรังวางไข่ ในหมู่ผู้ประกอบการฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลเป็นที่ทราบกันดีว่าสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทำรังวางไข่ของนกแอ่นกินรังถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อการผลิตรังนก ฟาร์มนกแอ่นกินรังที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้อย่างเหมาะสมสามารถผลิตรังนกที่เป็นที่ต้องการของตลาดและขายได้ในราคาสูงตลอดปี อย่างไรก็ตามประเด็นการจัดการสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง การตั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม ยังคงเป็นปัญหาหลักที่ยังไม่ได้ข้อยุติในแง่ของการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่มักจะกำหนดสภาพแวดล้อมของอุณหภูมิและความชื้นที่คงที่ตามความเชื่อส่วนบุคคลหรือได้รับการแนะนำจากบุคคลอื่นสืบทอดกันมา โดยยังไม่ได้คำนึงถึงสภาพอากาศในระดับท้องถิ่นที่มีความผันแปรในแต่ละฤดูกาล จึงเป็นผลทำให้ทั้งจำนวนรังนกและผลผลิตไม่ประสบผลสำเร็จตามที่คาดหวัง

เกษตรกรและผู้ประกอบการไทยจำนวนมากพยายามหาวิธีควบคุมความชื้น ตั้งแต่การสร้างรางน้ำ บ่อน้ำ หรือภาชนะใส่น้ำไว้ภายในบ้านนกในการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์เพื่อให้อุณหภูมิและความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม แต่ในบางฤดูกาลความชื้นอาจไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องผลิตความชื้นที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป เช่น เครื่องปั่นหมอก เครื่องทำหมอกควั่น ชุดหัวพ่นหมอกแรงดันสูง แผ่นทำความเย็นแบบระเหย เป็นต้น โดยเกษตรกรส่วนใหญ่ได้ควบคุมการทำงานด้วยการเปิดปิดด้วยสวิตช์ไฟฟ้าแบบตั้งเวลา (Timer) ซึ่งมักมีปัญหาในบางช่วงฤดูการที่มีความผันผวนของอุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน ตลอดจนความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพน้ำอุปโภคที่นำมาใช้ในการสร้างความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของฟาร์มนกแอ่นกินรังที่อยู่นอกเขตเทศบาลซึ่งมีต้นทุนในการบำบัดน้ำสูงกว่าบ้านนกในเขตเทศบาล ปัญหาดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ตามวิธีที่ได้ปฏิบัติตามกันมา ซึ่งเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิและความชื้นโดยยังไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับ กล่าวได้ว่าปัญหาการจัดการสภาพอุณหภูมิและความชื้นภายในฟาร์มนกแอ่นกินรังจึงเป็นปัญหาหลักประการสำคัญที่ยังไม่ได้ข้อยุติในแง่ของการจัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังมาโดยตลอด

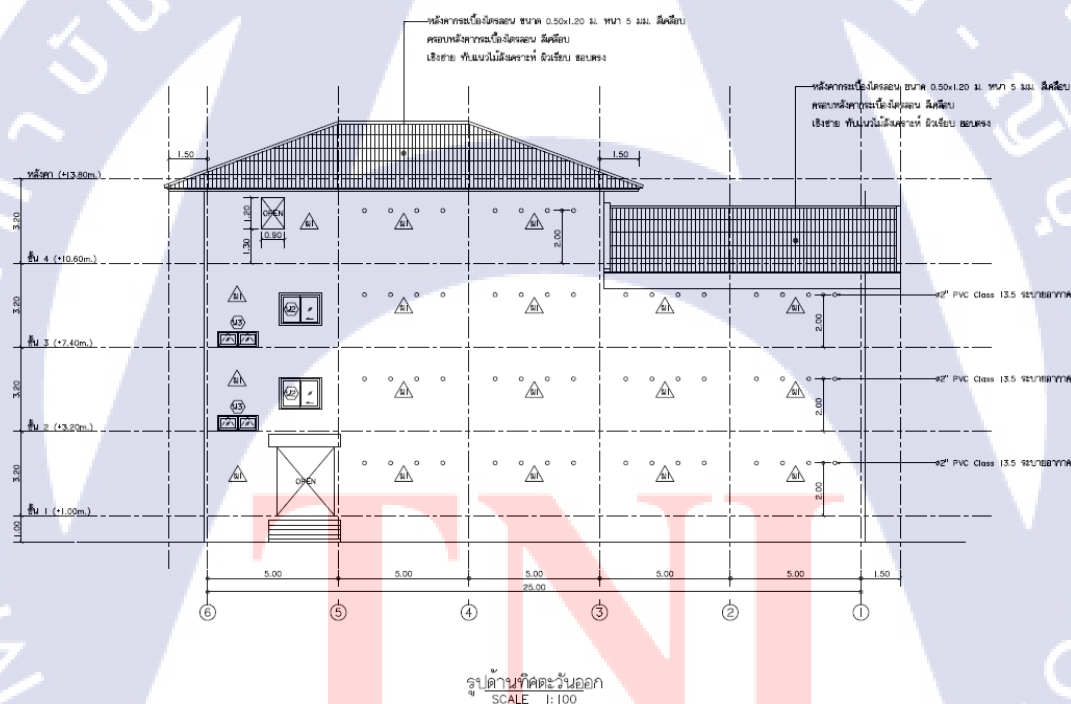
จากปัญหาการจัดการสภาพอุณหภูมิและความชื้นดังกล่าว กอปรกับแนวโน้มที่ฟาร์มนกแอ่นกินรังที่จะเกิดขึ้นอย่างถูกต้องตามกฎหมายในอนาคต มีแนวโน้มถูกจำกัดให้อยู่นอกเขตเมืองหรือนอกเขตเทศบาล คณะผู้วิจัยได้จึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาด้านระบบควบคุมสภาพแวดล้อมให้เกิดเป็นฟาร์มนกแอ่นกินรังแม่นยำสูง (Precision Edible-nest Swiftlet Farming) ซึ่งสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในแง่ของการช่วยลดค่าใช้จ่ายในฟาร์มและเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตทางการเกษตร ในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการของการนำเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture) เพื่อนำไปใช้ในฟาร์มนกแอ่นกินรัง โดยนำเทคโนโลยีมาช่วยด้านการจัดการข้อมูลเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสงสว่าง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตลอดจนตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติตามเงื่อนไขที่กำหนดผ่านการขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) จากข้อมูลของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network, WSN) และเครือข่ายสื่อสารความเร็วสูง (High Speed Networks) ประสานการทำงานด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ระบบอัตโนมัติ (Automation) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning, ML) มาใช้ควบคุมระบบฟาร์มจากข้อมูลมหภาค (Big Data) ที่ได้รับมาและประมวลผลความรู้ด้วยการทำวิทยาการข้อมูล (Data Science) และในท้ายที่สุดเกษตรกรไทยสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ (Data Analytics) วางแผน เพื่อบริหารจัดการฟาร์มได้ด้วยนวัตกรรมใหม่เหล่านี้ในหลายมิติต่อไป

ในสถานการณ์ปัจจุบันมีความพยายามผลักดันของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์กับสมาคมการค้าผู้ผลิตและค้ารังนกแอ่น (ประเทศไทย) ที่ได้มีการหารือเรื่องความต้องการรังนกจากต่างประเทศ อาทิ จีน ฮองกง เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคารังนกปรับตัวสูงขึ้นมากกว่า 30,000 บาท/กก. ทำให้เกษตรกรไทยหันมาประกอบ

อาชีพทำฟาร์มเพาะเลี้ยงนกแอ่นกินรัง (รังนกบ้าน) ทั่วประเทศของประเทศไทยจำนวน 46 จังหวัด จากอดีตมีเพียง 22 จังหวัด ทั่วประเทศมีจำนวนบ้านรังนกประมาณ 10,000 หลัง ประชากรนกแอ่นประมาณ 5 ล้านตัว สามารถเก็บเกี่ยวรังนกได้ประมาณ 4,000 กก./ต่อเดือน ซึ่งกระทรวงเกษตรฯ อยู่ระหว่างการดำเนินการส่งเสริมให้นกแอ่นกินรังเป็นสัตว์เศรษฐกิจตัวใหม่ของประเทศ และผลักดันให้การทำฟาร์มนกแอ่นกินรังถูกต้องตามกฎหมาย ปัจจุบัน พ.ร.บ. สงวนและคุ้มครองสัตว์ป่า พ.ศ. 2562 ได้ถูกประกาศในราชกิจจานุเบกษาแล้วเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม 2562 (ราชกิจจานุเบกษา, 2562) พระราชบัญญัติฉบับใหม่นี้จะส่งผลให้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้ดำเนินการจัดทำ อนุบัญญัติ (กฎหมายลูก) ในแต่ละมาตราภายในเวลาไม่เกิน 2 ปี เพื่อให้เกิดการบังคับใช้กฎหมายตลอดจนการสร้างกฎระเบียบปฏิบัติของหน่วยงานราชการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้รวมถึงการกำหนดกฎระเบียบและแนวทางในการดำเนินการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลให้มีหลักปฏิบัติในการพัฒนาให้เป็นธุรกิจการเกษตรที่สำคัญของชาติต่อไป

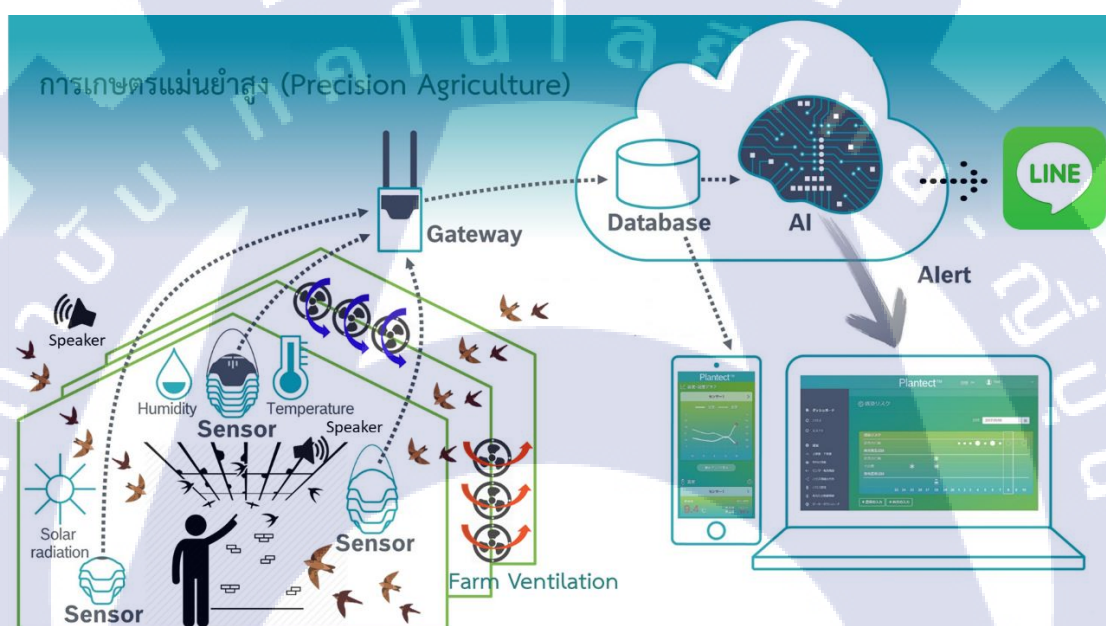
จากการเล็งเห็นถึงความสำคัญของยุทธศาสตร์การพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคล ซึ่งถือได้ว่าเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มาจากศักยภาพของความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศ ในปี พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้สนับสนุนงบประมาณในการจัดสร้างอาคารบ้านนกแอ่นกินรังสำหรับใช้เป็นพื้นที่ “ศูนย์การเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง” สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยและการถ่ายทอดความรู้ไปสู่เกษตรกรและผู้สนใจในการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอนาคต โดยอาคารศูนย์ฯ ดังกล่าวเป็นคอนกรีตสูง 4 ชั้น มีพื้นที่อาคารสำหรับให้นกอาศัยและทำรังวางไข่ราว 480 ตารางเมตร ตั้งอยู่ ณ สถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์หาควนกร อำเภอบึงสามพัน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2560 สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับแผนงานวิจัย “การพัฒนาต้นแบบการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรัง” เพื่อดำเนินการวิจัยโดยมีโจทย์วิจัยและเป้าหมายในการพัฒนาแนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังให้มีแนวทางการปฏิบัติที่ชัดเจนและสามารถปฏิบัติได้สำหรับอาคารบ้านนกใหม่ จากการปฏิบัติงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการดำเนินการวิจัยตามแผนงานวิจัยในปี 2560-2561 สามารถดำเนินการวิจัยและทดลองปฏิบัติให้เห็นอย่างเป็นรูปธรรมได้เฉพาะระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของการจัดการบ้านนกโดยทั่วไปในแง่ของการดึงดูดนกให้เข้ามาอาศัยและทำรังวางไข่ภายในบ้านนกพอสมควรแล้วนั้น ซึ่งเป็นลักษณะการเพาะเลี้ยงในฟาร์มที่เป็นอาคารส่วนบุคคล นอกเหนือจากการพัฒนาต้นแบบฟาร์มนกแอ่นกินรังที่มีการปฏิบัติที่ดีทางด้านการเกษตรที่ได้ดำเนินการในช่วง 2 ปีที่ผ่านมาแล้วนั้น ดังรูปที่ 3.1

งานวิจัยนี้ได้มุ่งไปที่การสร้างต้นแบบฟาร์มนกแอ่นกินรังตามหลักการ เกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture) ซึ่งเป็นรูปแบบการเกษตรที่นำเทคโนโลยีและการจัดการข้อมูลมาใช้ในการจัดการสภาพแวดล้อมภายในฟาร์ม เพื่อให้มีสภาพแวดล้อมภายในอาคารความเหมาะสมและแม่นยำขึ้นในแง่ของการผลิตรังนก



การวิจัยโครงการนี้ผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับคือระบบควบคุมสภาพอุณหภูมิ ความชื้น และการถ่ายเทอากาศตามหลักการการเกษตรแบบแม่นยำ ซึ่งสามารถสนับสนุนให้เกิดการปฏิบัติที่ดีทางการเกษตรสำหรับฟาร์มนกแอ่นกินรัง ขณะที่ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้คือการจดสิทธิบัตร/อนสิทธิบัตร จากการออกแบบเครื่อง

ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง ทั้งผลผลิตและผลลัพธ์ที่ได้นี้เป็นการสร้างนวัตกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากสัตว์เศรษฐกิจ รวมไปถึงการบริหารจัดการข้อมูลมหภาค (Big Data) อย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของกรอบงานวิจัยด้านการจัดการผลผลิตและผลิตภัณฑ์สัตว์เศรษฐกิจตามประกาศของสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับยุทธยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ในประเด็น “การเกษตรสร้างมูลค่า” และ “อุตสาหกรรมและบริการแห่งอนาคต” ตลอดจนสามารถนำไปต่อยอดในด้านการสนับสนุนผู้ประกอบการยุคใหม่และเกษตรกรไทยในยุค 4.0 และเป็นงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเกษตรในประเทศไทยให้เป็นการเกษตรแบบแม่นยำสูง (Precision Agriculture) ซึ่งจะกลายเป็นหัวใจสำคัญในการทำการเกษตรยุคใหม่ของประเทศไทยในอนาคตอันใกล้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture)

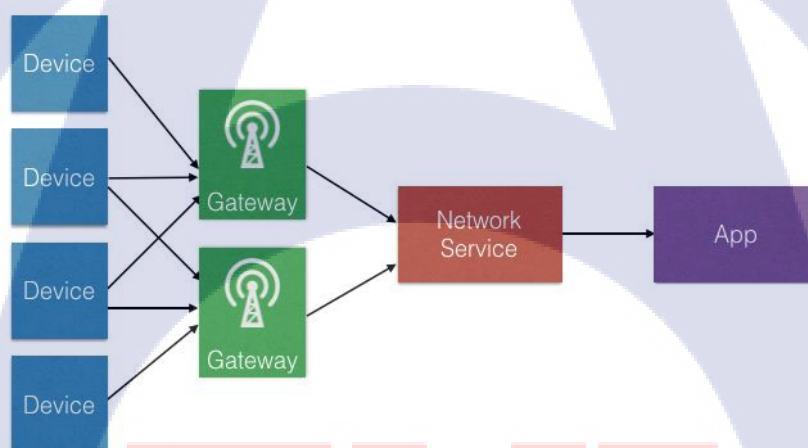
ดังนั้น โครงการวิจัย “ต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูง เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิต” จึงได้ออกแบบการพัฒนารอบแนวคิดการวิจัยขึ้นโดยมีเป้าหมายหลักเพื่อให้เกิดการดำเนินการวิจัยอย่างต่อเนื่องของอาคารศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัยนี้มีเป้าหมายในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในบ้านนกแอ่นกินรังแบบแม่นยำสูงในทุกพื้นที่ภายในฟาร์มนกแอ่นกินรัง โดยคำนึงถึงผลผลิตรังนกที่มีคุณภาพสูง เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อเกษตรกรไทยในการบริหารจัดการฟาร์ม

นกแอ่นกินรังที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด ภายในเวลาอันจำกัด ตลอดจนส่งเสริมเครื่องมือและเทคโนโลยีสำหรับการทำฟาร์มนกแอ่นกินรังในอาคารส่วนบุคคลใหม่ที่จำเป็นต้องอยู่ภายใต้การจัดการของหน่วยงานราชการ และเป็นแนวทางการเกษตรสมัยใหม่ที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงสำหรับบ้านนกแอ่นกินรังของเกษตรกรไทยและเพื่อให้ได้มาตรฐานการจัดการบ้านนกเพื่อการส่งออก ทั้งนี้ผลสัมฤทธิ์ที่ได้จะนำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการทำบ้านนกแอ่นกินรัง ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักของศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำฟาร์มนกแอ่นกินรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ต่อไป

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทดลองกับอาคารภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มนกแอ่นกินรังต่อไป

3.2.1 แผนภาพโครงสร้างภายในของระบบลอราส่วนบุคคล (Private LoRaWAN)



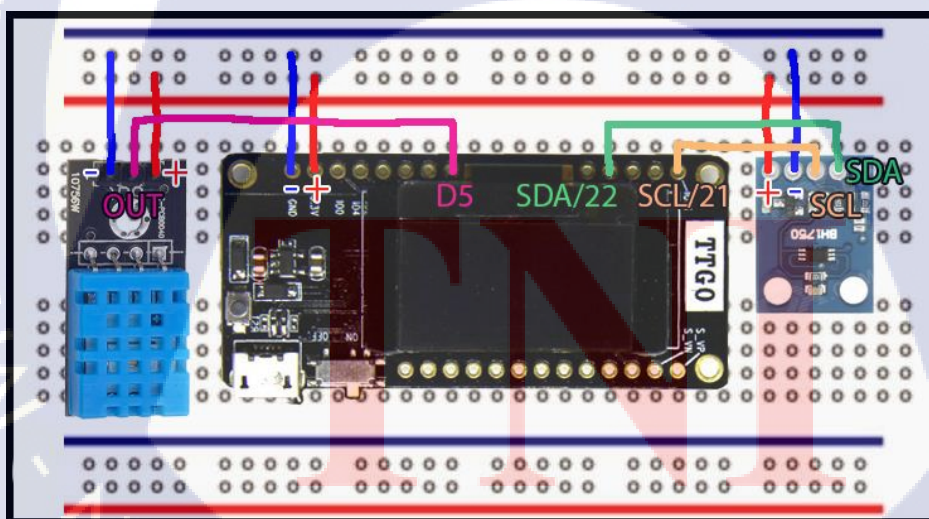
รูปที่ 3.3 แผนผังโครงสร้างภายในของระบบลอราส่วนบุคคล

การทำงานของลอราแวนส่วนบุคคลจะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนคือ (1) ลอราแอพเซิร์ฟเวอร์ (2) ลอราเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์ (3) ลอราเกตเวย์ (4) ลอราโหนด โดยการเชื่อมต่อภายในระบบของเราจะอ้างอิงตามระบบลอราปกติทั่วไปเช่นกัน คือ ลอราแอพเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อกับลอราเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์ ลอราเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อกับลอราเกตเวย์และลอราเกตเวย์เชื่อมต่อกับลอราโหนด

การทำงานเบื้องต้นของลอราส่วนบุคคลคือ ลอราโหนดส่งข้อมูลไปยังลอราเกตเวย์ ลอราเกตเวย์ส่งข้อมูลมาให้ลอราเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์ ลอราแอปเซิร์ฟเวอร์ทำการดึงข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในลอราเน็ตเวิร์กเซิร์ฟเวอร์เพื่อนำไปแสดงผล

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ภายในระบบ

- LoRa Server : Dell PowerEdge T30
- LoRa Gateway : RAK831
- LoRa Node : TTGO LORA32 V2.0 915 Mhz
- Sensor : DHT11 Digital Temperature and Humidity Sensor
- Sensor : Light Sensor Module (BH1750FVD)
- Sensor : 140pcs Jump Wire Kit with Box
- Breadboard 400 holes
- Webserver : Apache (Xampp)
- Database Server : MySql (Xampp)
- โครงสร้างอุปกรณ์ตัวโหนด



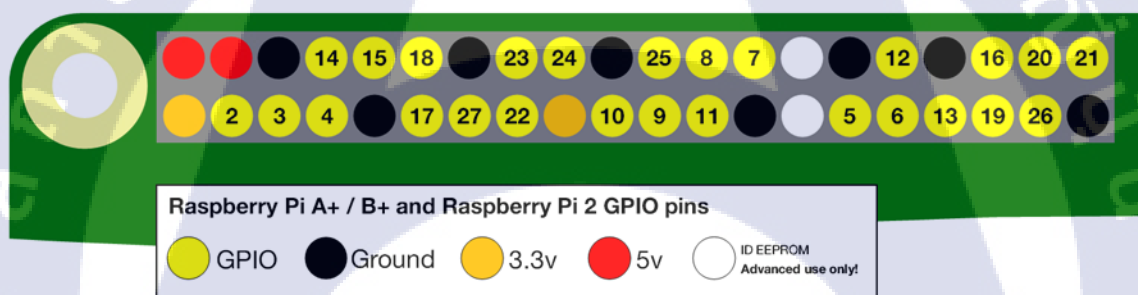
รูปที่ 3.4 โครงสร้างตัวอุปกรณ์โหนด

3.2.3 การตั้งค่าเกตเวย์บนอุปกรณ์ Raspberry Pi และการติดตั้ง LoRa เกตเวย์เซิร์ฟเวอร์

บน Raspberry Pi จะประกอบไปด้วย Gateway-bridge, App-server, Network-server และ ttn-gateway driver ติดตั้ง Raspbian บน Raspberry Pi 3 และเชื่อมต่อเข้ากับ Power Supply โดย Power Supply จะต้องมีไฟอย่างน้อย 5v 2amps เพื่อให้เพียงพอสำหรับการจ่ายไฟให้กับ LoRa Module และ Raspberry Pi จะทำหน้าที่เป็นบอร์ด Host ให้กับ RAK831 LoRa Module ซึ่งทั้งสองอุปกรณ์จะทำงานเป็นอุปกรณ์ LoRa Gateway ร่วมกัน โดยส่วนสำคัญของ Raspberry Pi ที่เราต้องคำนึงถึงคือ GPIO Pins ทั้งหมด



รูปที่ 3.4 GPIO Pins บนอุปกรณ์ Raspberry Pi



รูปที่ 3.5 คำอธิบายGPIO Pins บนอุปกรณ์ Raspberry Pi

วิธีการติดตั้ง

- 1) เปิด Terminal เพื่อป้อนคำสั่งในการติดตั้งฐานข้อมูลต่างๆ

```
sudo apt install -y mosquitto mosquitto-clients redis-server redis-tools postgresql
```

- 2) ตั้งค่า PostgreSQL databases และ user โดยป้อนคำสั่ง

```
sudo -u postgres psql
```


- 3) สร้าง Role (login) สำหรับ LoRa Server (ในที่นี้ Login คือ loraserver_as รหัสผ่านคือ loradbpassword)

```
create role loraserver_as with login password 'loradbpassword';
```

- 4) สร้างฐานข้อมูล

```
create database loraserver_as with owner loraserver_as;
create database loraserver_ns with owner loraserver_as;
```

- 5) ติดตั้ง extension

```
\c loraserver_as
create extension pg_trgm;
```

- 6) ออกจาก psql

```
\q
```

- 7) ติดตั้ง LoRa Server software repository โดยการเปิด terminal แล้วป้อนคำสั่ง

```
sudo apt-get install -y apt-transport-https dirmngr
sudo apt-key adv --keyserver keyserver.ubuntu.com --recv-keys
1CE2AFD36DBCCA00
sudo echo "deb https://artifacts.loraserver.io/packages/2.x/deb stable main" | sudo tee
/etc/apt/sources.list.d/loraserver.list
sudo apt-get update
sudo apt-get -y upgrade
```

- 8) ติดตั้ง LoRa Gateway Bridge

```
sudo apt-get install -y lora-gateway-bridge
```

- 9) ติดตั้ง LoRa Server

```
sudo apt-get install -y loraserver
```


10) ติดตั้ง LoRa App Server

```
sudo apt-get install -y lora-app-server
```

11) ทำการตั้งค่า LoRa Server โดยการแก้ไข configuration file

```
sudo nano /etc/loraserver/loraserver.toml
```

แก้ไขข้อมูล จาก

dsn="postgres://localhost/loraserver_ns?sslmode=disable" เป็น

dsn="postgres://loraserver_as:loradbpassword@127.0.0.1/loraserver_ns?sslmode=disable"

แก้ไขข้อมูล จาก

net_id="000000" เป็น

net_id="123123"

แก้ไขข้อมูล จาก

name="EU_863_870" เป็น

name="US_915"

แก้ไขข้อมูล จาก

timezone="" เป็น

12) timezone="Asia/Bangkok"

เสร็จแล้วให้ Restart LoRa Server โดยเปิด Terminal ป้อนคำสั่ง

```
sudo systemctl restart loraserver
```

13) ทำการตั้งค่า LoRa App Server โดยแก้ไข configuration file

```
sudo nano /etc/lora-app-server/lora-app-server
```

แก้ไขข้อมูล จาก

dsn="postgres://localhost/loraserver_as?sslmode=disable" เป็น

dsn="postgres://loraserver_as:loradbpassword@127.0.0.1/loraserver_as?sslmode=disable"

แก้ไขข้อมูล จาก

jwt_secret="" เป็น

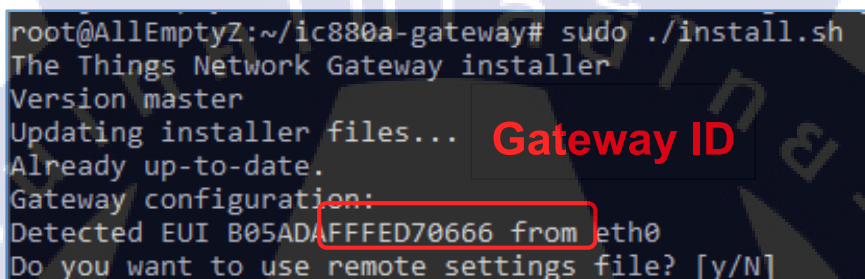
```
jwt_secret="MyTopSecret"
```

เสร็จแล้วให้ Restart LoRa App Server โดยเปิด Terminal ป้อนคำสั่ง

```
sudo systemctl restart lora-app-server
```

14) ติดตั้ง gateway driver โดยใช้ source จาก The Things Network โดยใช้คำสั่ง

```
git clone https://github.com/ttn-zh/ic880a-gateway.git ~/ic880a-gateway
cd ~/ic880a-gateway
sudo ./install.sh
```



```
root@AllEmptyZ:~/ic880a-gateway# sudo ./install.sh
The Things Network Gateway installer
Version master
Updating installer files...
Already up-to-date.
Gateway configuration:
Detected EUI B05ADAFFED70666 from eth0
Do you want to use remote settings file? [y/N]
```

Gateway ID

รูปที่ 3.5 การค้นหา Gateway ID

พิมพ์ N แล้วกด Enter แล้วกรอกรายละเอียดของตัว gateway

```
Host name [ttn-gateway]:loragateway กด Enter
Descriptive name [ttn-ic880a]:rak831
Contact email:
Latitude [0]:
Longitude [0]:
Altitude [0]:
```

```

Do you want to use remote settings file? [y/N]N
Host name [ttn-gateway]:loragateway
Descriptive name [ttn-ic880a]:rak831
Contact email:
Latitude [0]:
Longitude [0]:
Altitude [0]:
Updating hostname to 'loragateway'...
Installing dependencies...
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
python-dev is already the newest version (2.7.12-1~16.04).
python-dev set to manually installed.
The following additional packages will be installed:
  libftdi1 libusb-dev swig3.0
Suggested packages:
  swig-doc swig-examples swig3.0-examples swig3.0-doc
The following NEW packages will be installed:
  libftdi-dev libftdi1 libusb-dev swig swig3.0
0 upgraded, 5 newly installed, 0 to remove and 0 not upgraded.
Need to get 1,212 kB of archives.
After this operation, 7,722 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n]

```

รูปที่ 3.6 การติดตั้ง Gateway Driver

พิมพ์ Y แล้วกด Enter หลังจากนั้น โปรแกรมจะเริ่มติดตั้งตัว gateway driver

- 15) ทำการแก้ไขไฟล์ local_conf.json เพื่อให้เกตเวย์ส่งข้อมูลมาที่ Network server ของเรา โดยใช้คำสั่ง

```
sudo nano /opt/ttn-gateway/bin/local_conf.json
```

แก้ไขข้อมูลจาก

“server_address”: “router.eu.thethings.network” เป็น

“server_address”: “localhost”

กด Ctrl+X พิมพ์ Y แล้วกด Enter เพื่อเป็นการบันทึกไฟล์

- 16) ทำการแก้ไขคลื่นความถี่ในไฟล์ global_conf.json โดยใช้คำสั่ง

```
sudo nano /opt/ttn-gateway/bin/global_conf.json
```

แก้ไขข้อมูลใน radio_0 จาก

“freq”: 867500000, เป็น

“freq”: 904300000,

และเพิ่มบรรทัดต่อจาก “tx_enable”: true, ดังนี้

```
“tx_freq_min”: 923000000,
```

```
“tx_freq_max”: 928000000
```

แก้ไขข้อมูลใน radio_1 จาก

```
“freq”: 868500000, เป็น
```

```
“freq”: 905000000,
```

กด Ctrl+X พิมพ์ Y แล้วกด Enter เพื่อเป็นการบันทึกไฟล์

จากนั้นป้อนคำสั่งเพื่อ restart ตัว gateway ดังนี้

```
sudo systemctl restart ttn-gateway
```

3.2.4 การเชื่อมต่อ RAK831 LoRa Module เข้ากับ Raspberry Pi

การเชื่อมต่อ RAK831 เข้ากับ Raspberry Pi จะต้องทำการต่อพอร์ทของ RAK831 เข้ากับ GPIO ให้ถูกต้อง โดยสามารถอ้างอิงได้ตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตาราง 3.1 ตารางเปรียบเทียบพอร์ทของ RAK831 และ Raspberry Pi

RAK 831 Pin	คำอธิบาย	Raspberry Pi Pin
1	+5V	2
3	GND	6
19	RST	22
18	SCK	23
17	MISO	21
16	MOSI	19
15	CSN	24

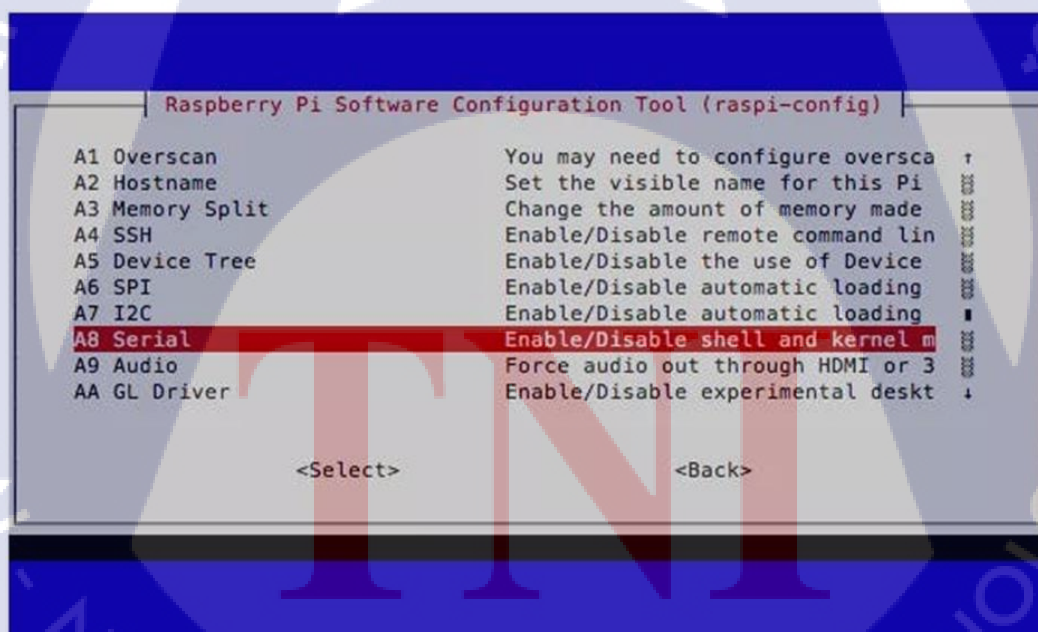
ข้อควรระวังในระหว่างการทำงานในขั้นตอนนี้ต้องระมัดระวังไม่ให้เชื่อมต่อ +5V Pin ผิด เพราะอาจทำให้บอร์ด RAK831 ทำงานผิดพลาดได้

3.2.6 การเปิดใช้งานพอร์ท SPI

การเชื่อมต่อ Raspberry Pi กับ RAK831 นั้นจำเป็นต้องใช้พอร์ท SPI (Serial Peripheral Interface) ซึ่ง Raspbian จะไม่ได้เปิดการใช้งานไว้ในตอนแรก จึงจำเป็นต้องเปิดการใช้งานตามขั้นตอนดังนี้

- (1) เปิด Terminal และรันคำสั่ง [sudo raspi-config]
- (2) ใช้ปุ่มลูกศรและเลือก [9 Advanced Options]
- (3) เลือก [A6 SPI]
- (4) เลือก [yes] เพื่อเปิดการใช้งาน SPI
- (5) เลือก [yes] เพื่อโหลดการทำงานของ Kernel Module ที่เกี่ยวข้องโดยอัตโนมัติ
- (6) เลือก <Finish>
- (7) เลือก [yes] อีกครั้งเพื่อรีบูต

รอให้ระบบทำการรีบูตเพื่อตั้งค่า จากนั้นเข้าไป Terminal และรันคำสั่ง `$ ls /dev/*spi*` ระบบควรจะ Output กลับมาดังนี้ `/dev/spidev0.0 /dev/spidev0.1` ซึ่งแสดงว่า SPI Pin 0 และ SPI Pin 1 ทำงานได้แล้ว เป็นอันเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเปิดใช้งาน Serial Peripheral Interface ใน Raspbian

3.2.7 การตั้งค่า Raspberry Pi/RAK832 ให้พร้อมสำหรับการเชื่อมต่อผ่าน LoRaWAN

ทำการเปิดใช้งาน A1 Expand filesystem ผ่าน `sudo raspi-config`

ทำการอัปเดตแพ็คเกจและติดตั้ง git ซึ่งเป็น Source version control system

```
$ sudo apt-get update
```

```
$ sudo apt-get upgrade
```

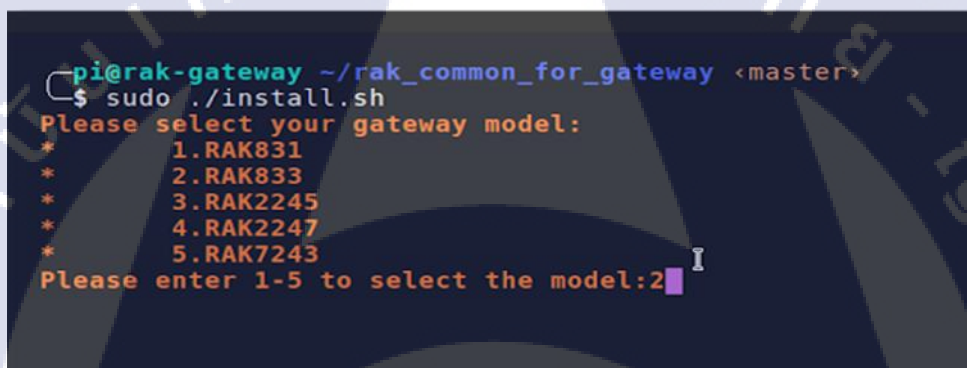
```
$ sudo apt-get install git
```

ลงโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของ Gateway

```
$ git clone https://github.com/RAKWireless/rak_common_for_gateway
```

```
$ cd rak_common_for_gateway
```

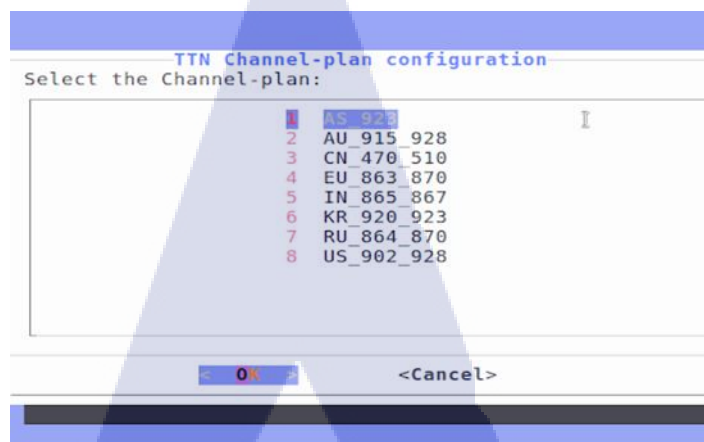
```
$ sudo ./install.sh
```



```
pi@rak-gateway ~/rak_common_for_gateway <master>
$ sudo ./install.sh
Please select your gateway model:
* 1.RAK831
* 2.RAK833
* 3.RAK2245
* 4.RAK2247
* 5.RAK7243
Please enter 1-5 to select the model:2
```

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการติดตั้ง Gateway Module

ในขั้นตอนตามรูปที่ 3.8 ให้เลือก RAK831 เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้วให้ใช้คำสั่ง `$ sudo gateway-config` เพื่อทำการตั้งค่า Gateway เพิ่มเติมใน Terminal UI ให้เลือก 2 Setup RAK Gateway และ Server is TTN ซึ่งจะใช้งานเป็น Network Server ระบบตั้งค่าจะให้เลือกลิ้นความถี่ที่ต้องการใช้งาน ให้เลือก AS923 ซึ่งจะใช้งานย่านความถี่ 923 – 925 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่อิสระในประเทศไทย



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการเลือกย่านความถี่ของ LoRa ที่ถูกต้อง

หลังจากการติดตั้ง อุปกรณ์ Gateway จะสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยสามารถรับข้อมูลได้ทั้งจาก LoRa Node และ Network Server เมื่อตั้งค่าเสร็จสิ้นให้ทำการรันคำสั่ง \$ sudo gateway-version เพื่อแสดงค่า EUI ของ Gateway ซึ่งจำเป็นต้องใช้งานในขั้นตอนต่อไป ในที่นี้ค่า EUI คือ 88-27-EB-FF-FE-DA-FE-EF

```

+ ~ ssh pi@192.168.11.107
pi@192.168.11.107's password:
Linux rak-gateway 4.19.75-v7+ #1270 SMP Tue Sep 24 18:45:11 BST 2019 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Tue Oct 15 18:00:16 2019
pi@rak-gateway ~
$ sudo gateway-version
Gateway ID:B827EBFFFEFAFEF
RAKWireless gateway RAK833 version 4.0.0R
pi@rak-gateway ~
$

```

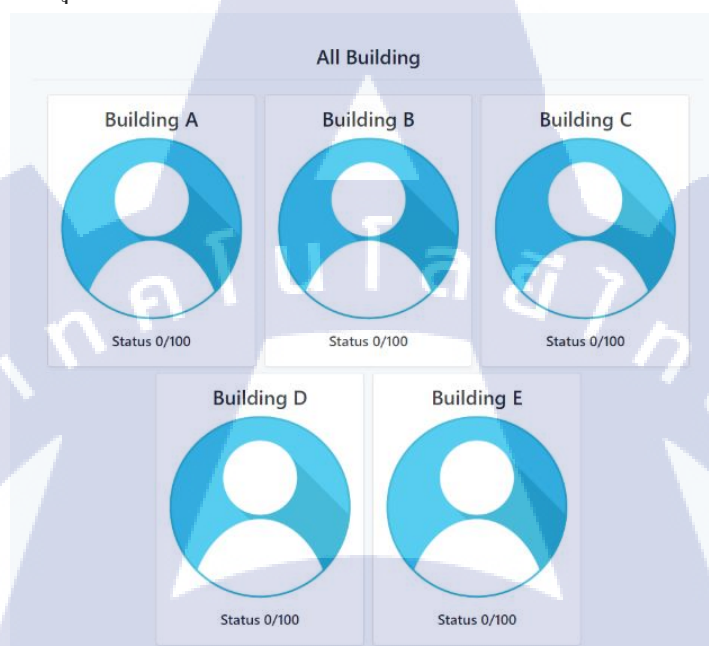
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างค่า EUID ของอุปกรณ์ Gateway

3.2.8 การพัฒนาเว็บไซต์

การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อแสดงผลเราจะใช้ภาษา HTML และ PHP ในการพัฒนาเว็บไซต์และใช้ฐานข้อมูลแบบ NoSQL โดยใช้ MongoDB เป็นฐานข้อมูลเนื่องจากการพัฒนาระบบ IoT เซ็นเซอร์จะส่งค่ามาค่อนข้างถี่ทำให้การใช้งานฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ไม่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ เนื่องจากมีข้อมูลค่อนข้างมากและความเร็วในการประมวลผลของ NoSQL ประมวลผลเร็วกว่าอีกทั้งการจัดเก็บข้อมูลแบบ NoSQL จะเก็บข้อมูลได้ง่ายกว่า

โดยได้จำลองอาคารแต่ละตึกเปรียบเสมือนโรงเรียนหรืออาคารภายในฟาร์ม โดยได้ออกแบบหน้าจอหลักในการพัฒนาเว็บไซต์จะมีทั้งหมด 2 ส่วนหลัก คือ (1) หน้าจอแสดงผล (2) หน้าจอตั้งค่าภายใน

1.1 หน้าจอแสดงผลรวมทุกตึกจะมีรายละเอียดเล็กน้อยโดยมีจำนวนตึกทั้งหมด 5 ตึกโดยข้อมูลที่ปรากฏในหน้าเว็บไซต์นี้จะมีสถานะประจำตึก โดยสถานะประจำตึกจะบอกรายละเอียดว่าในตึกนี้มีจำนวนห้องทั้งหมดกี่ห้องที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์และบอกว่าห้องไหนยังมีการใช้งาน ณ ขณะนั้น



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงผลรวมทุกตึก (เปรียบเสมือนโรงเรียนหรืออาคารภายในฟาร์ม)

1.2 หน้าจอแสดงผลเฉพาะตึกจะมีรายละเอียดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าจอแสดงผลรวมทุกตึก (เปรียบเสมือนโรงเรียนหรืออาคารภายในฟาร์ม) โดยหน้าจอแสดงผลเฉพาะตึกจะมีรายละเอียดว่าภายในตึกมีอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งทั้งหมดเท่าไร สภาพห้องภายในแต่ละห้องมีสภาพเป็นอย่างไร ณ ขณะนั้นเช่น ห้อง A101 อุณหภูมิ 23 C สถานะไฟ ปิด เป็นต้น



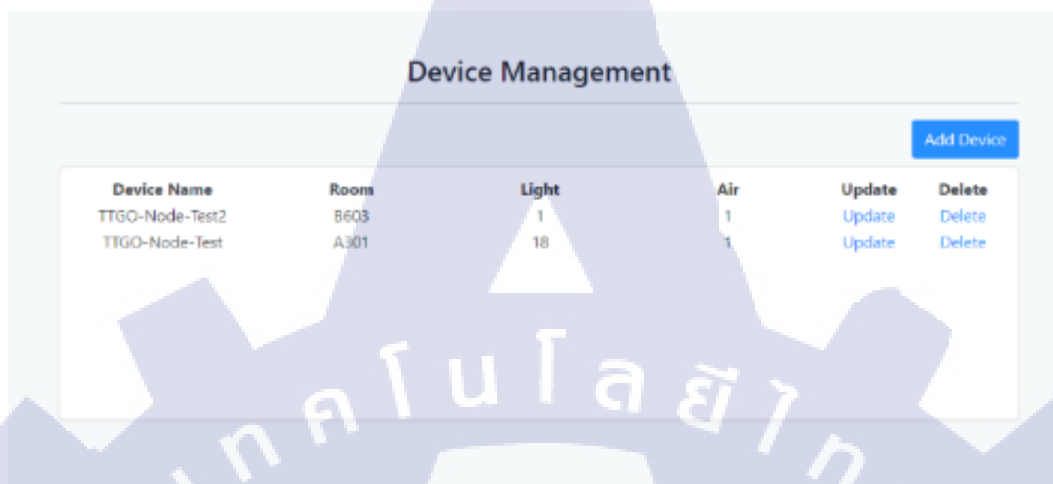
รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผลเฉพาะตึก (เปรียบเสมือนโรงเรือนหรืออาคารภายในฟาร์ม)

1.3 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้องจะมีรายละเอียดที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าจอแสดงผลรวมเฉพาะตึกและหน้าจอแสดงผลรวมทุกตึก (เปรียบเสมือนโรงเรือนหรืออาคารภายในฟาร์ม) โดยข้อมูลที่ปรากฏในหน้าจอแสดงผลเฉพาะห้องจะมีกราฟเส้น 2 กราฟ ได้แก่ (1) กราฟเส้นแรกทำหน้าที่บ่งบอกประวัติการใช้งานของห้องที่ถูกติดตั้งอุปกรณ์ว่าภายใน 1 วันมีการเปิด-ปิดไฟในช่วงเวลาไหน (2) กราฟเส้นที่สองทำหน้าที่บ่งบอกประวัติอุณหภูมิของห้องว่ามีอุณหภูมิเป็นอย่างไร



รูปที่ 3.13 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้อง (เปรียบเสมือนโรงเรือนหรืออาคารภายในฟาร์ม)

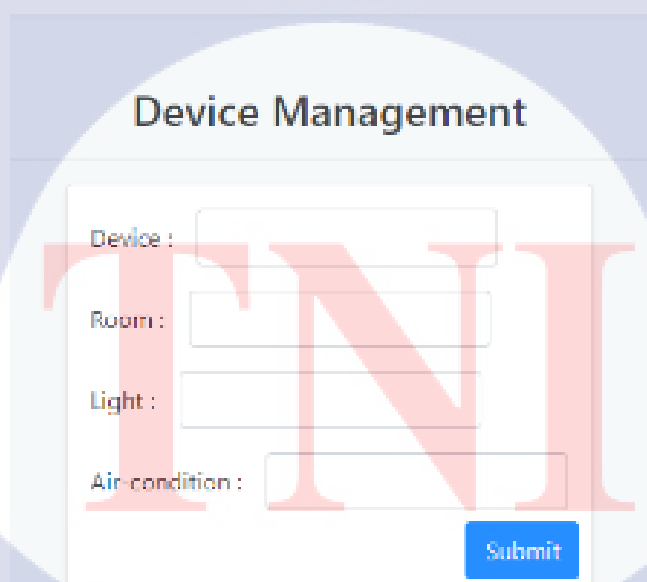
1.4 หน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบสามารถจัดการข้อมูลอุปกรณ์ภายในระบบโดยมีคำสั่ง เพิ่ม ลบ แก้ไข ลบ อุปกรณ์ภายในระบบดังรูปที่ 3.14



Device Management					
					Add Device
Device Name	Rooms	Light	Air	Update	Delete
TTGO-Node-Test2	B603	1	1	Update	Delete
TTGO-Node-Test	A301	18	1	Update	Delete

รูปที่ 3.14 หน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบ

1.5 หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบสามารถเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปในระบบได้โดยกรอกข้อมูลดังนี้ ชื่อ อุปกรณ์ หมายเลขห้อง จำนวนไฟส่องสว่าง จำนวนเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 3.15



Device Management

Device :

Room :

Light :

Air condition :

[Submit](#)

รูปที่ 3.15 หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบ (เปรียบเสมือนโรงเรียนหรืออาคารภายในฟาร์ม)

1.6 หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบสามารถอัปเดตอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในระบบได้โดยข้อมูลที่
สามารถแก้ไขได้มีดังนี้ ชื่ออุปกรณ์ หมายเลขห้อง จำนวนไฟส่องสว่าง จำนวนเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 3.16

Update Device Management

Device :

Room :

Light :

Air-condition :

รูปที่ 3.16 หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบ

1.7 หน้าจอลบอุปกรณ์ภายในระบบจะอยู่ที่หน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบในรูปที่ 3.16 โดยทำการ
คลิกปุ่มลบ หลังจากนั้นอุปกรณ์จะถูกลบทันที

Device Management

Device Name	Room	Light	Air	Update	Delete
TTGO-Node-Test2	B603	1	1	Update	Delete
TTGO-Node-Test	A301	18	1	Update	Delete

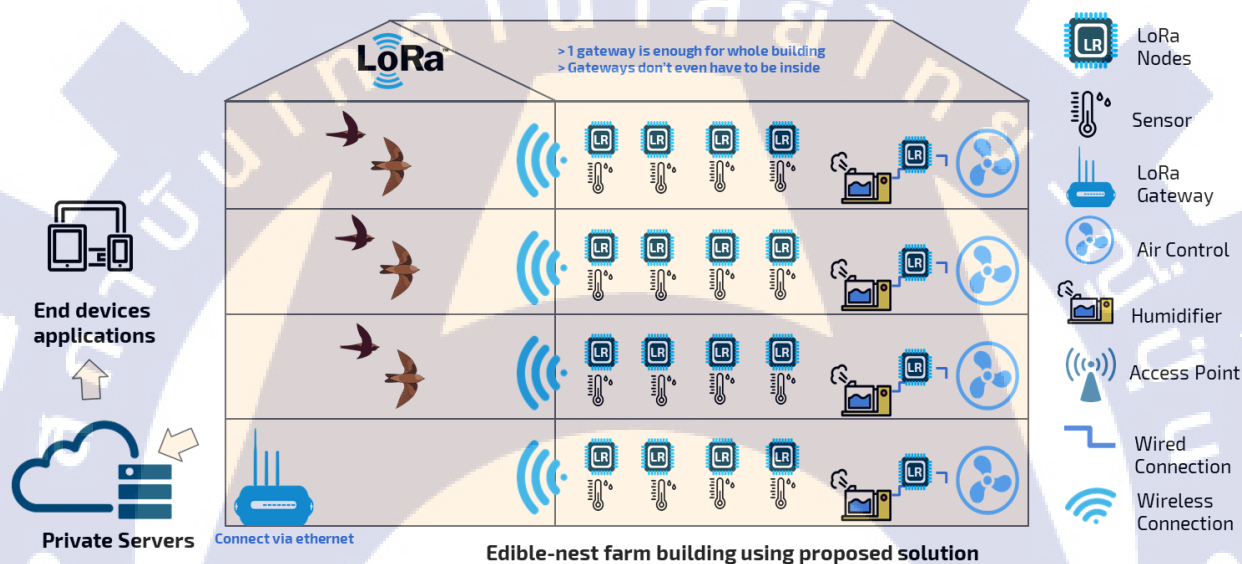
รูปที่ 3.17 หน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบ (Delete)

3.3 การออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN)

ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN) มีอุปกรณ์สำคัญได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น, LoRa Node 2 ตัว, LoRa Gateway 1 ตัว, และระบบควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งประกอบด้วย พัดลมระบายอากาศและเครื่องทำความชื้น

ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ต้องควบคุมให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมได้

- (1) อุณหภูมิควรต้องอยู่ในช่วง 25-28 องศาเซลเซียส
- (2) ความชื้นสัมพัทธ์ควรต้องอยู่ในช่วง 80%



รูปที่ 3.18 ออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN)

ในช่วงแรกของผลการทดลองสำหรับสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN) และสามารถตรวจสอบการทำงานได้บนเว็บไซต์ โดยหน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบสามารถจัดการข้อมูลอุปกรณ์ภายในระบบโดยมีคำสั่ง เพิ่ม ลบ แก้ไข ลบ อุปกรณ์ภายในระบบดังรูปที่ 4.1 มีการแสดงผลดังนี้

1. ชื่ออุปกรณ์
2. หมายเลขห้อง
3. จำนวนไฟส่องสว่าง
4. จำนวนเครื่องปรับอากาศ
5. ปุ่มเพิ่มอุปกรณ์
6. ปุ่มอัปเดตอุปกรณ์
7. ปุ่มลบอุปกรณ์

Device Management					
Device Name	Room	Light	Air	Update	Delete
TTGO-Node-Test2	B603	1	1	Update	Delete
TTGO-Node-Test	A301	18	1	Update	Delete

รูปที่ 4.1 หน้าจอจัดการอุปกรณ์ภายในระบบ

4.1.1 หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบ

หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบสามารถเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปในระบบได้โดยกรอกข้อมูลดังนี้ ชื่ออุปกรณ์ หมายเลขห้อง จำนวนไฟส่องสว่าง จำนวนเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 4.2 มีการแสดงผลดังนี้

1. ชื่ออุปกรณ์
2. หมายเลขห้อง
3. จำนวนไฟส่องสว่าง
4. จำนวนเครื่องปรับอากาศ

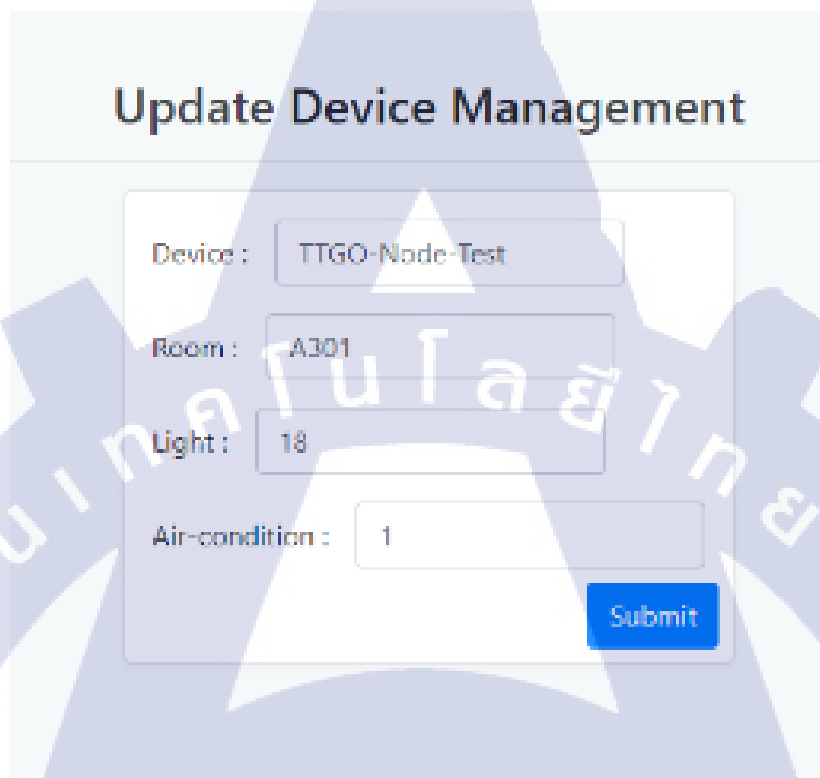
รูปที่ 4.2 หน้าจอเพิ่มอุปกรณ์ภายในระบบ

4.1.2 หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบ

หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบสามารถอัปเดตอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในระบบได้โดยข้อมูลที่สามารถแก้ไขได้มีดังนี้ ชื่ออุปกรณ์ หมายเลขห้อง จำนวนไฟส่องสว่าง จำนวนเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 4.3 มีการแสดงผลดังนี้

1. ชื่ออุปกรณ์
2. หมายเลขห้อง

3. จำนวนไฟส่องสว่าง
4. จำนวนเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 4.3 หน้าจออัปเดตอุปกรณ์ภายในระบบ

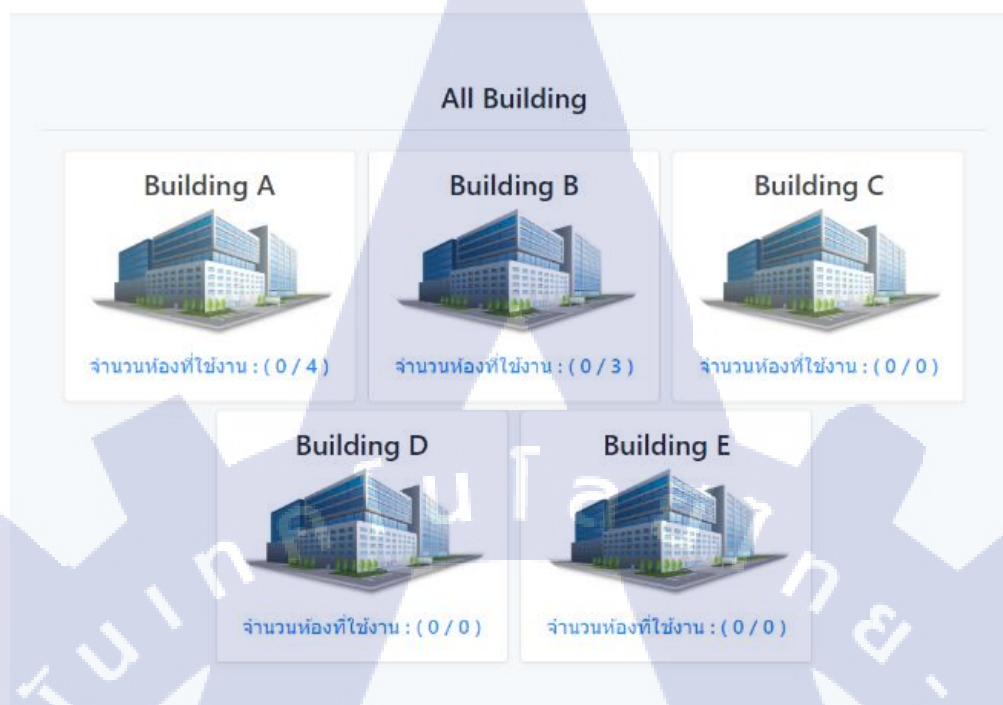
4.1.3 หน้าจอลบอุปกรณ์ภายในระบบ

หน้าจอลบอุปกรณ์ภายในระบบจะอยู่ที่หน้าจอดีการอุปกรณ์ภายในระบบในรูปที่ 4.1 โดยทำการคลิกปุ่มลบ หลังจากนั้นอุปกรณ์จะถูกลบทันที

4.1.4 หน้าจอแสดงผลรวมทุกตึก

หน้าจอแสดงผลรวมทุกตึกแสดงผลโดยรวมของตึกทุกตึกโดยมีจำนวนทั้งหมด 5 ตึกคือ ตึก A ตึก B ตึก C ตึก D ตึก E ดังรูปที่ 4.4 มีการแสดงผลดังนี้

1. ชื่อตึก
2. จำนวนห้องที่มีการใช้งาน
3. จำนวนห้องที่มีการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงผลรวมทุกตึก

4.1.5 หน้าจอแสดงผลเฉพาะตึก

หน้าจอแสดงผลรวมเฉพาะตึกแสดงผลเฉพาะตึกของแต่ละตึกโดยแสดงข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ภายในตึกโดยจะแสดงข้อมูลเบื้องต้นดังนี้ คือ หมายเลขห้อง สถานะไฟปัจจุบัน อุณหภูมิ ณ ขณะนั้น ดังรูปที่ 4.4 มีการแสดงผลดังนี้

1. ชื่อตึก
2. หมายเลขห้อง
3. สถานะการใช้งานไฟส่องสว่าง เปิด/ปิด
4. อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลเฉพาะตึก

4.1.6 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้อง

หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้องแสดงข้อมูลทั้งหมดภายในห้องโดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การใช้งานไฟส่องสว่าง อุณหภูมิของห้องและค่าไฟฟ้าโดยประมาณ อีกทั้งยังสามารถแสดงผลได้ 2 รูปแบบคือรายวันหรือรายสัปดาห์โดยสามารถเลือกวันได้ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ มีการแสดงผลดังนี้

1. หมายเลขห้อง
2. จำนวนวันที่ต้องการดูย้อนหลัง 1 หรือ 7 วัน
3. เลือกวัน/เดือน/ปี ที่ต้องการตรวจสอบ
4. กราฟแสดงผลการใช้งานไฟส่องสว่าง
5. กราฟแสดงผลอุณหภูมิ
6. ค่าไฟฟ้าโดยประมาณ



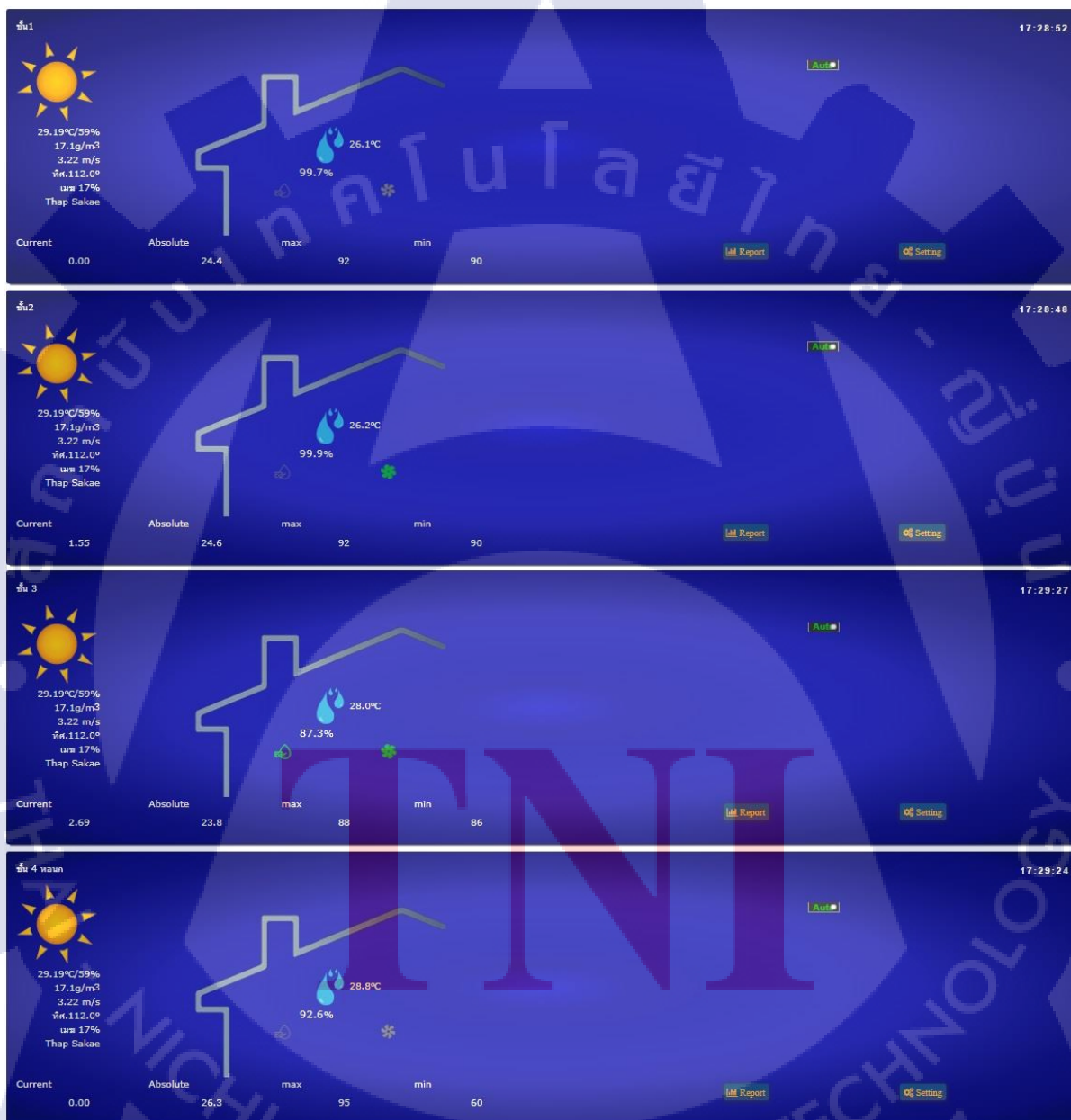
รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้องรายวัน



รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงผลเฉพาะห้องรายสัปดาห์

4.2 ผลการทดลองระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN)

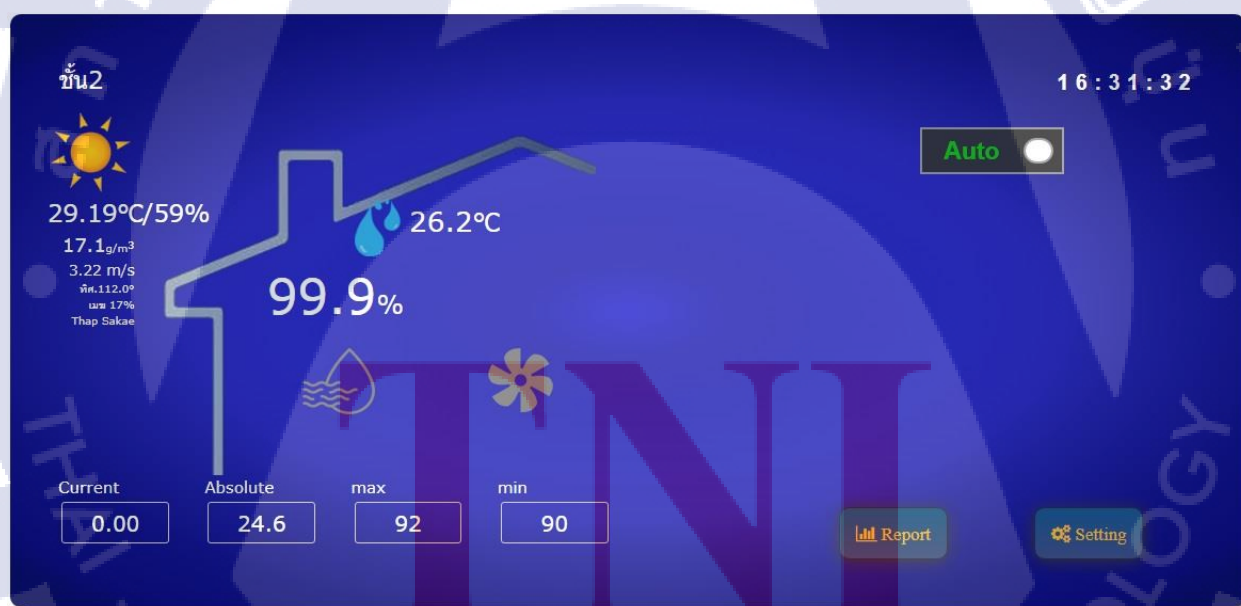
จากรูปที่ 3.18 จากออกแบบระบบควบคุมสภาพแวดล้อมฟาร์มนกแอ่นกินรังด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN) ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ส่งผ่านข้อมูลด้วยลอราแวนส่วนบุคคล (Private LoRa WAN) มายัง LoRa Gateway แล้วส่งต่อไปประมวลผลบน Private Server และสามารถตรวจสอบหรือบริหารจัดการฟาร์มนกแอ่นกินรังผ่านระบบได้ ดังรูปที่ 4.8 – 4.12



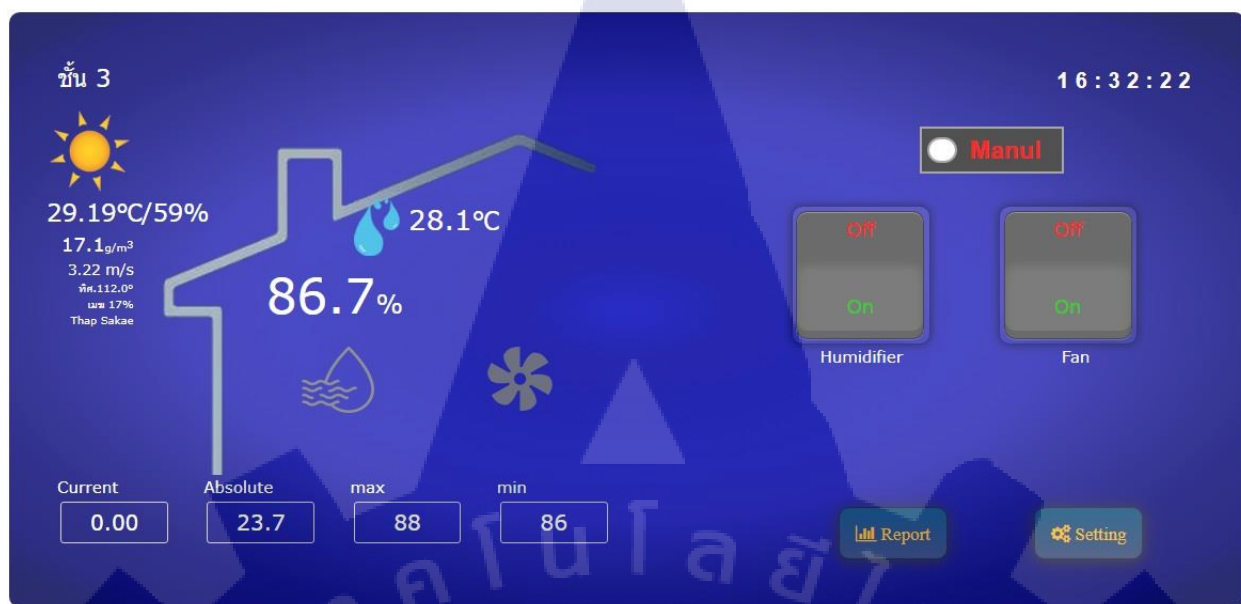
รูปที่ 4.8 หน้าจอรวมเพื่อแสดงผลชั้นที่ 1-4 ของอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



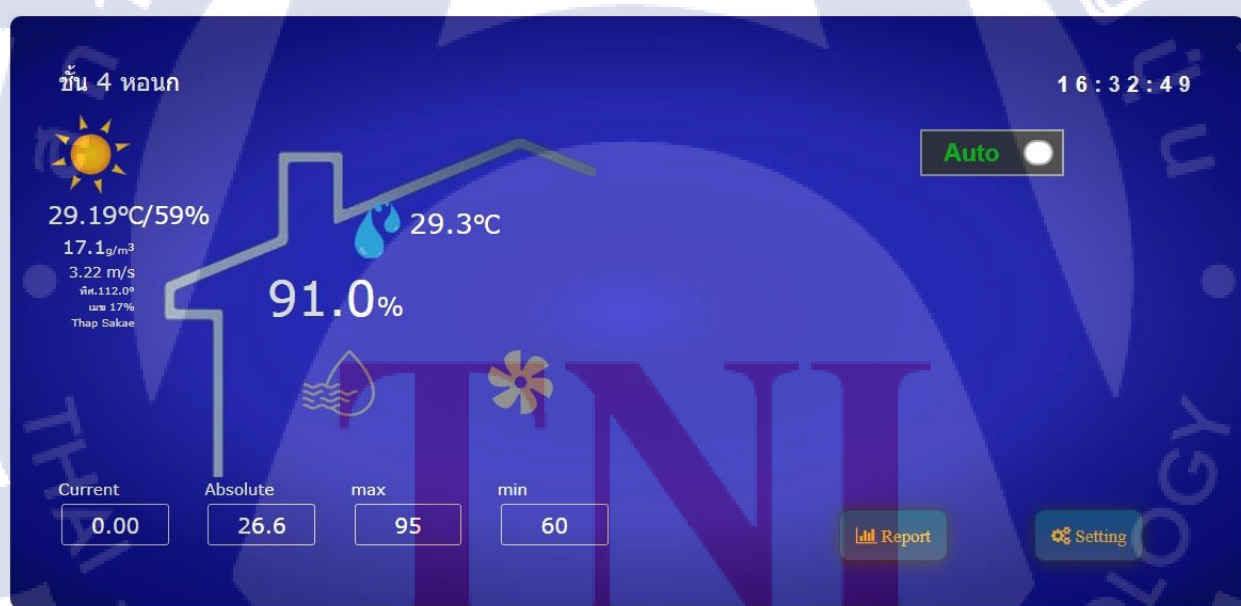
รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลชั้นที่ 1 ของอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผลชั้นที่ 2 ของอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงผลชั้นที่ 3 ของอาคารฟาร์มนกแอนนินรัง



รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงผลชั้นที่ 4 ของอาคารฟาร์มนกแอนนินรัง

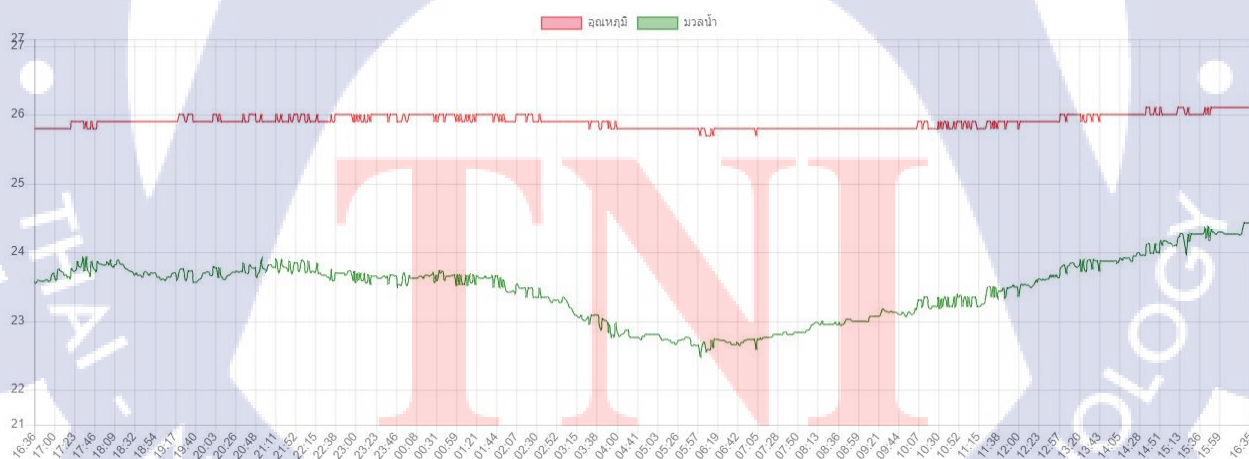
โดยขอแสดงตัวอย่างของผลการทดลองระบบของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง ดังนี้

1. จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟความชื้นของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง) โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี



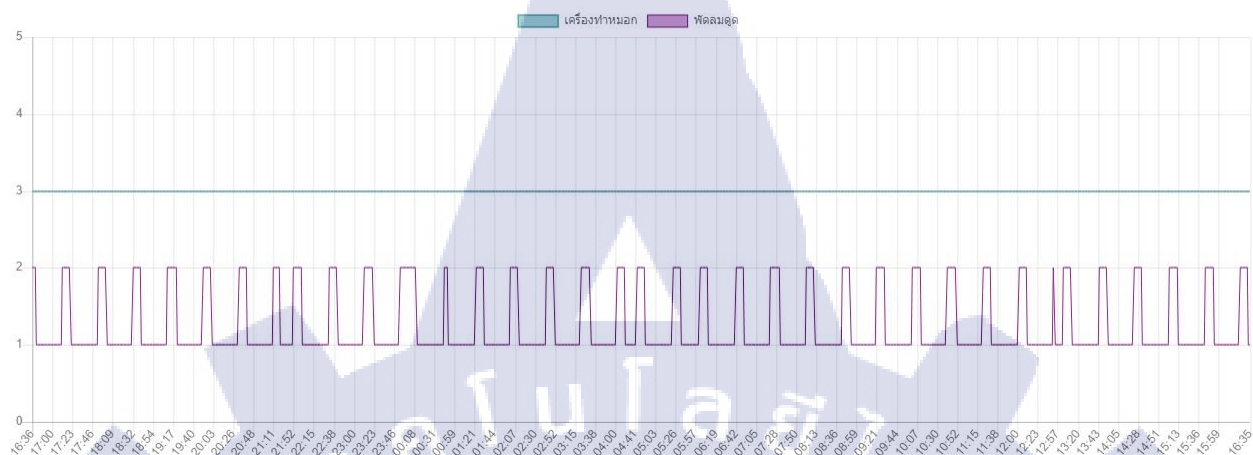
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟความชื้นของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง)

2. จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟอุณหภูมิและมวลน้ำของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง) โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟอุณหภูมิและมวลน้ำของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง)

3. จากรูปที่ 4.15 แสดงกราฟการทำงานของเครื่องทำหมอกและพัดลมของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง) โดยระบบสามารถเลือกการแสดงผลได้ตั้งแต่ 1 ชั่วโมง จนถึง 1 ปี



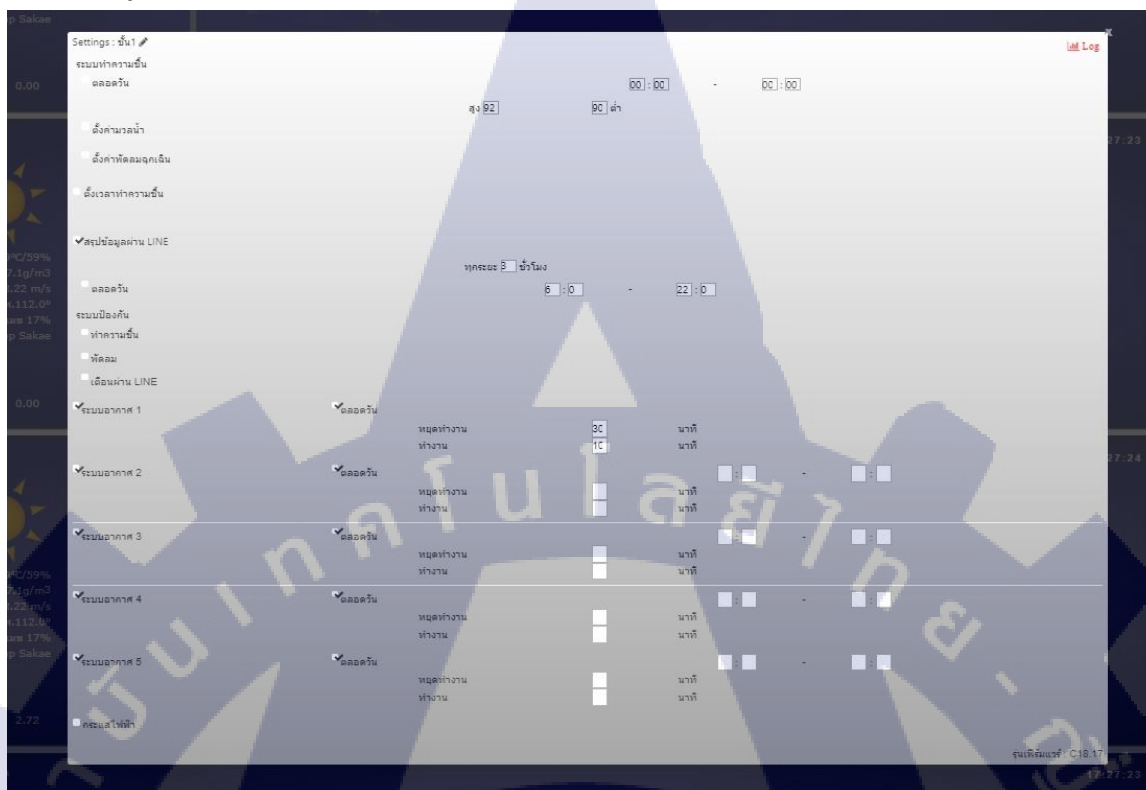
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการทำงานของเครื่องทำหมอกและพัดลมของชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (12 ชั่วโมง)

4. จากรูปที่ 4.16 แสดงข้อมูลการทำงานของระบบควบคุมชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (24 ชั่วโมง) ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ดังรูป

ตารางสรุปการทำงาน วันนี้								
	00:00-03:00	03:01-06:00	06:01-09:00	09:01-12:00	12:01-15:00	15:01-18:00	18:01-21:00	21:01-23:59
ทำหมอก	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
พัดลม	0:37:19	0:34:0	0:42:11	0:34:6	0:32:29	0:24:20	00:00:00	00:00:00
อุณหภูมิ	25.96	25.83	25.79	25.84	25.97	26.06	0.00	0.00
ความชื้น	96.86	94.78	94.74	96.31	97.94	99.25	0.00	0.00
มวลน้ำ	23.54	22.87	22.81	23.24	23.81	24.26	0.00	0.00
อุณหภูมิ (ต่ำ/สูง)	25.90/26.00	25.80/25.90	25.70/25.80	25.80/25.90	25.80/26.10	26.00/26.10	0.00/0.00	0.00/0.00
ความชื้น (ต่ำ/สูง)	96.10/97.40	94.00/96.40	93.80/95.60	95.50/97.10	97.00/99.20	98.60/99.70	0.00/0.00	0.00/0.00
1 วัน	00:00:00							3:24:25
								25.90
								96.45
								23.35
								25.70/26.10
								93.80/99.70

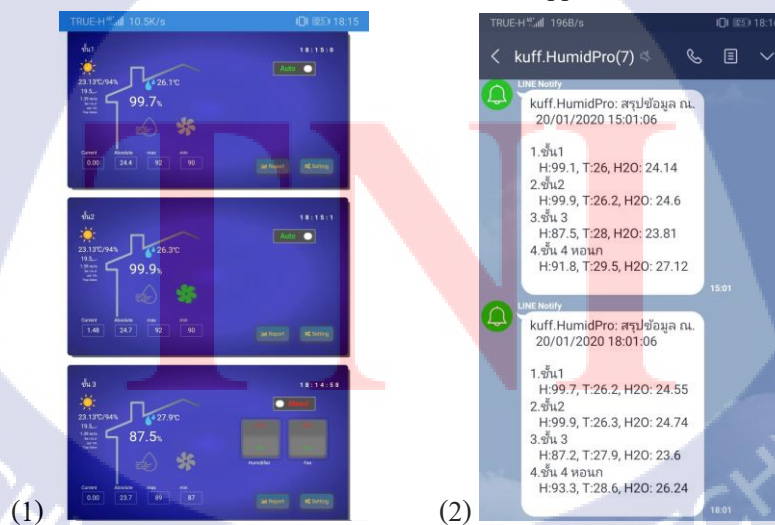
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการทำงานของระบบควบคุมชั้นที่ 1 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง (24 ชั่วโมง)

5. จากรูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของการทำงานตั้งค่าเพื่อควบคุมชั้นที่ 1-4 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง



รูปที่ 4.17 แสดงการทำงานของการทำงานตั้งค่าเพื่อควบคุมชั้นที่ 1-4 ภายในอาคารฟาร์มนกแอ่นกินรัง

6. จากรูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบ (1) บน Android App. และ (2) แจ้งเตือนผ่าน Line App.



รูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบ (1) บน Android App. และ (2) แจ้งเตือนผ่าน Line App.

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและใช้งานสำหรับการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ ด้วยรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ (Things) และรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย LoRa โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ภายในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจสำหรับฟาร์มอัจฉริยะ (ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มนกแอ่นกินรัง) ด้วยการทดลองการออกแบบและทดลองกับอาคารภายในสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในฟาร์มนกแอ่นกินรังต่อไป

ผลจากการวิจัยด้วยการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ที่สามารถรองรับการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเฉพาะกิจ (Private Network) ด้วยเทคโนโลยี LoRa WAN โดยระบบสามารถเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น และคำนวณการใช้พลังงานได้ รวมถึงสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังตลอดเวลา โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มนกแอ่นกินรังเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมได้ต่อไป

5.2 ปัญหา

สำหรับการวิจัยด้วยเทคโนโลยี Private LoRa WAN ยังคงต้องคำนึงถึงกฎหมายควบคุมจาก กสทช. อนุญาตให้ใช้งาน LoRa ในย่านคลื่นความถี่ 920-925 MHz กำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 4W. ดังนั้นในการทดลองจึงต้องระมัดระวังอย่างยิ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

กรณีที่จะนำเทคโนโลยี Private LoRa WAN ไปใช้ในฟาร์มที่ไม่มีระบบไฟฟ้าในอาคารหรือไปใช้ในที่โล่งแจ้งขนาดใหญ่ ควรต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานของ LoRa Node (ถ่าน AA)

5.4 แผนการทำงานในอนาคต

นำผลการวิจัยจากระบบ Private LoRa WAN นี้ ไปติดตั้งในฟาร์มนกแอ่นกินรังเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อม และเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์สำหรับระบบด้วยปัญญาประดิษฐ์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ควราปราโมทย์ ปิยะชัย, “Application of Embedded Linux Base: เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor),” Application of Embedded Linux Base, 2553.
- [2] “Boto 3 Documentation — Boto 3 Docs 1.4.4 documentation.” [Online]. Available: <http://boto3.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [3] “Configuring the AWS Command Line Interface - AWS Command Line Interface.” [Online]. Available: <http://docs.aws.amazon.com/cli/latest/userguide/cli-chap-getting-started.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [4] “EdgeMAX - วิธีการสร้าง IPv6 Tunnel ด้วย Hurricane Electric TunnelBroker in Edgemax และตัวอย่างการตั้งค่าเบื้องต้น - Page 1.” [Online]. Available: <http://www.ubiquiticlub.com/edgemax/21/edgemax-ipv6-tunnel-hurricane-electric-tunnelbroker/206/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [5] “Getting Started with Amazon Simple Storage Service - Amazon Simple Storage Service.” [Online]. Available: <http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/gsg/GetStartedWithS3.html>. [Accessed: 12-Jan-2017].
- [6] “Getting started with picamera | Raspberry Pi Learning Resources.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/getting-started-with-picamera/>. [Accessed: 20-Jan-2017].
- [7] “How to give your Raspberry Pi a Static IP Address - UPDATE,” Cases for your Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www.modmypi.com/blog/how-to-give-your-raspberry-pi-a-static-ip-address-update>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [8] “Hurricane Electric Free IPv6 Tunnel Broker.” [Online]. Available: <https://tunnelbroker.net/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [9] “IoT platform | Internet of Things | Ubidots.” [Online]. Available: <https://ubidots.com/>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [10] “IPv4,” Wikipedia. 16-Dec-2016.
- [11] “IPv6,” Wikipedia. 16-Dec-2016.
- [12] “networking - How to route traffic from a specific port on tun0 to eth0 (and back) - Raspberry Pi Stack Exchange.” [Online]. Available: <http://raspberrypi.stackexchange.com/questions/57380/how-to-route-traffic-from-a-specific-port-on-tun0-to-eth0-and-back>. [Accessed: 20-Dec-2016].
- [13] “PIR Motion Sensor Overview.” [Online]. Available: <http://irish7.exteen.com/>. [Accessed: 12-Jan-2017].

- [14] “RPi-Cam-Web-Interface - eLinux.org.” [Online]. Available: <http://elinux.org/RPi-Cam-Web-Interface>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [15] “Worksheet - Infrared Bird Box | Raspberry Pi Learning Resources.” [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/infrared-bird-box/worksheet/>. [Accessed: 21-Jan-2017].
- [16] “Zolertia/Resources,” GitHub. [Online]. Available: <https://github.com/Zolertia/Resources>. [Accessed: 18-Dec-2016].
- [17] “IPv4 และ IPV6 แตกต่างกันอย่างไร - sawitree I’ngong.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/sawitree1008/bthkhwan/-ipv4-laea-ipv6-taek-tang-kan-xyangri>. [Accessed: 24-Nov-2016].
- [18] Semtech application note an1200.22, “lorawan modulation basics,” revision 2, semtech corporation, may 2015. [Online]. Available: <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>
- [19] L. Feltrin, C. Buratti, E. Vinciarelli, R. D. Bonis, and R. Verdone, “Lorawan: Evaluation of link- and system-level performance,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 3, pp. 2249–2258, June 2018.
- [20] U.Noreen, L.Clavier, and A.Bounceur, “Lora-like css-based phy layer, capture effect and serial interference cancellation,” in *European Wireless 2018; 24th European Wireless Conference*, May 2018, pp.1-6.
- [21] P. Robyns, P. Quax, W. Lamotte, and W. Thenaers, “A multi-channel software decoder for the lora modulation scheme,” in *3rd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security*, March 2018, pp. 41–51.
- [22] T. Elshabrawy and J. Robert, “Closed-form approximation of lora modulation ber performance,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 9, pp.1778–1781, Sept 2018.
- [23] L. Vangelista, “Frequency shift chirp modulation: The LoRa modulation,” *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 24, no. 12, pp. 1818–1821, 2017.
- [24] O. Georgiou and U. Raza, “Low power wide area network analysis: Can lora scale?” *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 162–165, April 2017.
- [25] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, “A study of lora: Long range and low power networks for the internet of things,” *Sensors*, vol. 16, no. 9, 2016. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466>
- [26] J. T. Lim and Y. Han, “Spreading factor allocation for massive connectivity in lora systems,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 4, pp. 800–803, April 2018.



ผลงานจากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1. ผลงานตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- Suppachok Kiatikitikul and Annop Monsakul, “A Performance Study in NB-IoT Networks through the IoT Platforms in Thailand.” RSU International Research Conference 2019, pp. 408-405, 26 April 2019.

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่)

3. อื่นๆ:

- ปริญญานิพนธ์ เรื่อง “ระบบสังเกตการณ์การใช้ไฟส่องสว่างและเครื่องปรับอากาศในห้องเรียน ด้วยลอราแวนส่วนตัวบุคคล (Monitoring System for Light and Air Conditioning Usage in classroom using Private LoRa WAN)” ของนายณัฐพัชร์ พัฒโน นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายผู้ให้บริการ NB-IoT ผ่านแพลตฟอร์ม IoT ในประเทศไทย (Performance Analysis in NB-IoT Networks Through the IoT Platforms in Thailand)” ของนายสุภโชค เกียรติกิตติกุล นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การเข้ารหัสแบบครบวงจรผ่านแพลตฟอร์ม LoRaWAN แบบเปิด (Providing End-to-End Encryption Over Open LoRaWAN Platform)” ของนายชรัตน์ ขำแสง นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
- รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 ในงาน Cisco Innovation Challenge 2019 “Cisco Systems (Thailand) Limited ผู้นำด้านเทคโนโลยีเครือข่ายระดับโลก เชิญมาร่วมสร้างหนทางแก้ปัญหาในรูปแบบของแอปพลิเคชัน โซลูชัน ฯลฯ ด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ IoT หรือ Cybersecurity ให้สังคมดีขึ้นได้ด้วยนวัตกรรมชิงเงินรางวัลมูลค่ากว่า 180,000 บาท และโอกาสที่จะไปแข่งขันประชันไอเดียต่อในระดับนานาชาติ”



A Performance Study in NB-IoT Networks through the IoT Platforms in Thailand

Suppachok Kiatikitikul* and Annop Monsakul

Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand

*Corresponding author, E-mail: ki.suppachok_st@tni.ac.th

Abstract

Nowadays, the Low-Power Wide-Area (LPWA) could account for 70% of Cellular IoT Connections in 2020. There are three big LPWA operators in Thailand (TRUE, AIS and CAT). LPWA by CAT focusing on LoRaWAN but TRUE and AIS focusing on NB-IoT. The purpose of this study is to advance understanding of choosing to select LPWA operators; there are other factors than the price that needs to come into play. Performance, reliability, scalability, and service are key factors in choosing operators that will work best for users. This paper presents the performance study comparison of two NB-IoT operators based with Round-Trip Time (RTT) ping packets, SINR/SNR, RSRQ and RSSI for one week. There is a Pathum Thani site for testing nine popular IoT Cloud Platform (GoogleCloud, AWSamazon, OracleCloud, theThing.io, IBMwatson, Ubidot, IoTtweet, Magellan and Things Board). The obtained results demonstrate that the TRUE operator gives the highest performance of round trip time and SINR/SNR, AIS operator offers a better quality of a number of pings failed and RSRQ.

Keywords: *IoT, NB-IoT, RTT*

1. Introduction

The Internet of Things (IoT) means physical objects which make every object connect to the internet. It possible to be connected by wired or wireless and send useful data from sensing devices with various types of data from real environments every time and everywhere. With IoT technology, it can improve people's quality of life such as a smart city, smart agriculture, or a smart home. IoT devices are low-cost devices with a low power processor that can use more than ten years with one or two of batteries and a design for easy deployment even with people without specialized knowledge.

Wireless Technologies have developed various types of communication such as a short-range personal area like 802.15.4 standard, ZigBee and IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (GlowPan) are popular, but the limitation is the coverage area length around 100 meters and consumes more battery as it tries to send from a more extended range. Next popular wireless technology is LTE (Long term evolution) as it has wide-area coverage around the country, and a high bandwidth usage but it consumes a large amount of the battery.

Recently, a low power wide area (LPWA) means wireless technology devices can send data through a radio frequency and consume a low amount of battery for mass distributed devices and lower costs for wide geographical footprints or deep within an urban infrastructure as Figure 1 compares with the other wireless technology strong point is coverage range is very far that make LPWA suitable for IoT such as Low-Power Wide-Area Network (LoRaWAN), Enhanced Machine-Type Communication (eMTC), SigFox and NB-IoT. LPWA are becoming popular because of the huge area coverage and low consuming battery make LPWA look interesting in academic and industrial sectors. At this moment, three of the operators in Thailand namely TRUE, AIS and CAT telecom had invested a considerable amount of money in implementing LPWA by CAT focusing on LoRaWAN but TRUE and AIS focusing on NB-IoT. The mission of RTT measurement is to collect and preprocess the information from all radio modem & router nodes in the network operation. RTT is the time required for a packet to travel from the source to the destination and back again.

The NB-IoT is developed based on Narrowband Cellular Internet of Things (NB-CIoT) and has become an essential branch of the Internet of everything (IoE). The NB-IoT uses only about 180 kHz bandwidth, supports two modes for uplink. Single tone with 15 kHz and/or 3.75 kHz tone spacing Multiple tone transmissions with 15 kHz tone spacing, HD-FDD duplex mode, Pi/4 QPSK, Class 3 and 5 (14 dBm)



power class and can be directly deployed on a GSM, UMTS, or LTE network, reducing deployment costs and achieving a smooth upgrade. NB-IoT is an 11 compatible version of LTE targeted for cellular-based IoT applications. The Radio measurements in Long Term Evolution (LTE) system are Channel Quality Indicator (CQI), Reference Signal Received Power (RSRP), Reference Signal Received Quality (RSRQ), and Carrier Received Signal Strength Indicator (RSSI).

The IoT platforms are emerging as the central backbone of these IoT deployments. These IoT Platforms are the key to the development of scalable IoT applications and services that connect the real and virtual worlds between objects, systems, and people. There are more than 300 IoT platforms in the market today, and the number is continuing to grow. However, as discussed not every platform is the same – IoT platforms are being shaped by varying entry strategies of different companies trying to capitalize on the IoT potential. Innovative startups, hardware, and networking equipment manufacturers, enterprise software and mobility management companies are all competing to become the best IoT platform on the market. Various strategies are visible with companies.

NB-IoT networks are designed for machine-to-machine communication, which generally requires low data rates. When building NB-IoT networks (Malik et al., 2018; Biswas & Giaffreda, 2014), it is essential to test the performance of new implementations to ensure that the required network quality is available. Tests to measure the quality of service (QoS) in NB-IoT networks are typically performed with NB-IoT modules that are controlled by software.

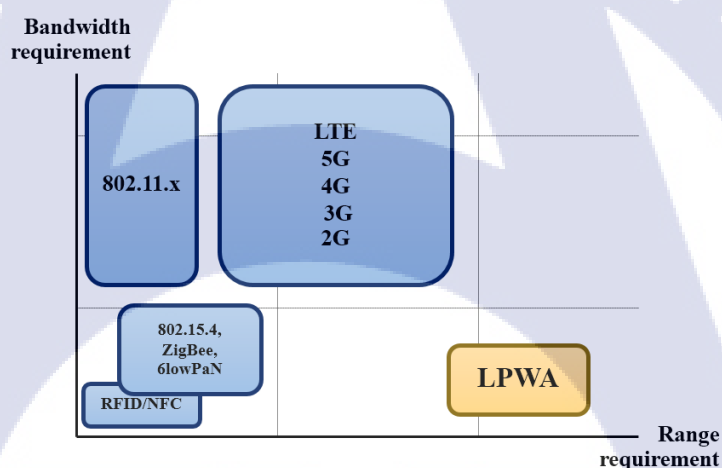


Figure 1 Show graph of bandwidth required and range capability of wireless technology

In this paper, we are going to present an overview of NB-IoT Technology and evaluate the performance by testing on real NB Devices from AIS and TRUE to show the difference for users to choose devices easier by various factors from locations in Pathum Thani.

2. Literature Review

The Mobile Technologies Performance Comparison for Internet Services in Bangkok (Chimmanee & Patpituck, 2013), is where the author tested the performance of cellular networks through three operators by three essential factors such as latency, data rate, and speed test. The author set up the experiment by using a laptop with a 3G air card connected to the internet from favorite five places in Bangkok which have high congestion. By the latency test the author used ping function to check the round trip time from devices to a private server and an international server. By the data rate test the author used FileZilla to send 1 MB of data from a laptop to an FTP private server to check downlink speeds and uplink speeds. By the speed test testing, the author uses <http://speedtest.adslthailand.com/> to check the data rates and round trip times in one period. From the experiment, shows AIS offered a better performance in the latency tests in both domestic and



international websites. TrueMoveH offered better performance in the speed test for uploading and the user data rate tests, DTAC provided a better performance in the speed test for downloading.

Analysis in the Internet Traffic Pattern based on RTT over ADSL in Thailand (Chimmanee, Jantavongso & Kantala, 2015), Author testing performance of Asymmetric digital subscriber line (ADSL) network via three operators from two locations such as Bangkok and Pathumthani by using ping packet trains with 100 bytes for 24 hours for one month to a domestic web server. Then the author presented the formula to classify the type of traffic into three types of high traffic volume, average traffic volume and low traffic volume for evaluating traffic. From the experiment, the result shows that TRUE ADSL operators in Thailand should provide the best performance compared to others.

IoT and Cloud Convergence Opportunities and Challenges, the author discusses what IoT cloud should offer. Good IoT cloud services must be attributed with ubiquity, reliability, high-performance, efficiency, and scalability

A Survey of IoT Cloud providers, according to the author, discusses the primary function of the platform as service for IoT or cloud with IoT support and what IoT needs such as hiding data generation, processing, and virtualization. The survey studies popular cloud IoT as google IoT, Amazon Web Services Azure and provide intense details about each characteristic for each site.

3. Overview of NB-IoT

NB-IoT or LTE CAT NB1 was developed by the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) use license radio for the frequency band. Design for long-range connection more than 15 km in the countryside and 3 km in urban areas, and used Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation. Work on Evolved packet system (EPS) that sp. requires a minimum bandwidth of 180 kHz (Chen et al., 2017; Adhikary et al., 2016). Every cell site can support around fifty-five thousand nodes (Zayas et al., 2017). Cell site can use the same LTE cell site but implement an additional function to support NB-IoT that make easier for the operator who already is provided LTE the cell site before. NB-IoT familiar to LTE because LTE and NB-IoT are wireless technology that was developed by the same organization that required a sim card for access through an operator cell site but NB-IoT cut some functions from LTE such as Hand Over, Monitor the channel quality, Carrier aggregation and Dual Connectivity (Sinha, Yiqiao & Hwang, 2017). NB-IoT can deploy with three types of modes first is a stand-alone operation, second is guard band operation, and third is In-band operation.

In this research, we are focusing on a BC-95 Band 8 900 MHz NB-IoT module working with Arduino Uno or Arduino Mega because TRUE and AIS also use Quectel BC-95 NB-IoT modules and develop NB-IoT library for BC-95 by themselves.

TRUE and AIS was provided NB-IoT module designed for Arduino. Using Quectel BC95-B8 work on 900 MHz frequency uplink speed is 24 kbps downlink speed is 45.625 kbps supported user datagram protocol (UDP) and constrained application protocol (COAP) probably support other protocols later. At this moment, both operators mention that the coverage area already provides all provinces in Thailand. From Figure 2 it shows a picture of the TRUE NB-IoT module and the AIS NB-IoT module. The significant difference on NB devices from TRUE and AIS is NB devices from AIS using E-sim that are embedded on board but TRUE NB devices using sim card slot. Next is the antenna from AIS NB devices are slightly bigger than TRUE NB devices. The price of AIS NB module is 1,190 baht for one device and internet service connection 300 baht for one year and the price of TRUE NB module is 1,150 baht for one device and get 1-year free internet service connection. For the next year the expense is 300 baht per one device same as AIS.

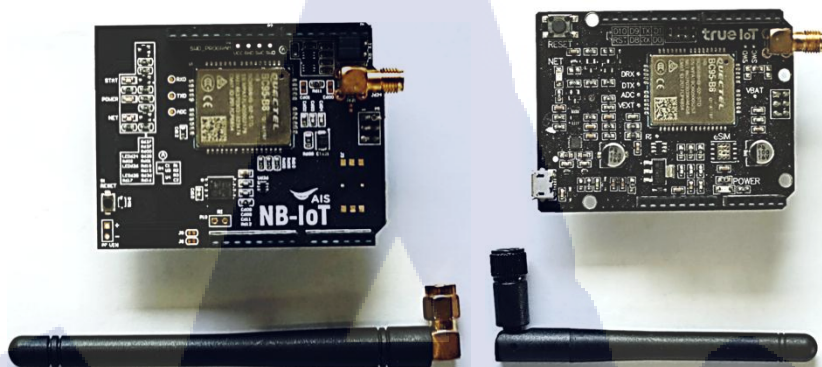


Figure 2 AIS NB-IoT module and TRUE NB-IoT module

Typically, NB-Devices will send data to IoT Cloud Platform for storing and monitoring data. IoT Cloud Platform have various types of server providers such as IBM, Amazon, Google, Oracle, etc. also has free or paid for additional functions. Cloud IoT can store data and dashboard for showing data. The dashboard from each IoT Cloud Platform may look different. Some IoT Cloud Platforms have various types of graphs for creating dashboard as some sites have analytic functions or export (.csv file) to open in Excel or Jason to create some programs for getting value and trigger something or show values in a graph. IoT Cloud Platforms have an open source like Grafana or Thing board which makes the user able to provide their own IoT Cloud Platform. The key is a cloud for NB-IoT that should open functions which support UDP or CoAP.

4. Experiment Configuration

We prepared two NB devices from TRUE and AIS with Arduino Uno. Then we created specific modify programs to collect important factors that are readable from NB devices. Firstly, we use the ping method to get round trip time data that implies a time delay between NB devices and a destination server. Ping can fail if the round trip time value is higher than ten seconds or time to leave (TTL) value is high. Secondly, we get a Received Signal Strength Indicator (RSSI) which measures the average total received power between Board and cell site. Moreover, Reference Signal Received Quality (RSRQ) which indicates the quality of the received reference signal and some resource block for calculations. Thirdly signal to noise ratio (SNR) is defined as the ratio of signal power to the noise power. We modify the program to ping and get all data every one-minute program will reread all value for twenty-four hours. We install the same program into an AIS NB-device and TRUE NB-Device and start the experiment at the same time. The experiment started at the twenty-third of October at noon to the thirtieth of October at noon or one week. The location is at Pathum Thani. Destination nine IoT cloud platform we choose a popular server (Ray, 2016; Pflanzner & Kertesz, 2016) and quickly implemented a server which operators already supported in the library in git hub namely Google IP, AWSamazon, CloudOracle, TheThingio, IBM Watson, ubidot, IoTtweet, AISmagellan and thing board as shown in Figure 3.

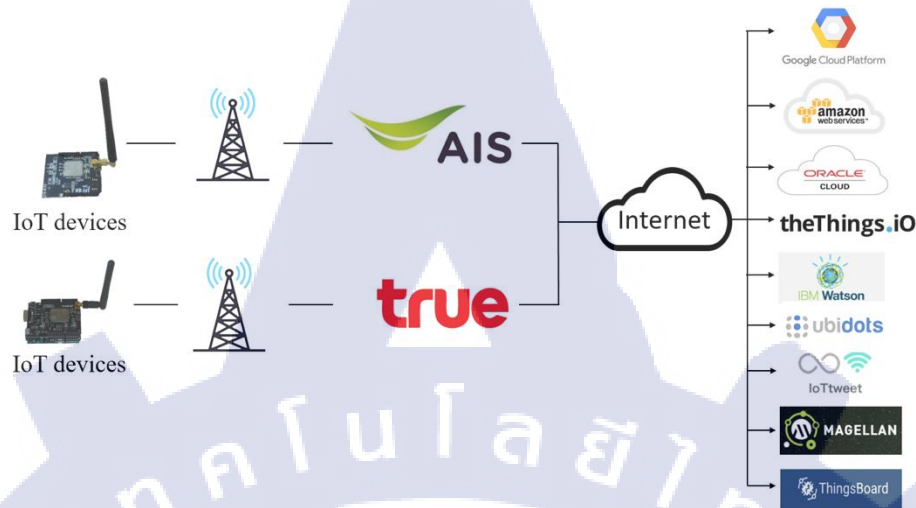


Figure 3 Show network configuration

5. Performance Evaluation

The experiment started on 23rd October 2018 at noon to thirtieth October at noon or one week at the Pathum Thani site using NB-IoT from two operators. Some 125,000 packets. Each device connects to IoT Cloud Platform by using their own operator's network.

From Figure 4 the average round trip time (RTT) from two devices work slowest on Google-IoT and fastest on IoT-tweet. The round trip time is quite high such as AIS on day six it goes almost four thousand milliseconds, but the result on the TRUE device is faster than the AIS devices. Moreover, another site's result is not too much different - just around a few hundred-millisecond stands between one and few hundred milliseconds but on day eight two devices cannot reach IBM-Watson.

AT commands the connected modules as described by Quectel NB-IoT BC95 module. During the measurement, the test flow can be quickly follow the message view showing the sent AT commands and received responses. Especially for ping tests via AT commands, BC95 module now provides signals that show the result values of the AT ping. These values can visualize in standard BC95 module views.

SINR/SNR – The signal-to-noise ratio of the given signal.

RSSI – Represents the entire received power including the wanted power from the serving cell as well as all cochannel power and other sources of noise, and it is related to the above parameters.

RSRQ – Measurement is a cell-specific signal quality metric. Similar to the RSRP measurement, this metric is used mainly to provide ranking among different candidate cells in accordance with their signal quality.

RSRP – Reference Signal Received Power is an RSSI type of measurement. It is the power of the LTE Reference Signals spread over the full bandwidth and narrowband. A minimum of -20 dB SINR (of the S-Synch channel) is needed to detect RSRP/RSRQ.

5.1 Result of Round-Trip Time (RTT)

A typical Ping execution will send 8 bytes of data to a given destination and record the time that a response arrived back. The latency is expressed as the round trip time that includes both the transfer time for the test packet and the response packet. That time is shown in milliseconds. From Figure 4 it shows the number of pings failed between TRUE, and AIS from all the packets is around one hundred twenty-five thousand divided into AIS NB-device has 62,403 pings and ping failed is 124 times or around 0.19 percent. TRUE NB-device has 62,082 pings and ping failed is 972 times or 1.56 percent. With percentages (%) packet loss, Ping failed is between 124 and 972 times of AIS lower than with TRUE packet loss.

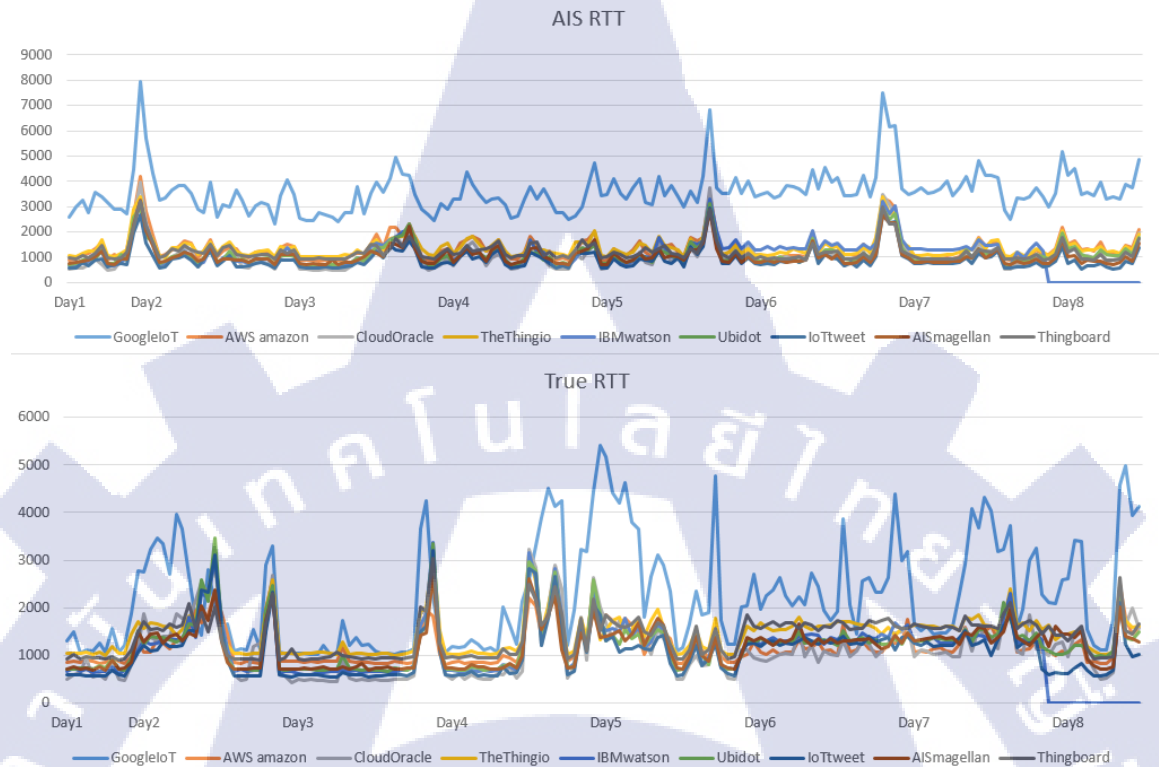


Figure 4 Show results of Round-Trip Time (RTT) for every hour

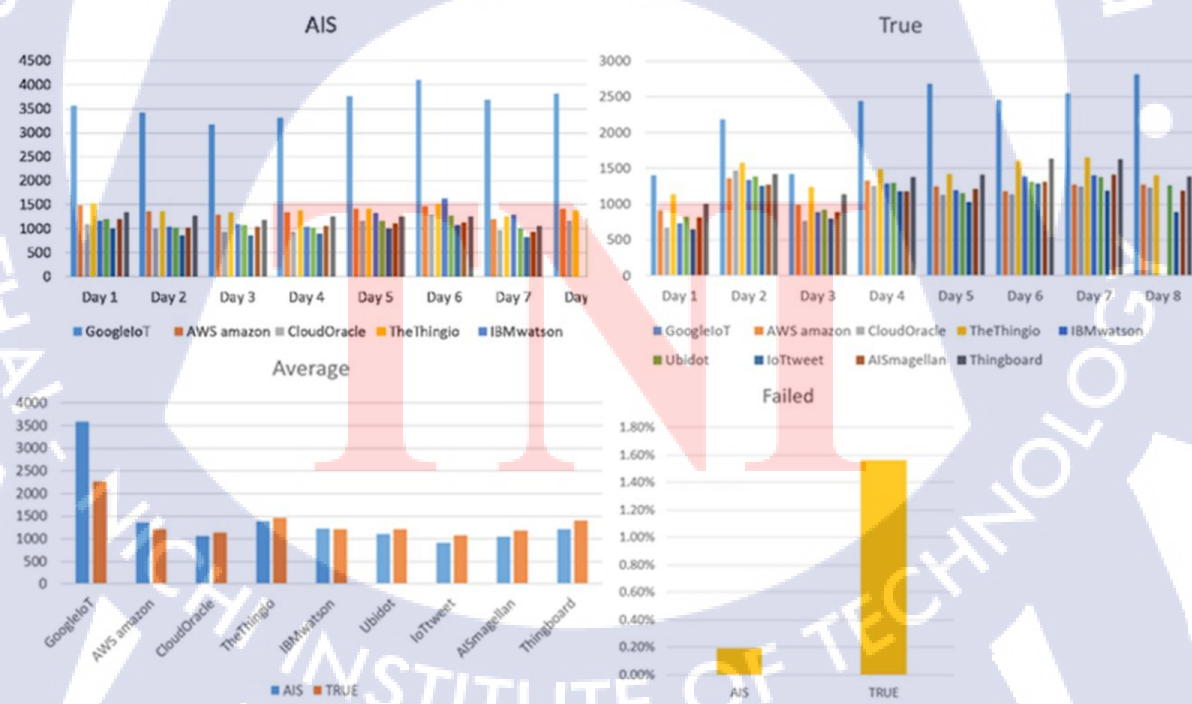


Figure 5 Show results of Round-Trip Time (RTT)



5.2 Result of RSSI, RSRQ, and SNR

RSSI measurements represent the relative quality of a received signal on a device. RSSI indicates the power level being received after any possible loss at the antenna and cable level. The higher the RSSI value, the stronger the signal. When measured in negative numbers, the number that is closer to zero usually means a better signal. As an example -50 dB is a pretty good signal, -75 dB, - is fairly reasonable, and -100 dB is no signal at all. Therefore, RSSI from TRUE and AIS NB-devices value is around -60 dB in every day of the experiment is a good signal as shown in Figure 6.

RSRQ is quality also considering RSSI and the number of used Resource Blocks (N) $RSRQ = (N \cdot RSRP) / RSSI$ measured over the same bandwidth. The RSRQ measurement provides additional information when RSRP is not sufficient to make a reliable cell re-selection decision. As an example -10 dB is a pretty good signal, -15 dB, - is fairly reasonable, and -20 dB is no signal at all. Therefore, RSRQ from TRUE NB-devices per day does not change much, but RSRQ from AIS NB-devices starting dropping from day four until the last day of the experiment and is a good signal as shown in figure 6.

SNR is a measure used in science and engineering that compares the level of the desired signal to the level of background noise. It is defined as the ratio of signal power to the noise power, often expressed in decibels. A ratio higher than 1:1 (greater than 0 dB) indicates more signal than noise. While SNR is commonly quoted for electrical signals, it can be applied to any form of signal. As an example ≥ 20 dB is a pretty good signal, 13 dB to 20 dB is fairly reasonable, 0 dB to 13 dB is poor and ≤ 0 dB is no signal at all. Therefore, we observed that TRUE NB-devices has greater SNR than AIS NB-devices from every day of the experiment and it is a good signal as shown in Figure 6.

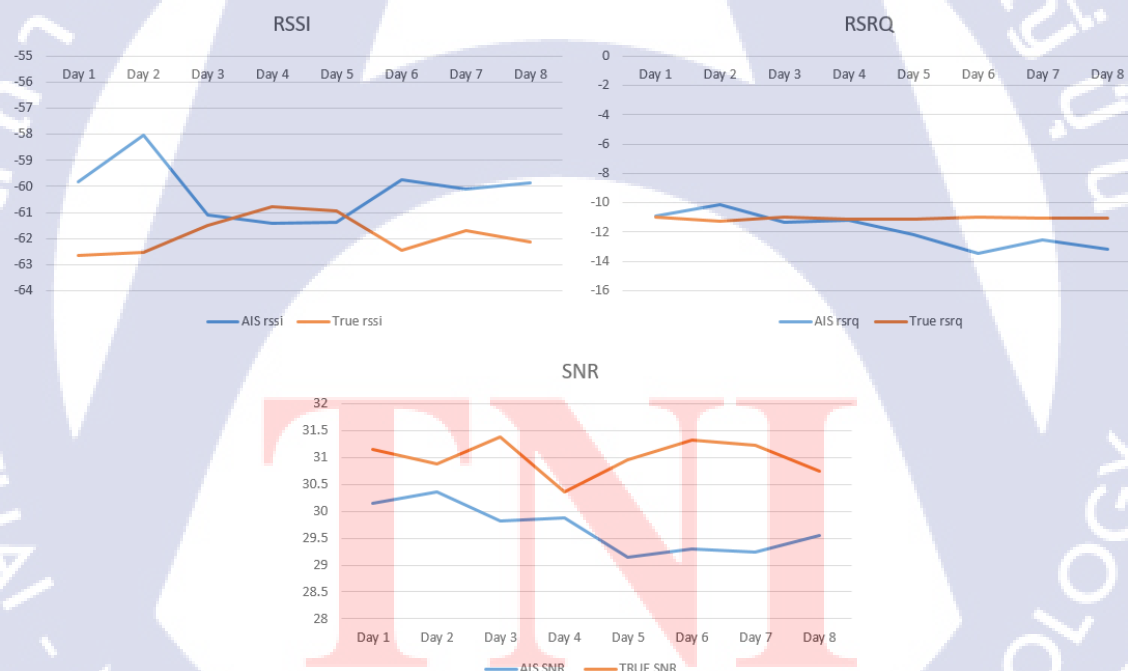


Figure 6 Show results of RSRQ, RSSI, and SNR

6. Conclusion

In this work, an analysis of some practical measurement results recorded from a live LPWA operator of Thailand (TRUE and AIS) are presented to verify the possible relationships among 4G-LTE measurements such as SINR, RSRP, RSSI and RSRQ as well as to evaluate the effects of SNR on



throughput. From the experiment, performances comparison of NB-IoT devices from the two operators at Pathumthani outcome are shown. True has better performance on round trip time and SNR. AIS offers a better quality of the number of ping failed and RSRQ. In part of the IoT cloud platform, round trip time from most of the sites are not too different. It must depend on the operator networks. Some site Round Trip Time are quite high as it is may not be suitable for some technology that needs fast latency. Even AIS and TRUE NB-devices are using the same chip (Quectel BC95-B8) but have some differences like sim slot, and e-sim, antenna size, and the price is also a difference.

Form the recordings; we observed that RSRP and SNR are proportional to each other on average, and lesser the difference between RSSI and RSRP, better is the RSRQ, and if the SINR is better for a measurement slot, higher throughput is achieved. It is also noticed that when the RSRP and RSRQ of a serving cell drop below the RSRP/RSRQ of the neighbor cell, the handover event occurs to maintain the ongoing call or data session. All of these observations are found to be consistent with the theory. Our future work includes the performance analysis of a live LPWA network based on practical measurement results.

7. References

- Adhikary, A., Lin, X., & Wang, Y.-E. (2016). Performance Evaluation of NB-IoT Coverage. In 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall) (pp. 1–5).
- Biswas, A. R., & Giaffreda, R. (2014). IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges. In 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 375–376).
- Chen, J., Hu, K., Wang, Q., Sun, Y., Shi, Z., & He, S. (2017). Narrow-Band Internet of Things: Implementations and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 1–1.
- Chimmanee, S., & Patpituck, P. (2013). Analysis in the internet traffic pattern based on RTT over ADSL in Thailand. In *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)* (pp. 583–588).
- Chimmanee, S., Jantavongso, S., & Kantala, S. (2015). The mobile technologies performance comparison for Internet services in Bangkok. In 2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) (pp. 337–342).
- Malik, H., Alam, M. M., Moullec, Y. L., & Kuusik, A. (2018). NarrowBand-IoT Performance Analysis for Healthcare Applications. *Procedia Computer Science*, 130, 1077–1083.
- Pflanzner, T., & Kertesz, A. (2016). A survey of IoT cloud providers. In 2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 730–735).
- Ray, P. P. (2016). A survey of IoT cloud platforms. *Future Computing and Informatics Journal*, 1(1), 35–46.
- Sinha, R., Yiqiao, W., & Hwang, S.-H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 3.
- Zayas, A. D., & Merino, P. (2017). The 3GPP NB-IoT system architecture for the Internet of Things. In 2017 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops) (pp. 277–282).

CISCO

INNOVATION CHALLENGE 2019

ส่งทีมเข้าร่วมในงาน งาน Cisco Innovation Challenge 2019 มีรายละเอียด ดังนี้

"ทีมที่ 8 : ทีม Captain Thai-Nichi ผลงาน การควบคุมฟาร์มนกนางแอ่น" และมีรายชื่อทีม ดังนี้

1. รศ.ดร. อรรณพ หมั่นสกุล ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัย
2. นายสุภโชค เกียรติกิติภูถ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ป.โท)
3. นายนิธิศ มนต์บุรินทร์ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ป.ตรี)

ประกาศการจัดงาน:

เป็นงานแข่งขันประชันความคิดที่จะแสดงพลังของไอเดียและเทคโนโลยีให้เห็นเป็นความจริง เพียงคุณเป็นคนที่มีไอเดียและความฝันที่อยากเห็นหนทางการแก้ไขปัญหา ไม่ว่าจะเป็นระดับบุคคล องค์กร หรือสังคม Cisco Systems (Thailand) Limited ผู้นำด้านเทคโนโลยีเครือข่ายระดับโลก อยากชักชวนคุณมาร่วมสร้างหนทางแก้ปัญหาในรูปแบบของแอปพลิเคชัน โซลูชัน ฯลฯ ด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ IoT หรือ Cybersecurity ให้สังคมดีขึ้นได้ด้วยนวัตกรรมซึ่งเงินรางวัลมูลค่ากว่า 180,000 บาท และโอกาสที่จะไปแข่งขันประชันไอเดียต่อในระดับนานาชาติ



CISCO
INNOVATION
CHALLENGE 2019

**You innovate.
We transform.**

ร่วมเป็นหนึ่งในไอเดีย ที่จะเปลี่ยนสังคม
ให้ดีขึ้นด้วยเทคโนโลยี IoT และ Cybersecurity

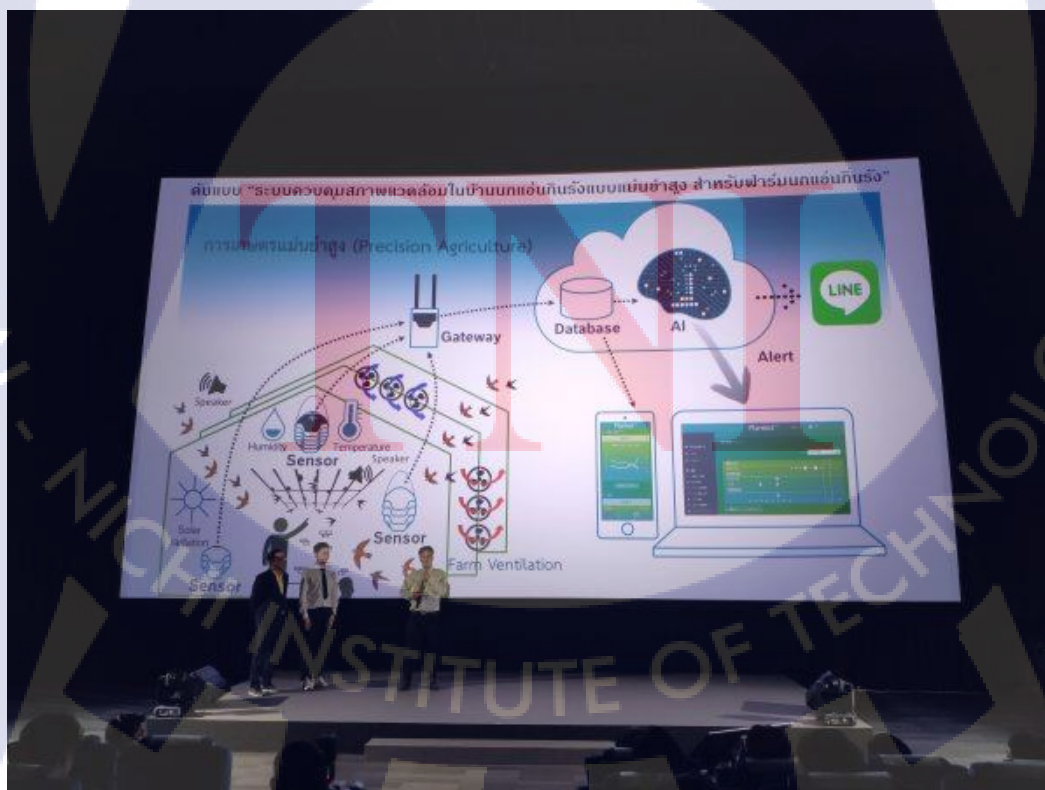
พร้อมเงินรางวัล
กว่า **100,000 บาท** และโอกาส
ไปประชันความคิดสร้างสรรค์ในระดับสากล

ส่งไอเดียของคุณ
ได้ตั้งแต่วันนี้ - 30 มิ.ย. 2562

CISCO

ผลการแข่งขัน:

ทีมผู้ชนะจะได้เงินรางวัล 100,000 บาท, 50,000 บาทและ 30,000 บาทตามลำดับ ทุกทีมจะได้รับสิทธิ์เข้าร่วมเรียนหลักสูตรออนไลน์ Introduction to IoT และ Introduction to Cybersecurity โดย CISCO Networking Academy ส่วนทีมชนะเลิศจะเป็นตัวแทนประเทศไทยไปแข่งขันต่อในรายการระดับโลก



ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1

ทีม Captain Thai-Nichi ผลงาน การควบคุมฟาร์มขนางแอ่น ที่เอาเทคโนโลยี IoT มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตรังนกที่ถือว่าเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ด้วยการนำเทคโนโลยี IOT มาพร้อมกับเซ็นเซอร์และระบบ Cloud มาใช้ควบคุมสภาพแวดล้อมในฟาร์มบ้านขนางแอ่นให้เหมาะสม ทั้งความชื้น อุณหภูมิในการทำฟาร์มเพื่อให้ได้ผลผลิตมากขึ้นและลดต้นทุนการผลิตให้ถูกลง

