

แพลตฟอร์มประหยัดพลังงานสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

**LOW POWER PLATFORM FOR
INDOOR POSITIONING SYSTEM**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปี การศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง แพลตฟอร์มประหยัดพลังงานสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

LOW POWER PLATFORM FOR INDOOR POSITIONING SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายทองไท ศักดิ์โสภิชฐ์ รหัสนักศึกษา 60010371
2. นายธนวันต์ โฆสิตากา รหัสนักศึกษา 60010410



(อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แพลตฟอร์มประหยัดพลังงานสำหรับ

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

นายทองไท	ศักดิ์โสภณัฐ	60010371
นายธนวันต์	โพลิตาภา	60010410
อาจารย์สรยุทธ	กลมกล่อม	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563		

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคโนโลยีพลังงานต่ำ ประกอบไปด้วยเทคโนโลยี Bluetooth Low Energy (BLE) หรืออุปกรณ์พลังงานต่ำ และเทคโนโลยี LoRaWAN โดยได้นำบอร์ด Nordic nRF52840 มาพัฒนาเป็นตัวรับสัญญาณจาก Bluetooth Beacon ที่ติดตั้งกระจายอยู่ภายในบริเวณที่ต้องการระบุตำแหน่ง จากนั้นส่งความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ย่อมาจาก Received Signal Strength Indicator) จาก Beacon แต่ละตัวที่วัดได้ผ่าน LoRaWAN ไปยัง LoRaWAN Server ซึ่งสร้างจาก Chirpstack

นำความเข้มสัญญาณที่ได้จาก BLE Beacon ไปสร้างโมเดลทำนายตำแหน่งโดยใช้ Deep Neural Network ซึ่งจะช่วยให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอยู่ที่ 2.1 m นอกจากนี้ยังได้พัฒนา Web Application ด้วย Vue.js และ Node.js เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นการแสดงตำแหน่งปัจจุบันของพนักงานบนแผนที่ 2 มิติ, แสดงตำแหน่งย้อนหลังและเส้นทางการเดินของพนักงานบนแผนที่ 2 มิติ, จำนวนและแสดงเวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนในแต่ละแผนก และการตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Low Power Platform For Indoor Positioning System

Mr. Thongthai Saksopit 60010371

Mr. Tanawan Kositapa 60010410

Mr. Sorayut Glomglome Advisor

Academic Year 2020

Abstract

This project's goal is to develop an indoor positioning system based on low energy technology which uses Bluetooth Low Energy and LoRaWAN. This project brought nRF52840 Development Kit to make it be the receiver for receiving the signal from the Bluetooth beacon. And then send RSSI (Received Signal Strength Indicator) from each beacon via LoRaWAN to the LoRaWAN server which developed by Chirpstack.

Use RSSI from BLE Beacon to create a positioning prediction model using Deep Neural Network. This helped for increasing the accuracy of positioning. The mean error is 2.1 m. We also developed the web application using Vue.js framework and Node.js for display data whether it be monitoring the current location of an employee on the 2-dimensional map, display retrospective location and the route on the 2-dimensional map, calculate and display the work time of each employee and inspecting violations of entering the restricted areas of the employees as well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการในภาคการศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากหลากหลายบุคคล โครงการในภาคการศึกษานี้จะผ่านไปไม่ได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น การให้คำแนะนำถึงแนวทางการทำงานที่ดี การให้คำปรึกษาเพื่อหาทางออกเมื่อพบเจอกับ ปัญหา รวมถึงให้ความรู้เกี่ยวกับตัวงาน ทำให้งานต่าง ๆ เมื่อเจอปัญหา ก็สามารถผ่านไปได้อย่างดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ประสาทวิชาความรู้มาตลอด 4 ปี ซึ่งความรู้หลาย ๆ แขนงก็ถูกใช้เป็นพื้นฐานและเป็นส่วนหนึ่งของ โครงการนี้ และขอขอบคุณผู้ดูแล ห้องแลป HCRL และห้อง 606 ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการพัฒนาโครงการนี้ตลอด

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ให้คำปรึกษาและแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน รวมถึงการรับฟังปัญหา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนและให้ความรู้ คุณธรรม จริยธรรม และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาจนได้มีโอกาสมาทำโครงการนี้

ทองไท ศักดิ์โสภีษฐ์
ธนวันต์ โฆสิตาภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	4
1.3 ประโยชน์ของโครงการ	4
1.4 ขอบเขตของโครงการ	4
1.5 ข้อจำกัดของโครงการ	5
1.6 แผนการดำเนินงาน	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 การออกแบบ	23
3.1 โครงสร้างของระบบ	23
3.2 Use Case	25
3.3 Sequence Diagram	29
3.4 การออกแบบโมเดล.....	33
3.5 การออกแบบฐานข้อมูล.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	37
4.1 การพัฒนาในส่วนบอร์ดตัวรับส่งข้อมูล (End-Device)	37
4.2 การเก็บชุดข้อมูล Dataset	39
4.3 การประเมินผล.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การทดลองระบุตำแหน่งด้วยโมเดล	41
4.4 การทดสอบการระบุตำแหน่ง	46
4.5 การแสดงผลบนหน้า Web Application.....	47
บทที่ 5 สรุป.....	57
5.1 บทสรุป	57
5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ	57
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการตั้งค่า ChirpStack	61
ก.1 การตั้งค่าในส่วน LoRa Platform.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของบลูทูธพลังงานต่ำ กับ บลูทูธปกติ	8
ตาราง 3.1 Use case ล็อกอิน	25
ตาราง 3.2 Use case คู่มือตำแหน่งปัจจุบันของพนักงาน.....	26
ตาราง 3.3 Use case คู่มือตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน	26
ตาราง 3.4 Use case คู่มือเส้นทางการเดินของพนักงาน	26
ตาราง 3.5 Use case ลงทะเบียนให้พนักงาน	27
ตาราง 3.6 Use case คู่มือเวลาทำงานของพนักงาน	28
ตาราง 3.7 Use case คู่มือการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงาน	28
ตาราง 3.8 Use case ล็อกเอาต์.....	28
ตาราง 4.1 การวัดผลการทำนายตำแหน่งของโมเดลด้วยค่าต่าง ๆ	43
ตาราง 4.2 การวัดผลการทำนายตำแหน่งของโมเดลด้วยค่ามาก-น้อยสุด และค่าเฉลี่ยของ Euclidian Distance.....	44
ตาราง 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า Euclidian Distance เฉลี่ย ระหว่างการระบุตำแหน่งด้วยโมเดลและวิธีสามเหลี่ยมระยะ หน่วยเป็นเมตร (m).....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูป 1.1 ตัวอย่างการใช้งานในคลังสินค้า.....	1
รูป 1.2 ตัวอย่างการใช้งานในห้างสรรพสินค้า.....	2
รูป 1.3 ตัวอย่างการใช้งานในสถานพยาบาล.....	3
รูป 1.4 System Diagram	5
รูป 1.5 แผนการดำเนินงาน	6
รูป 2.1 nRF52840 Development Kit	9
รูป 2.2 Radioland nRF52832 BLE Beacon.....	10
รูป 2.3 LoRaWAN OSI Model	11
รูป 2.4 STM32 B-L072Z-LRWAN1 Murata	12
รูป 2.5 NUCLEO-F746ZG	13
รูป 2.6 LoRa gateway expansion board	13
รูป 2.7 ChirpStack LoRaWAN Server User Interface	14
รูป 2.7 Trilateration.....	17
รูป 2.8 สูตรคำนวณระยะห่างจากค่าความเข้มสัญญาณ	17
รูป 2.9 Deep Neural Network	18
รูป 2.10 ภาพเปรียบเทียบการวัดค่า Error ด้วยวิธีระยะทางยูคลิเดียน	20
รูป 2.11 ผลการทดลองในแต่ละกรณี	21
รูป 2.12 ผลการทดลองที่ให้ความคลาดเคลื่อน 2 เมตร	22
รูป 3.1 System Diagram.....	23
รูป 3.2 Use Case Diagram.....	25
รูป 3.3 Sequence Diagram สำหรับ UC-01.....	29
รูป 3.4 Sequence Diagram สำหรับ UC-02.....	30
รูป 3.5 Sequence Diagram สำหรับ UC-03.....	30
รูป 3.6 Sequence Diagram สำหรับ UC-04.....	31
รูป 3.7 Sequence Diagram สำหรับ UC-05.....	31
รูป 3.8 Sequence Diagram สำหรับ UC-06.....	32
รูป 3.9 Sequence Diagram สำหรับ UC-07.....	32
รูป 3.10 Sequence Diagram สำหรับ UC-08.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้อยคำในหนังสือฉบับนี้ให้ด้วยใจดีและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูป 3.11 ตารางทั้งหมดในฐานข้อมูล	34
รูป 4.1 Flowchart การทำงานของการส่งข้อมูล	38
รูป 4.2 ข้อมูล MAC Address และ RSSI จาก Beacon	39
รูป 4.3 Floorplan ของห้อง 606	40
รูป 4.4 ตัวอย่างชุดข้อมูล Dataset.....	41
รูป 4.4 Dataframe ของข้อมูล	41
รูป 4.5 Dataframe ของข้อมูลที่จัดรูปแบบแล้ว.....	42
รูป 4.6 ค่า Loss ของ โมเดลผ่านการฝึกฝน	43
รูป 4.7 การแจกแจงค่า Euclidian Distance	44
รูป 4.8 สูตรคำนวณหาระยะทางจากความเข้มสัญญาณ	45
รูป 4.9 กราฟค่าความเข้มสัญญาณที่คำนวณได้เมื่อแทนค่า n ต่าง ๆ	45
รูป 4.10 จุดทดสอบในพื้นที่ทดลอง	46
รูป 4.11 หน้าล็อกอิน	48
รูป 4.12 การแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อล็อกอินไม่สำเร็จ	48
รูป 4.13 หน้าแผนที่	49
รูป 4.14 การเลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง.....	50
รูป 4.15 การแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของพนักงาน.....	50
รูป 4.16 การดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน.....	51
รูป 4.17 การแสดงเส้นทางการเดินของพนักงาน	52
รูป 4.18 การแสดงตำแหน่งของพนักงานหลายคน	52
รูป 4.19 ตารางแสดงรายชื่อพนักงานจัดกลุ่มตามแผนก	53
รูป 4.20 กราฟแท่งแสดงเวลาในแต่ละบริเวณที่พนักงานคนนั้นอยู่.....	54
รูป 4.21 การแบ่งพื้นที่ทดลองเพื่อจำลองห้องต่าง ๆ	55
รูป 4.22 ตารางแสดงบุคคลที่มีการละเมิด.....	56
รูป 4.23 หน้าลงทะเบียน	56
รูป ก.1 หน้าเว็บ ChirpStack	61
รูป ก.2 การตั้งค่า Organization.....	62
รูป ก.3 การตั้งค่า Network Server	62

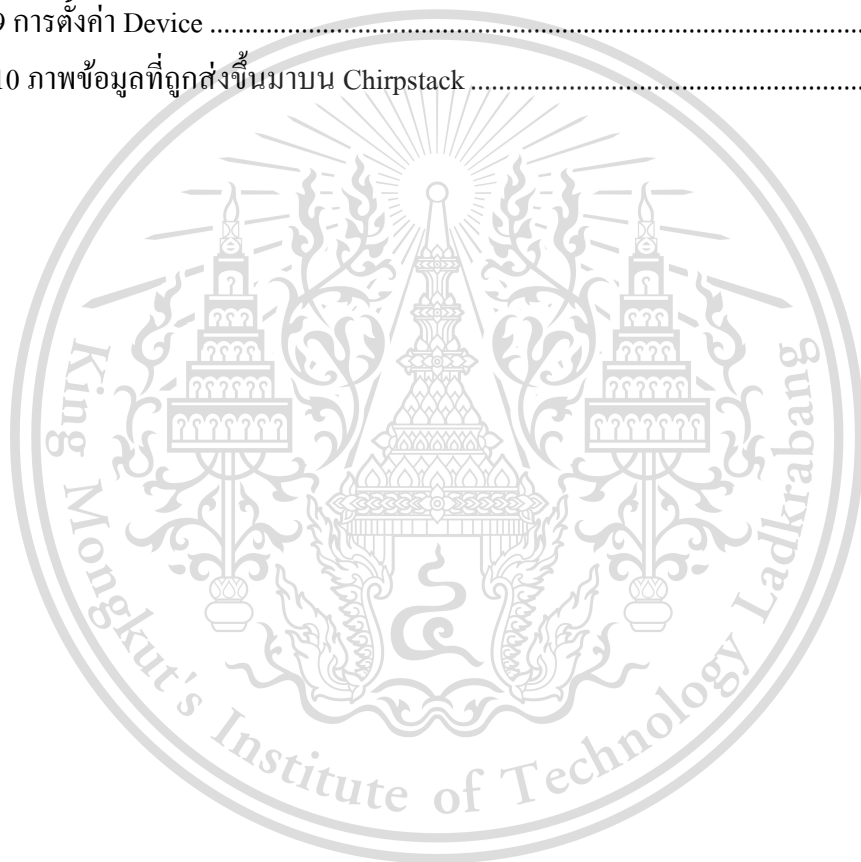
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูป ก.4 การตั้งค่า Gateway-profiles.....	63
รูป ก.5 การตั้งค่า Gateway.....	64
รูป ก.6 การตั้งค่า Service Profile.....	65
รูป ก.7 การตั้งค่า Applicaiton.....	65
รูป ก.8 การตั้งค่า Device Profile.....	67
รูป ก.9 การตั้งค่า Device	68
รูป ก.10 ภาพข้อมูลที่ถูกส่งขึ้นมาบน Chirpstack.....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

บทที่ 1

บทนำ

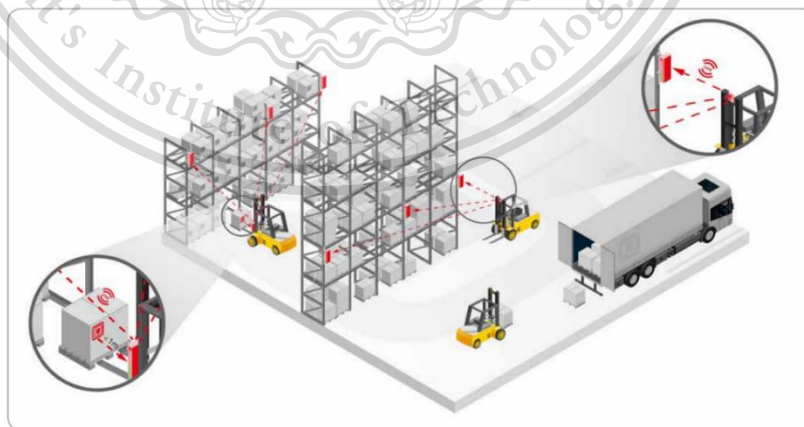
1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การระบุตำแหน่งนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร และการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยในการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารเราจะใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า GPS (Global Positioning System) เป็นการยิงสัญญาณจากดาวเทียมนอกโลก แต่ว่าการนำเทคโนโลยี GPS มาใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากสัญญาณของ GPS เมื่อเข้ามาสู่ภายในอาคารแล้ว จะถูกลดทอนสัญญาณลง จากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นหลังคา กำแพงหรือพื้น ส่งผลให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งลดลงอย่างมาก จึงต้องมีการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารขึ้นมาโดยเฉพาะ

ซึ่งในปัจจุบันก็มีหลายบริษัท ที่ได้สร้าง Solution สำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคารไว้ ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ในหลาย ๆ กรณี ยกตัวอย่างดังนี้

- 1) การระบุตำแหน่งและติดตามเส้นทางของวัตถุ เช่นรถโฟล์คลิฟท์ที่อยู่ในโกดังสินค้า โดยการติดตามเส้นทางเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุง Process หรือการติดตามตำแหน่งของสินค้า ตรวจสอบว่าสินค้าได้ถูกเคลื่อนย้ายโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่ เพื่อป้องกันการขโมย โดยบริษัท Infssoft ซึ่งใช้เทคโนโลยี Wi-Fi, Bluetooth Low Energy, Ultra-wideband และ RFID

[1] [ผังรูป 1.1](#)



Tracking of floor conveyors and goods using Ultra-wideband (UWB) and RFID

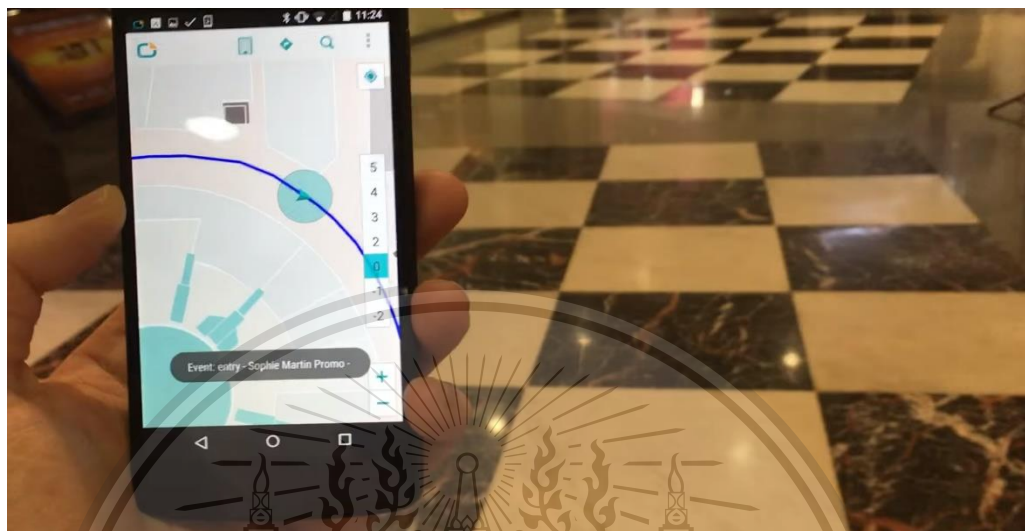
รูป 1.1 ตัวอย่างการใช้งานในคลังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 2) การระบุตำแหน่งเพื่อการนำทางภายในห้างสรรพสินค้า จุดประสงค์ของงานคือต้องการอำนวยความสะดวกให้กับลูกค้าที่ต้องการหาร้านค้าที่ตัวเองต้องการไป อยู่ในรูปแบบของแอปพลิเคชันบน Smartphone ดังรูป 1.2 พัฒนาโดยบริษัท Indoors [2]



รูป 1.2 ตัวอย่างการใช้งานในห้างสรรพสินค้า

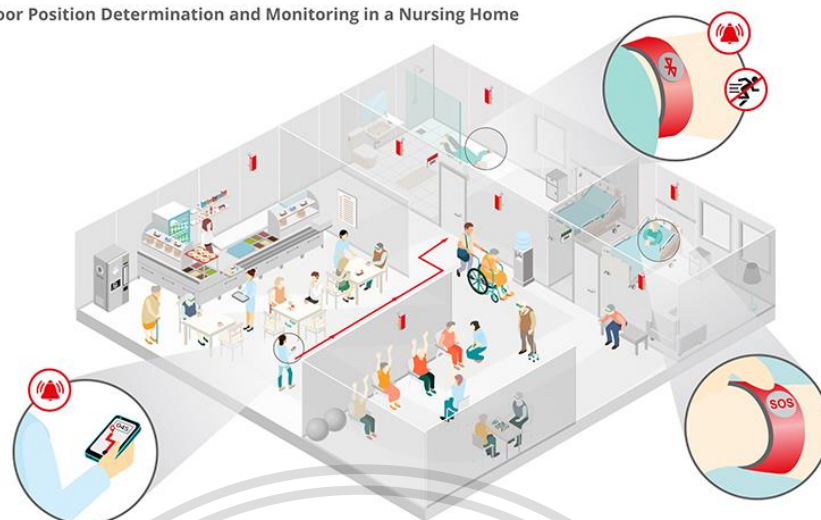
- 3) การระบุตำแหน่งผู้สูงอายุในสถานพยาบาลเพื่อความช่วยเหลือที่รวดเร็วในสถานการณ์ฉุกเฉิน ที่ให้คนไข้สวมใส่อุปกรณ์สำหรับระบุตำแหน่งไว้ที่ข้อมือ ในกรณีที่ผู้สูงอายุต้องการความช่วยเหลือก็จะกดปุ่มเพื่อส่งการแจ้งเตือนให้พยาบาลและมาที่ตำแหน่งนั้น ในกรณีที่ผู้สูงอายุไม่สามารถกดปุ่มเพื่อส่งการแจ้งเตือนได้ ระบบก็จะใช้การวิเคราะห์ท่าทางและการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ และส่งการแจ้งเตือนให้กับพยาบาลได้เช่นกัน ดังรูป 1.3 พัฒนาโดยบริษัท Infsoft [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีททั้งหมดนี้ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Indoor Position Determination and Monitoring in a Nursing Home

รูป 1.3 ตัวอย่างการใช้งานในสถานพยาบาล³

แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว Solution ของบริษัทต่าง ๆ และจากงานวิจัยที่ค้นคว้าพบว่าจะจะเป็นระบบระบุตำแหน่งที่ใช้ Smartphone คู่กับ Wireless Technology ที่ใช้ Wi-Fi หรือ Bluetooth ซึ่งมักจะต้องการติดตั้ง Application บน Smartphone เพื่อให้สามารถใช้งานได้ แต่ระบบแบบนี้จะมีข้อจำกัดในเรื่องต่าง ๆ เช่น ยี่ห้อหรือรุ่นของ Smartphone หรือระบบปฏิบัติการที่ใช้แตกต่างกัน เป็นต้น

โครงการ “แพลตฟอร์มประหยัดพลังงานสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Low Power Platform for Indoor Positioning System)” นี้จึงถูกจัดทำขึ้นมา เพื่อทำการสร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ส่วน Hardware ที่เป็น Embedded System ไม่ใช่ Smartphone เพื่อต้องการควบคุมให้ทั้งระบบเป็นแบบเดียวกัน ไม่มีข้อแตกต่างเรื่องระบบปฏิบัติการที่อุปกรณ์รองรับได้ และใช้ Wireless Technology เป็น Bluetooth Low Energy ที่มีจุดเด่นในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ทำให้สามารถใช้งานบนแบตเตอรี่ได้ยาวนาน และ LoRa เพื่อรองรับการระบุตำแหน่งในพื้นที่กว้าง มีการระบุตำแหน่งด้วยการใช้ Neural Network เพื่อให้การระบุตำแหน่งเป็นไปด้วยความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยผลสำเร็จของโครงการนี้ จะสามารถนำไปต่อยอดในการใช้งานจริงในโรงงานหรือสำนักงาน เพื่อจะติดตามตัวพนักงานว่าพนักงานคนนั้นอยู่ในพื้นที่ทำงานของตนเองหรือไม่ อยู่เต็มเวลาหรือไม่และยังตรวจสอบได้ว่าพนักงานได้เข้าไปในพื้นที่หวงห้ามหรือไม่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หวังให้ปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

³Use Cases | An Emergency Call System for Elderly People in Nursing Homes (infoSoft.com)

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อเป็นการศึกษาการทำงานของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร
- 2) เพื่อให้สามารถดูตำแหน่งและเส้นทางการเดินผ่าน Web Application ได้

1.3 ประโยชน์ของโครงการ

- 1) ใช้ระบุตำแหน่งของคนหรือสิ่งของที่ติดอุปกรณ์ติดตามอยู่ได้
- 2) ใช้ติดตามเส้นทางของบุคคลหรือสิ่งของที่ติดอุปกรณ์ติดตามอยู่ได้
- 3) ใช้ตรวจสอบการเข้าพื้นที่หวงห้ามของบุคคลที่ติดอุปกรณ์ติดตามอยู่ได้
- 4) ใช้เพื่อบันทึกเวลาทำงานของบุคคลที่ติดอุปกรณ์ติดตามอยู่ได้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่จะทำการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ หรือ RSSI แล้วส่งขึ้นไปยังแพลตฟอร์มผ่านเครือข่าย LoRaWAN และมี Web Application ที่นำข้อมูลไปประมวลผลด้วย Machine Learning และแสดงผล มีโครงสร้างดังรูป 1.4 โดยหลักการทำงานของแต่ละส่วนมีดังนี้ โดยประกอบไปด้วยส่วนของ Hardware และ Bluetooth ที่มี Receiver ทำหน้าที่วัดความเข้มของสัญญาณ หรือ RSSI และส่งไปยังส่วนของเครือข่าย LoRaWAN ที่มี LoRa Module รับค่าจาก Receiver และส่งข้อมูลต่อไปยัง LoRa Gateway และส่งข้อมูลต่อไปยังแพลตฟอร์มของ LoRa รับข้อมูล โดยระบบของโครงการนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1.4.1 ส่วนของ Hardware และ Bluetooth

มีองค์ประกอบคือ Bluetooth Low Energy Beacon เป็นตัวปล่อยสัญญาณ Bluetooth Low Energy และ Receiver ที่ทำหน้าที่วัดความเข้มของสัญญาณ หรือ RSSI และส่งไปยังส่วนของเครือข่าย LoRaWAN

1.4.2 ส่วนของเครือข่าย LoRaWAN

มีองค์ประกอบคือ LoRa Module ที่รับข้อมูลมาจาก Receiver เพื่อส่งข้อมูลด้วยวิธีแบบ LoRa ไปยัง LoRa Gateway แล้วส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยัง Network Server และ Application Server เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยัง Web Application

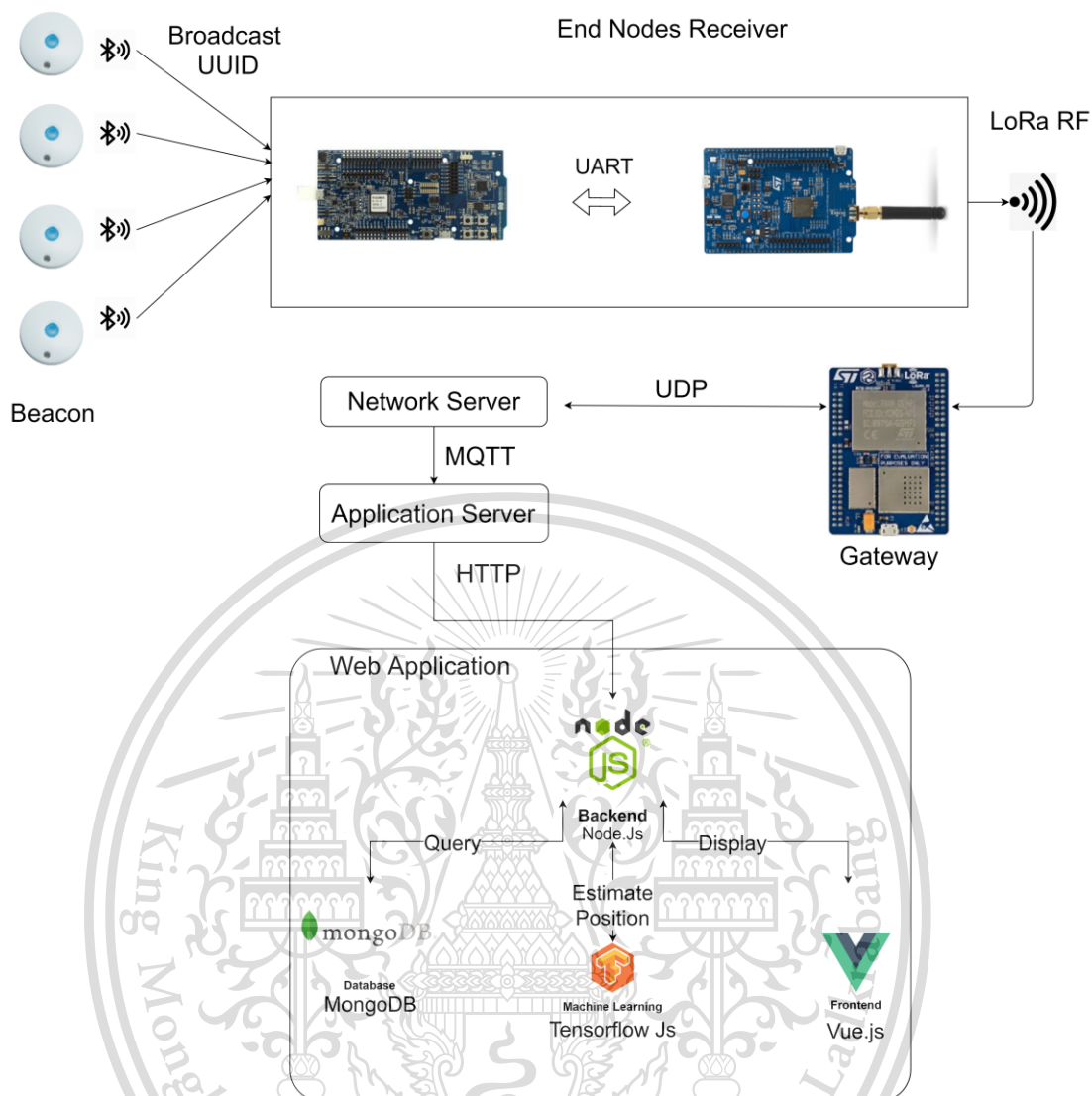
1.4.3 ส่วนของ Web Application

มีองค์ประกอบคือ Web Application ที่มี Node.js คอยประมวลผล Request ข้อมูลที่รับมาจาก Application Server รวมถึงการแสดงผลข้อมูล และ Machine Learning ที่เป็นหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดประมวลผลหลักในการระบุตำแหน่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 1.4 System Diagram

1.5 ข้อกำหนดของโครงการ

- 1) โครงการนี้ทดสอบกับห้อง 606 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ 2
- 2) Chirpstack LoRaWAN Platform ไม่สามารถรับข้อมูลที่เป็นข้อความยาวๆ ได้
- 3) ต้องการ Internet เพื่อแสดงผลผ่านหน้า Web Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในโครงการ โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ

- 1) กลุ่ม Bluetooth ที่จะอธิบายเรื่องทฤษฎีบลูทูธ, บลูทูธพลังงานต่ำและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารแบบบลูทูธพลังงานต่ำ
- 2) กลุ่ม LoRa จะอธิบายเรื่องทฤษฎีการส่งข้อมูลแบบ LoRa, เครือข่าย LoRaWAN, แพลตฟอร์มของ LoRa และอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบ LoRa
- 3) กลุ่ม Web Application จะอธิบายถึงภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเว็บ
- 4) กลุ่มอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งและโมเดล ที่จะอธิบายถึงการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์และการใช้โมเดลทาง Machine Learning โดยมีรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้

2.1.1 กลุ่ม Bluetooth

2.1.1.1 Bluetooth

บลูทูธเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ส่งข้อมูลในระยะสั้นๆ ถูกออกแบบมาสำหรับการสตรีมมิ่งข้อมูลจากแอปพลิเคชัน สามารถช่วยส่งข้อมูลขนาดใหญ่ในระยะใกล้ๆ ใช้พลังงานน้อยและใช้คลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz แต่จะแยกย่อยออกไปตามประเทศ มีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และระบบป้องกันการดักฟังข้อมูลการสื่อสาร บลูทูธมักจะใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก มีการส่งข้อมูลจำนวนไม่มาก เช่นการส่งไฟล์เสียง ไฟล์ ภาพ เป็นต้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีบลูทูธ มีหลากหลายรุ่น ในแต่ละรุ่นมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลากหลาย โดยขึ้นอยู่กับข้อกำหนดและคุณสมบัติของแต่ละรุ่น ในงานทางด้าน Internet of Things (IoT) มักจะนิยมใช้รุ่น Bluetooth 5.0 เนื่องจากว่า Bluetooth 5.0 นั้นกินพลังงานน้อยลงเมื่อเทียบกับรุ่น 4.2 และส่งข้อมูลได้มากกว่า ทั้งระยะการเชื่อมต่อที่ไกลกว่าและยังส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น โดยในรุ่น 5.0 สามารถส่งข้อมูลได้เร็ว 2 Mbps ซึ่งเทียบเป็น 2 เท่าของ รุ่น 4.2 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1.2 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE) หรือก็คือบลูทูธพลังงานต่ำ เป็นคุณลักษณะหนึ่งของเทคโนโลยีบลูทูธรุ่น 4.0 ถูกออกแบบมาเพื่อความประหยัดพลังงาน (Low Power, Low Bandwidth, Low Cost และ Low Complexity) ภายในระยะทางใกล้ๆ ไม่เกิน 50 เมตร เริ่มต้นพัฒนาในปี ค.ศ. 2006 โดยบริษัท Nokia โดยใช้ชื่อว่า Wibree [5] ซึ่งบลูทูธลักษณะนี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้าน Internet of Things (IoT) เนื่องจากการใช้พลังงานที่น้อย เช่น IoT ทางด้านสุขภาพ, Smart home, ทางด้านการกีฬา เป็นต้น โดยคุณสมบัติของ บลูทูธพลังงานต่ำ เทียบกับ บลูทูธปกติมีดังตาราง 2.1 โดยผู้จัดทำได้นำ BLE มาใช้เนื่องจากต้องการความประหยัดพลังงานจากการที่จะทำ Mobile Device ที่ใช้งานบน Battery

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของบลูทูธพลังงานต่ำ กับ บลูทูธปกติ

ข้อมูลทางเทคนิค	เทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม	เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ
ระยะทาง	100 m (330 ft)	50 m (160 ft)
อัตราการส่งผ่านข้อมูล	0.7-2.1 Mb/s	0.26 Mb/s
การใช้พลังงาน	1 หน่วย	0.01 ถึง 0.5 หน่วย
การใช้กระแสสูงสุด	<30 mA	<20 mA (ไม่เกิน 15 mA ในกรณีที่ทำงานด้วยถ่านกระดุม)

2.1.1.3 Bluetooth Low Energy Beacon

Bluetooth Beacon เป็นอุปกรณ์ Hardware อย่างหนึ่ง ที่สามารถปล่อยสัญญาณในลักษณะของสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ โดยหลักการทำงานก็คือ การส่งสัญญาณค่า UUID (Universally Unique Identifier) ไปยังตัวรับสัญญาณโดยอัตโนมัติ ในระยะทางที่ Beacon สามารถส่งไปถึงได้ โดยผู้จัดทำได้นำ BLE Beacon มาใช้ทำหน้าที่เป็นตัวปล่อยสัญญาณให้กับ Mobile Device ที่ทำหน้าที่เป็น Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

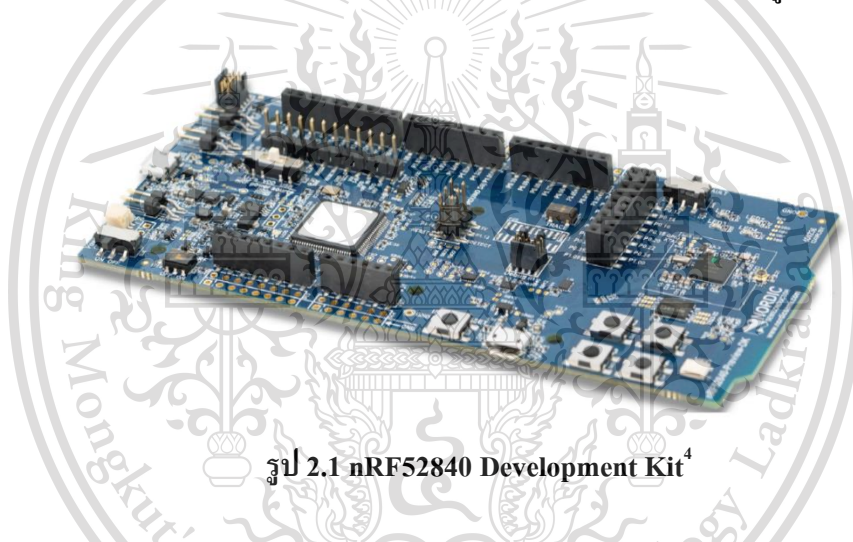
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1.4 nRF52840

nRF52840 เป็นระบบไร้สาย 2.4 GHz ที่ใช้พลังงานต่ำบนชิพ (SoC) ซึ่งรวมตัวรับส่งสัญญาณ 2.4 GHz แบบหลายโปรโตคอล ชิพเดี่ยว ARM Cortex-M4F และหน่วยความจำโปรแกรมรูปแบบแฟลช [6] เป็น SoC ที่เหมาะสำหรับเครือข่ายการสื่อสารไร้สายแบบวงกว้างที่ใช้พลังงานต่ำ (Low-Power Wide Area Network: LPWAN)

nRF52840 รองรับบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) , ANT , 802.15.4 และโปรโตคอล 2.4 GHz ปัจจุบันบอร์ดรุ่นนี้นิยมมาใช้พัฒนาในอุตสาหกรรม IoT ในหลากหลายด้าน เช่น ด้านบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) ด้านโครงสร้างพื้นฐานของเมืองอัจฉริยะ (Smart City Infrastructure) และด้านระบบติดตาม (Asset Tracking) เป็นต้น ในโครงการนี้ จะพัฒนาเฟิร์มแวร์ของชิพตัวนี้ให้สามารถรับข้อมูลจากบิกอนแต่ละตัว เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ตำแหน่งภายในบริเวณอาคาร โดยหน้าตาของบอร์ด DK ที่ใช้ชิพตัวนี้เป็นดังรูป 2.1



รูป 2.1 nRF52840 Development Kit⁴

2.1.1.5 Radioland nRF52832 BLE Beacon

บิกอน (Beacon) เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ขนาดเล็กสามารถปล่อยสัญญาณลักษณะบลูทูธ บลูทูธของบิกอนที่นำมาใช้คือ บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy) บิกอนบลูทูธพลังงานต่ำยี่ห้อ Radioland มีการนำชิพ nRF52832 ของบริษัท Nordic Semiconductor มาใช้ มีแบตเตอรี่ในตัว (On Battery) [7] เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้ในทำระบบติดตาม (Asset Tracking) อย่างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System) เป็นต้น โดยมีหน้าตาดังรูป 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[https://www.nordicsemi.com/-/media/Software-and-other-downloads/Product-Briefs/nRF52840-DK-product-](https://www.nordicsemi.com/-/media/Software-and-other-downloads/Product-Briefs/nRF52840-DK-product-brief.pdf?la=en&hash=5D78D8104D4FC04D539BDBACFB5150F34487447)

[brief.pdf?la=en&hash=5D78D8104D4FC04D539BDBACFB5150F34487447](https://www.nordicsemi.com/-/media/Software-and-other-downloads/Product-Briefs/nRF52840-DK-product-brief.pdf?la=en&hash=5D78D8104D4FC04D539BDBACFB5150F34487447)
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.2 Radioland nRF52832 BLE Beacon ⁵

2.1.2 กลุ่ม LoRa

2.1.2.1 LoRa

LoRa เป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณ พัฒนาโดยบริษัท Semtech โดยใช้วิธีการมอดูเลตแบบ สเปกตรัมแพร่กระจาย (Spread Spectrum Modulation Technique) [8] โดย LoRa จะทำงานอยู่ที่ Layer 1 (Physical Layer) ใน OSI Model โดยเราสามารถนำ LoRa ได้โดยไม่ต้องขอใบอนุญาตในย่านของคลื่นความถี่ดังนี้ 433 MHz , 868 MHz สำหรับโซนทวีปยุโรป , 915 MHz สำหรับโซนทวีปออสเตรเลียและทวีปอเมริกาเหนือ และ 923 MHz สำหรับโซนทวีปเอเชีย สามารถส่งข้อมูลได้ไกล และใช้พลังงานต่ำจึงเหมาะสำหรับใช้งานประเภท Internet of Things (IoT) [9]

2.1.2.2 LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) เป็น โปรโตคอลเครือข่ายการสื่อสารไร้สายแบบกว้างและพลังงานต่ำ (Low Power Wide Area Network - LPWAN) ที่ใช้เทคโนโลยี LoRa ทำงานอยู่ที่ Layer 2 ใน OSI Model ดังรูป 2.3 ออกแบบมาเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่กับอินเทอร์เน็ตและใช้ประโยชน์จากคลื่นวิทยุที่ไม่ต้องมีใบอนุญาต สามารถส่งข้อมูลได้ไกลและใช้พลังงานต่ำ โดยปัจจุบันเป็นที่นิยมมากในกลุ่มนักพัฒนา IoT เช่น การเชื่อมต่ออุปกรณ์อัจฉริยะต่าง ๆ สู่อินเทอร์เน็ต [10]

2.1.2.2.1 องค์ประกอบภายในสถาปัตยกรรมของ LoRaWAN

- 1) End-Devices คือ อุปกรณ์ Hardware ที่รับค่า หรือ ข้อมูลมาจากสิ่งแวดล้อมเช่น Sensor ชนิดต่าง ๆ
- 2) Gateway คือ จุดเชื่อมต่อระหว่าง End-Devices กับ Internet มีหน้าที่ในการ Forward ข้อมูลที่รับจาก Sensor ไปยัง Network Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https://radioland-china.en.alibaba.com/product/60798177518-807354582/IC_Chip_BLE_Nrf52832_Beacon_3_axis_Accelerometer_Temperature_And_Humidity_Sensor_Module_Optional_Programmable_iBeacon_IP65.html

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

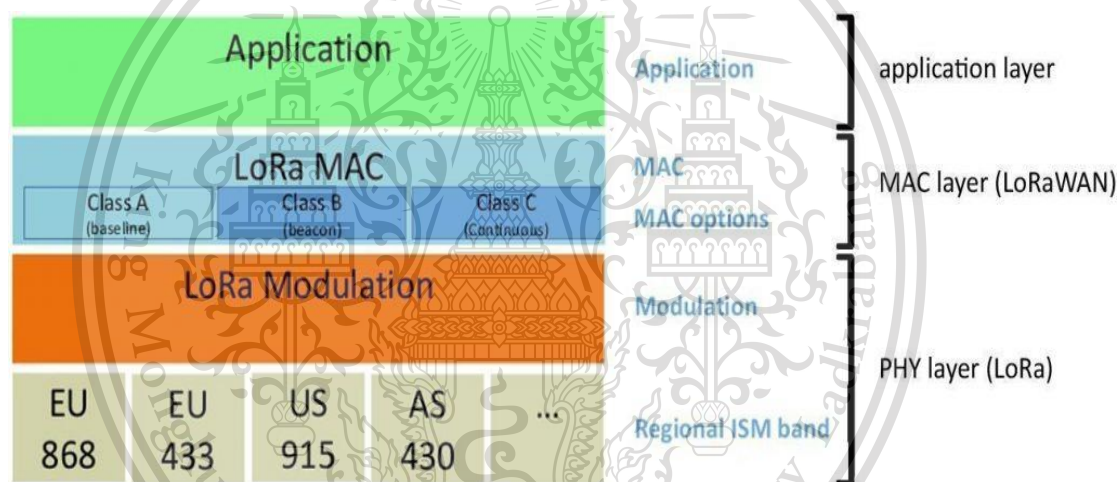
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3) Network Server คือ Server ที่ทำหน้าที่เลือกและจัดการข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Gateway ก่อนจะส่งต่อไปประมวลผลยัง Application Server

4) Application Server คือ Server ที่แอปพลิเคชันของระบบเรารันอยู่ ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ เช่น Web Application สำหรับการ Monitor

2.1.2.2.2 จุดแข็งของ LoRaWAN [11]

- 1) ระยะทางไกล
- 2) ประหยัดพลังงาน
- 3) รองรับปริมาณเครื่องลูกข่ายได้เยอะ
- 4) ราคาถูก



รูป 2.3 LoRaWAN OSI Model⁶

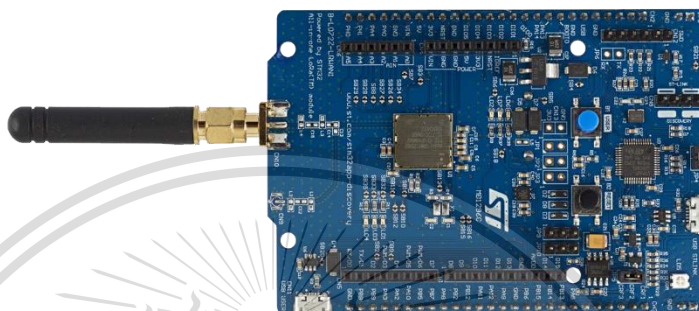
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

⁶https://www.researchgate.net/figure/LoRaWAN-Protocol-Stack_fig2_317173603
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.3 STM32 B-L072Z-LRWAN1 Murata

STM32 B-L072Z-LRWAN1 Murata board เป็นบอร์ดที่ใช้ MCU ของ STM32L072Z และ SX1276 [12] transceiver ของ Semtech ในงานวิจัยนี้ นำบอร์ด Murata มาใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด Receiver nRF52840 เพื่อทำการส่งข้อมูลไปที่ Gateway ด้วยการส่งแบบ LoRa โดยมีหน้าตาดังรูป 2.4



รูป 2.4 STM32 B-L072Z-LRWAN1 Murata⁷

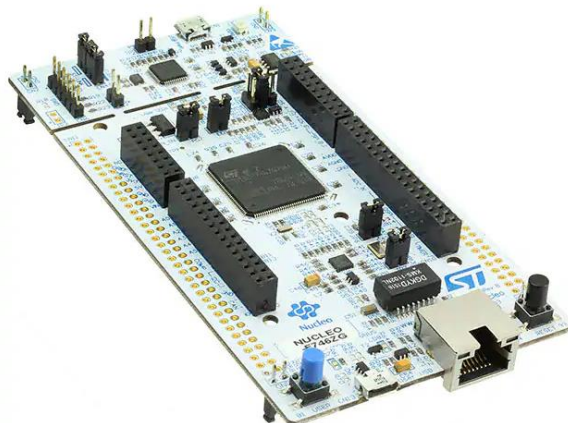
2.1.2.4 NUCLEO-F746ZG Board

บอร์ด NUCLEO-F746ZG เป็นบอร์ดที่นำชิพ STM32F746ZG ใช้ซีพียูของ ARM Cortex-M7 ที่มีสัญญาณนาฬิกาความเร็ว 216 MHz มีหน่วยความจำ 1 MB Flash memory แรมขนาด 320 KB ใช้ไฟเลี้ยง 5 V ผ่านทาง USB [13] ในงานวิจัยนี้ นำบอร์ด NUCLEO-F746ZG มาใช้ในการเชื่อมต่อกับ LoRa Gateway Shield โดยมีหน้าตาดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้ซ้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูป 2.5 NUCLEO-F746ZG ⁸

2.1.2.5 LoRa HF band (868/915/923 MHz) gateway expansion board

LoRa HF Band Gateway expansion board เป็นบอร์ด LoRa Gateway Shield ที่พัฒนาโดย STMicroelectronics ใช้ชิพ SX1301 HF baseband data concentrator ของ Semtech ในงานวิจัยนี้ นำบอร์ด LoRa Gateway มาใช้ในการเชื่อมต่อกับบอร์ด NUCLEO-F746ZG [14] ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลจาก End-Device แต่ละตัวและนำข้อมูลส่งขึ้น Network Server โดยมีหน้าตาดังรูป 2.4

รูป 2.6 LoRa gateway expansion board ⁹

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

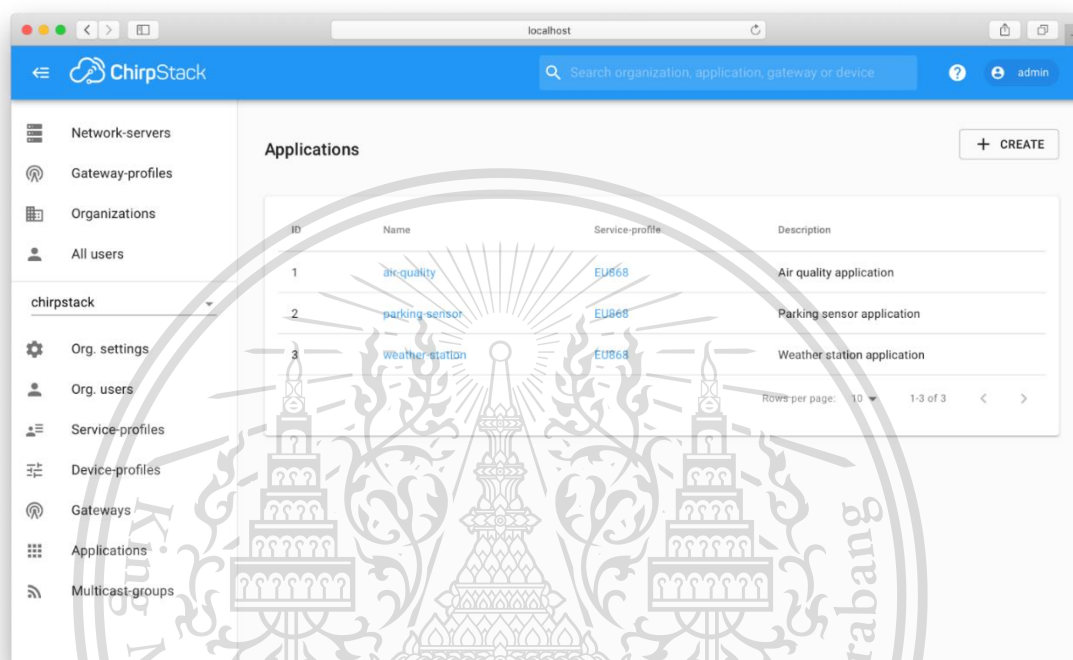
<https://th.aliexpress.com/item/32811122387.html>

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.6 ChirpStack LoRa Server

ChirpStack เป็น Open-source LoRaWAN Network Server Stack ซึ่งเป็น Platform สำหรับการทำให้ LoRa Server โดยเฉพาะ โดยมีองค์ประกอบคือ Gateway Bridge, Network Server และ Application Server [15] โดยมีหน้าตาดังรูป 2.7 โดยผู้จัดทำได้นำมาใช้เพื่อทำเป็น Platform LoRa Server ของระบบ



รูป 2.7 ChirpStack LoRaWAN Server User Interface¹⁰

2.1.1 กลุ่ม Web Application

2.1.1.1 HTML

ภาษา HTML ชื่อเต็มว่า Hypertext Markup Language เป็นภาษาประเภท แสดงผล หรือ Markup Language ที่ใช้สำหรับการสร้างหน้า User Interface โดยสามารถสร้าง Component ต่าง ๆ ที่ต้องการในหน้าเว็บและสามารถจัดวาง Layout ได้หลากหลาย เป็นภาษาหลัก และภาษาพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเว็บ เวอร์ชันล่าสุดของภาษานี้คือเวอร์ชัน 5 โดยผู้จัดทำได้ใช้ HTML5 นี้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของหน้า User Interface ของ Web Application ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

¹⁰ <https://www.chirpstack.io/>
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1.2 CSS

ภาษา CSS ชื่อเต็มว่า Cascading Style Sheet เป็นภาษาที่มักจะใช้คู่กับภาษา HTML ในการช่วยจัด Layout ให้ง่ายยิ่งขึ้น รวมถึงยังเป็นภาษาที่ใช้ในการตกแต่งหน้าเว็บเช่น การลงสี การทำแอนิเมชันเคลื่อนไหวของ Component ต่าง ๆ การจัดการเรื่องรูปแบบและขนาดของฟอนต์ เวอร์ชันล่าสุดของภาษานี้คือเวอร์ชัน 3 โดยผู้จัดทำได้ใช้ CSS3 นี้ในการช่วยตกแต่งหน้าเว็บให้ดูสวยงามขึ้น

2.1.1.3 Javascript

Javascript เป็นภาษาทางคอมพิวเตอร์หนึ่งที่อยู่ประเภทภาษาสคริปต์ที่จะทำงานอยู่ในฝั่ง Client เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับหน้าเว็บให้สามารถมีการประมวลผลที่ชาญฉลาดขึ้น ยกตัวอย่างเช่นการทำ Operation พื้นฐานอย่างการบวก ลบ คูณ หาร ก็ต้องอาศัย Javascript เข้ามาช่วยเพราะว่าภาษา HTML ไม่สามารถทำได้ เนื่องจาก HTML เป็นเพียงภาษาแสดงผลเท่านั้น โดยผู้จัดทำได้เลือกภาษา Javascript มาใช้ในการสร้าง Map และ Plot จุดพิกัด (x,y) ที่ส่งมาจากฝั่ง Backend

2.1.1.4 Nodejs

Nodejs เป็น Cross Platform Runtime Environment ที่จะทำงานอยู่ที่ฝั่ง Server ซึ่งพัฒนาต่อมาจากภาษา Javascript เนื่องจากว่าภาษา Javascript เป็นภาษาที่จะทำงานอยู่บนฝั่ง Client เท่านั้น ไม่สามารถทำงานบนฝั่ง Server ได้ โดยหน้าที่หลักของ Nodejs ก็คือการเป็น Request Handler หรือก็คือสิ่งที่ทำหน้าที่ในการจัดการกับ Request ที่ส่งมาจาก Client นำไปประมวลผลและส่งข้อมูลเป็น Response กลับไป โดยผู้จัดทำได้เลือก Nodejs มาใช้เป็นส่วนประมวลผลในฝั่ง Server สำหรับจัดการกับ Request ต่าง ๆ

2.1.1.5 MongoDB

MongoDB เป็นฐานข้อมูลประเภทหนึ่งที่เป็น NoSQL หรือ Not Only SQL ที่จะไม่มีการใช้คำสั่งแบบ SQL ไม่สนใจเรื่องของความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของข้อมูลในตาราง ทำให้ในตารางเดียวกันสามารถจัดเก็บข้อมูลได้หลายรูปแบบ โดยจะเก็บข้อมูลในรูปแบบของ JSON หรือ Javascript Object Notation ซึ่งจะเก็บเพียงแค่ค่า Key และ Value โดยผู้จัดทำได้เลือก MongoDB มาใช้เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับ Web Application

2.1.1.6 Vue.js

Vue.js เป็น Javascript Framework สำหรับการทำให้ Frontend บน Web Application โดยเฉพาะ มีจุดเด่นที่การทำ Single-Page Application (SPA) และการอัปเดตข้อมูลบนหน้าเว็บแบบไม่มีการ Refresh ทั้งยังสามารถสร้างหน้า User Interface ที่สวยงามและหลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มากกว่าการใช้ HTML และ CSS ปกติ โดยผู้จัดทำได้เลือก Vue.js มาใช้เพื่อสร้างหน้า User Interface ของหน้าเว็บทั้งหมด

2.1.1.7 Tensorflow Js

Tensorflow Js เป็น Javascript Library หนึ่งที่ใช้ในการทำ Machine Learning โดยเปรียบเสมือนกับ Tensorflow ในภาษา Python ซึ่ง Tensorflow Js นั้นทำให้สามารถเรียกใช้งาน โมเดล Machine Learning ผ่าน Web Application ได้ ผู้จัดทำจึงได้เลือกนำมาใช้งาน

2.1.2 กลุ่มอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งและโมเดล

2.1.2.1 การระบุตำแหน่งภายในอาคาร

การระบุตำแหน่งภายในอาคารเกิดขึ้นจากการพยายามนำระบบระบุตำแหน่งภายนอกอาคารด้วยดาวเทียม (GPS) มาใช้ แต่ไม่สำเร็จ เนื่องจากว่าสัญญาณ GPS เมื่อเข้ามาภายในตัวอาคารแล้ว จะถูกลดทอนสัญญาณลงอย่างมาก จากพื้นผิวต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น กำแพง, ผนัง, หลังคาและพื้น เป็นต้น ส่งผลให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งน้อยมาก

การระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งในส่วนของ Hardware ที่เป็น Smartphone หรือโมดูล Embedded ทั้งในส่วนของ Wireless Technology ไม่ว่าจะเป็น Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Ultra Wide Band, Visible Light Communication เป็นต้น ทั้งในส่วนของ Algorithm ในการระบุตำแหน่ง ไม่ว่าจะเป็น Trilateration, Triangulation, Fingerprinting, Time of Flight (ToF), Time of Arrival (ToA), Angle of Arrival (AoA) หรือการใช้ Machine Learning เป็นต้น

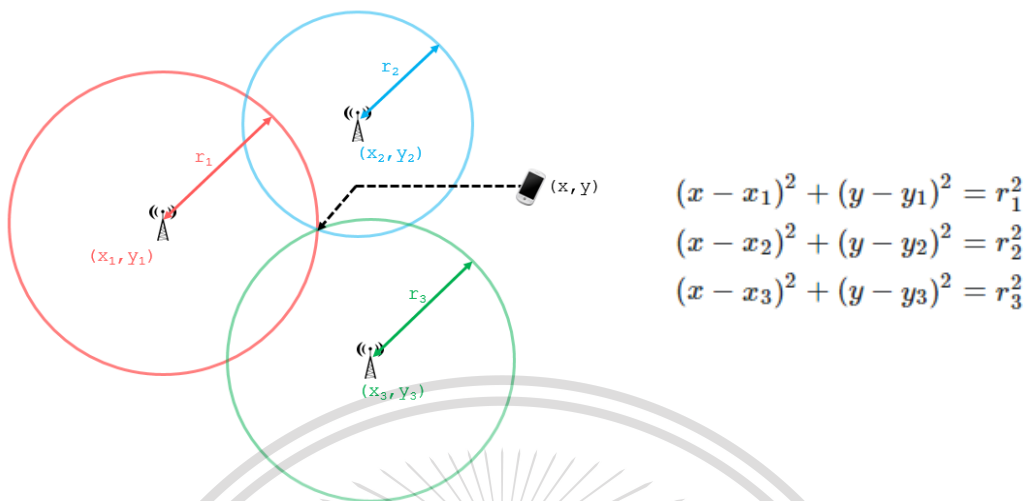
2.1.2.2 Trilateration

Trilateration หรือสามเหลี่ยมระยะ เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง โดยการหาจุดที่วงกลมรัศมีของสัญญาณจากตัวปล่อยสัญญาณ 3 ตัว (ใน 2 มิติ) และ 4 ตัว (ใน 3 มิติ) มาตัดกัน ด้วยการคำนวณระยะทางจากจุดตัดถึงจุดปล่อยสัญญาณ จากสมการคณิตศาสตร์ ดังรูป 2.7 เพื่อคำนวณตำแหน่งพิกัด (x,y) ของจุดตัดออกมา [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.7 Trilateration¹¹

โดยค่าระยะห่างจากจุดปล่อยสัญญาณ (r) สามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่นการหาเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปและกลับด้วยวิธี ToF หรือ ToA หรือการหาระยะทางจากค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ดังรูป 2.8

$$d(t) = 10^{(RSSI_{ref} - RSSI(t))/10n} \quad (1)$$

เมื่อ $d(t)$ คือ ระยะห่างจากอุปกรณ์ t เมตร
 $RSSI_{ref}$ คือ ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับ 1 เมตร
 $RSSI(t)$ คือ ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับ t เมตร
 และ n คือ ค่าตัวแปรในการส่งสัญญาณ

รูป 2.8 สูตรคำนวณระยะห่างจากค่าความเข้มสัญญาณ¹²

ซึ่งในโครงการผู้จัดทำได้นำวิธี Trilateration นี้มาใช้ และหาค่าระยะห่างจากสมการด้านบน โดยจะต้องทำการวัดค่า $RSSI_{ref}$ และแทนค่าลงในสมการเพื่อหาค่า n ที่เหมาะสมแล้วจึงนำไปใช้คำนวณต่อไป โดยผลลัพธ์จากการทำ Trilateration จะนำไปเปรียบเทียบกับการระบุตำแหน่งโดยใช้ Deep Neural Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ลีททั้งหมดนี้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

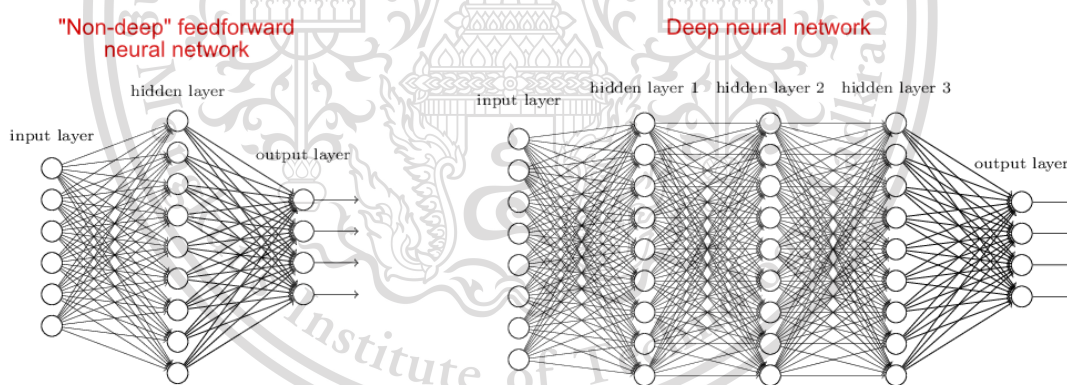
¹¹ <https://www.101computing.net/cell-phone-trilateration-algorithm/>

¹² <http://itechjournal.tru.ac.th/index.php/tru-i-tech/article/view/55>

2.1.2.3 Deep Neural Network

Deep Neural Network หรือ DNN เป็น Neural Network ชนิดหนึ่งโดยมีลักษณะคือ จะเป็น Neural Network ที่มีจำนวน Hidden Layer ตั้งแต่ 2 Layers ขึ้นไป [15] ดังรูป 2.9 ซึ่งมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นแต่ก็ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเช่นเดียวกัน [16] โดย Deep Neural Network สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้ง Classification และ Regression ซึ่งในงานวิจัยหลาย ๆ งานทางด้านการระบุตำแหน่งภายในอาคารก็มีการนำ DNN ไปใช้ และมีทั้ง 2 รูปแบบ ถ้าเป็น Classification จะเป็นการทาย Area ที่ผู้ใช้อยู่ แต่ถ้าเป็น Regression จะเป็นการทำนายค่าพิกัด (x,y) ของผู้ใช้ โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้ในแบบที่ 2 คือ Regression โดยการใส่ Input เป็น RSSI ของ Beacon จำนวน 6 ตัว แล้วให้ DNN ทำนายออกมาเป็นค่าพิกัดจุด (x,y)

เหตุผลที่ผู้จัดทำเลือกใช้อัลกอริทึมนี้ก็คือ ต้องการจะนำ DNN มาใช้ในการระบุตำแหน่ง เพราะเป็น อัลกอริทึมที่ซับซ้อน และจากการศึกษางานวิจัยหลากหลายงานวิจัยพบว่าส่วนใหญ่แล้วจะเลือกใช้ Deep Neural Network เนื่องจากว่าการที่จะระบุตำแหน่งได้แม่นยำนั้น จะต้องมีอัลกอริทึมที่ฉลาด ซึ่งในการทำระบบระบุตำแหน่งนั้น จากที่ศึกษาจากงานวิจัยหลาย ๆ อันจะพบว่า สิ่งที่สำคัญที่สุดคือความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง



รูป 2.9 Deep Neural Network¹³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หวังว่าเนื้อหาให้ชัดเจนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

¹³ <https://stats.stackexchange.com/questions/182734/what-is-the-difference-between-a-neural-network-and-a-deep-neural-network-and-w>
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.4 Python

Python เป็นภาษาโปรแกรมหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างมากในสายงานคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเป็นภาษาที่มี Syntax ไม่ยุ่งยาก และยังสามารถใช้งานได้หลากหลายด้านไม่ว่าจะเป็น การพัฒนา Desktop Application, Web Application, Backend, Game Development, Data Science and Machine Learning และอื่น ๆ ซึ่งผู้จัดทำเลือกใช้ Python เพื่อการคำนวณ Geofencing และการใช้งานคู่กับ Tensorflow Keras เพื่อพัฒนาโมเดล Machine Learning

2.1.2.5 Tensorflow Keras

Tensorflow Keras เป็น Library หนึ่ง ในภาษา Python สำหรับการทำงานทางด้าน Machine Learning โดยเฉพาะ โดย Library นี้มีฟังก์ชันเพื่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น การสร้างโมเดล การเทรนนิ่งและการวัดผลโมเดล และการบันทึกโมเดลเพื่อใช้งานในอนาคต ผู้จัดทำได้เลือก Tensorflow Keras มาใช้ในการพัฒนาโมเดล Machine Learning

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ระบบระบุตำแหน่งแบบเวลาจริงภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ

[14]

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยนำเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำมาใช้งานกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อระบุเป้าหมายตำแหน่งพิกัด และนำเสนอการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการคำนวณพิกัด 2 แบบคือวิธีสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) และวิธี Gradient descent

จากงานวิจัยข้างต้น การระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำโดยใช้วิธี gradient descent จะทำให้สามารถคำนวณพิกัดเป้าหมายได้ใกล้เคียงกว่าการใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) ดังรูป 2.10 แต่วิธี gradient descent จะวนซ้ำหาพิกัดของเป้าหมายที่ทำให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดทำให้ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธีสามเหลี่ยมระยะ จึงได้มีการนำเสนอการลดจำนวนรอบของการวนซ้ำด้วยการเลือกค่าเริ่มต้นที่เหมาะสม

จากงานวิจัยนี้ผู้จัดทำมีความเห็นว่าการใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะนั้นมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากต้องทำการวัดค่า Parameter จากสัญญาณของ Beacon ที่ปล่อยออกมา ซึ่งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อน การสะท้อนของสัญญาณในตอนที่วัดได้ จึงควรหาอัลกอริทึมบางอย่างมาใช้ควบคู่กันไปด้วย เช่นการทำ Signal Processing ด้วย Kalman Filter หรือการนำไปใช้ร่วมกับ Machine Learning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระยะทางยูคลิเดียน

พิกัด	ระยะทางยูคลิเดียน	
	สามเหลี่ยมระยะ	Gradient Descent
A	0.18	0.17
B	0.29	0.26
C	0.26	0.26
D	0.25	0.18
E	0.22	0.19
ค่าเฉลี่ย	0.24	0.21

รูป 2.10 ภาพเปรียบเทียบการวัดค่า Error ด้วยวิธีระยะทางยูคลิเดียน¹⁴

2.2.2 An Indoor and Outdoor Positioning Using a Hybrid of Support Vector Machine and Deep Neural Network Algorithms [17]

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการระบุตำแหน่งภายในและภายนอกอาคารโดยใช้อัลกอริทึม Support Vector Machine (SVM) และ Deep Neural Network โดยใช้เทคนิค Fingerprinting และใช้ Wireless Technology เป็น Wi-Fi และเป็น Smartphone based เพื่อทดสอบความแม่นยำของการระบุตำแหน่งในมหาวิทยาลัยนานาชาติไทเป โดยจะให้ผู้ทดสอบถือ Smartphone ที่ต่อ Wi-Fi เข้ากับ Access Point และเดินไปรอบ ๆ ในอาคารและนอกอาคาร ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นตำแหน่ง (x,y) ของผู้ทดสอบ และยังมีทดสอบใน 4 การทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะลดจำนวน Access Point ลงครั้งละ 1 ตัว แล้วทำการวัดผลหาค่า Accuracy

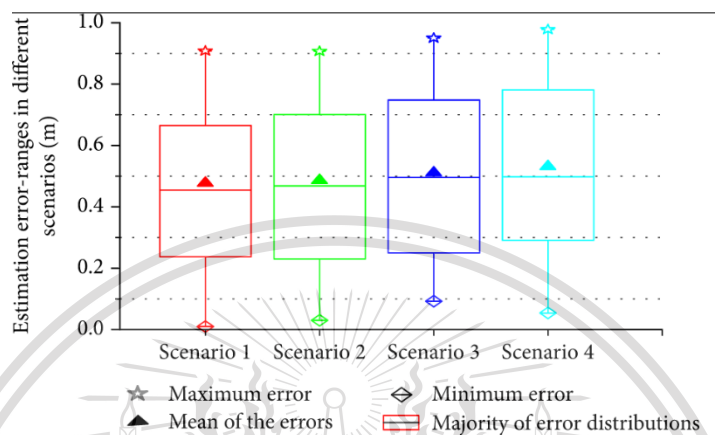
จากงานวิจัยข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยได้สรุปไว้ว่า การทำ Fingerprinting นั้น ให้แบ่ง Radiomap เป็นขนาด 1x1 เมตรจะเหมาะสมที่สุด แล้วการระบุตำแหน่งด้วย Deep Neural Network นั้นให้ผลที่ดีมาก และมีความแม่นยำสูงสุดในตอนที่มี Hidden Layer 4 ชั้น ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 เมตร และถึงแม้ Access Point จะลดลงเรื่อย ๆ ตามการทดลอง ก็ยังให้ความแม่นยำที่สูง ดังรูป 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

¹⁴ระบบระบุตำแหน่งแบบเวลาจริงภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ | เทพสตรี I-TECH (ru.ac.th)
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากงานวิจัยนี้ผู้จัดทำมีความเห็นว่าการใช้ Neural Network ที่มีจำนวน Hidden Layer 4 ชั้นและแต่ละชั้นมีจำนวน Neuron 300 อัน นั้นจะกินทรัพยากรในการประมวลผลอย่างมาก หากมีการทำ Signal Processing ก่อนที่จะเข้าโมเดล ก็อาจจะทำให้เราสามารถลดจำนวน Neuron ลงได้โดยที่ไม่ทำให้ Accuracy ลดลง



รูป 2.11 ผลการทดลองในแต่ละกรณี¹⁵

2.2.3 The Indoor Positioning System Using Fingerprint Method Based Deep Neural Network [18]

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิค Fingerprinting กับ Deep Neural Network ใช้ Wireless Technology เป็น Wi-Fi โดยปล่อยสัญญาณมาจาก Access Point เพื่อทดสอบความแม่นยำของการระบุตำแหน่งเมื่อมีการนำ Neural Network มาใช้ ซึ่งทางกลุ่มผู้จัดทำได้ทำการสร้างโมเดล Deep Neural Network ที่มี 3 Hidden Layers ในแต่ละ Layer มี 28 Node และ Output Node มี 2 Nodes ซึ่งให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นพิกัด (x,y)

จากงานวิจัยข้างต้น กลุ่มผู้วิจัยได้สรุปผลจากการทดลองว่า การนำ Neural Network มาใช้ให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าการใช้ Fingerprinting อย่างเดียว จากการทดลองที่ทำการวัดค่าอ้างอิงในแต่ละจุดของพื้นที่ทดลอง ที่แต่ละจุดห่างกัน 2 เมตร ก็ให้ผลการทดลองว่า Error มีค่าประมาณ 2 เมตร ดังรูป 2.12

จากงานวิจัยนี้ผู้จัดทำมีความเห็นว่า การเก็บ Sample Data ของจุดอ้างอิงตามวิธีการ Fingerprinting นั้นยังไม่ละเอียดพอ เนื่องจากว่าแต่ละจุดอ้างอิงห่างกันถึง 2 เมตร หากสามารถลดระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงให้เหลือ 1 เมตรได้ก็อาจจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

¹⁵ An Indoor and Outdoor Positioning Using a Hybrid of Support Vector Machine and Deep Neural Network Algorithms (hindawi.com)



รูป 2.12 ผลการทดลองที่ให้ความคลาดเคลื่อน 2 เมตร¹⁶



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

¹⁶ (PDF) [The Indoor Positioning System Using Fingerprint Method Based Deep Neural Network \(researchgate.net\)](#)

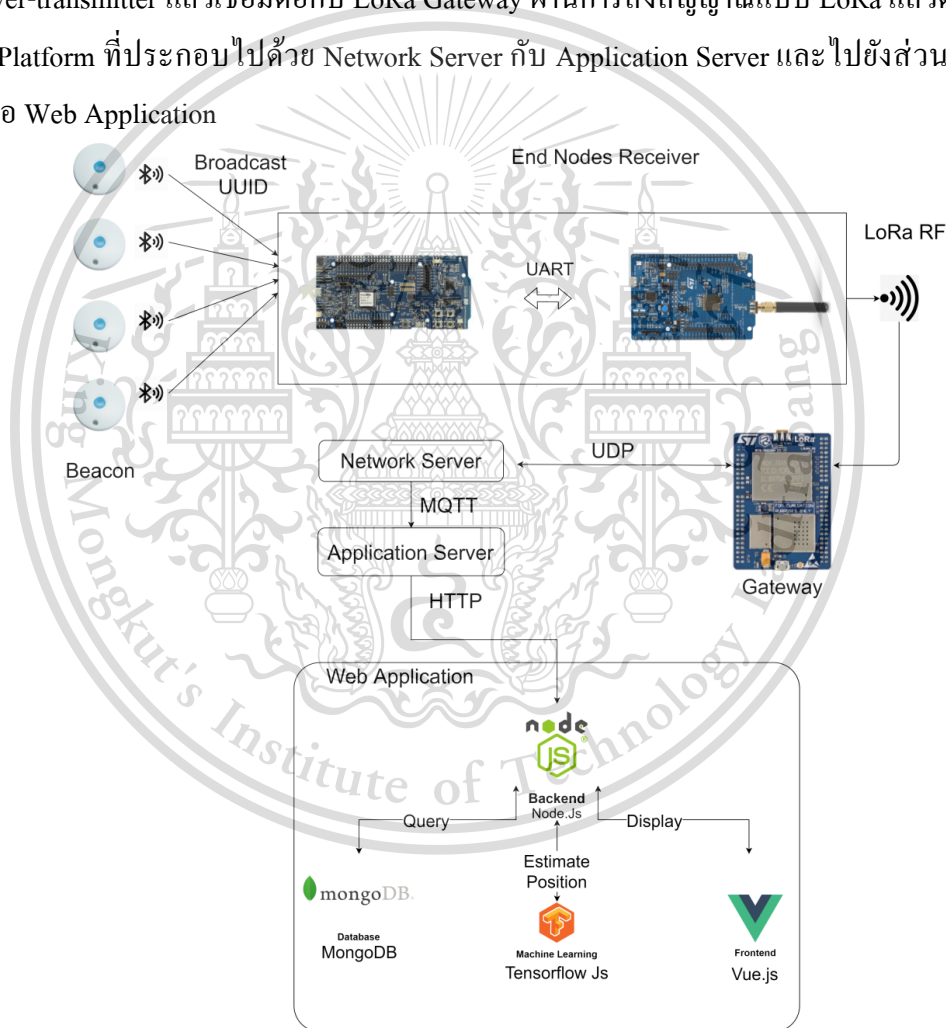
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้างของระบบจะอธิบายถึงการเชื่อมต่อกันในแต่ละส่วน ตั้งแต่ส่วนที่เป็น End Device ที่มี BLE Beacon กับบอร์ด nRF52840 ที่สื่อสารกันด้วยสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ ไปยังส่วนของ LoRa ที่มีบอร์ด STM32 L072Z Murata สื่อสารกันผ่าน UART หรือ Universal Asynchronous Receiver-transmitter แล้วเชื่อมต่อกับ LoRa Gateway ผ่านการส่งสัญญาณแบบ LoRa แล้วต่อไปยัง LoRa Platform ที่ประกอบไปด้วย Network Server กับ Application Server และไปยังส่วนสุดท้ายนั่นก็คือ Web Application



รูป 3.1 System Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากรูป 3.1 เป็นแผนภาพการเชื่อมต่อกันในระบบตั้งแต่ End Device ไปจนถึง Web Application
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่าห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ที่แสดงผล โดยรายละเอียดขั้นตอนของการส่งข้อมูลมีดังนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.1 ขั้นตอนการรับส่งข้อมูล

- 1) BLE Beacon ทำการ Broadcast Advertising Data Package ผ่านคลื่นสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ 2.4 GHz
- 2) Receiver (nRF52840) ทำการวัดค่า RSSI ของสัญญาณที่ BLE Beacon ทำการ Broadcast Advertising Data Packet ออกมา
- 3) Receiver ทำการส่งค่า RSSI และ MAC Address ที่ได้รับมาจาก BLE Beacon แต่ละตัวที่ทำการ Broadcast ออกมา ไปยัง LoRa Gateway ผ่านการส่งสัญญาณแบบ LoRa RF
- 4) LoRa Gateway ทำการส่งข้อมูลต่อไปยัง Network Server ผ่านโปรโตคอล UDP
- 5) Network Server รับข้อมูลมาและกรอง Packet ที่ซ้ำซ้อนกันออก แล้วจึงส่งข้อมูลต่อไปยัง Application Server ผ่านโปรโตคอล MQTT
- 6) Application Server ส่งข้อมูลที่ได้รับมาไปให้กับ Web Application ของระบบ
- 7) Web Application รับค่ามาเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์

3.1.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลและแสดงผล

- 1) Web Application นำข้อมูลที่ได้รับมาจาก Application Server บันทึกลงในฐานข้อมูล MongoDB
- 2) Web Application ดึงข้อมูลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลออกมา แล้วแปลง Format ของข้อมูล ให้อยู่ในรูปแบบที่สอดคล้องกับ Input Layer ของ Model
- 3) Web Application นำข้อมูลที่จัด Format แล้วใส่เป็น Parameter ให้กับ Model เพื่อประมวลผล
- 4) Model ประมวลผลตำแหน่งพิกัด (x,y) ออกมา
- 5) Server ประมวลผล Geofencing เพื่อหาว่าตำแหน่ง (x,y) อยู่ใน Area ไດ
- 6) ตรวจสอบเงื่อนไขการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม ถ้ามีการละเมิดให้บันทึกไว้ในฐานข้อมูล
- 7) บันทึกข้อมูลตำแหน่ง, Area และเวลา ลงในฐานข้อมูล
- 8) Web Application นำข้อมูลตำแหน่งที่คำนวณจาก Model มาแสดงผล โดยการ Plot ลงบนกราฟในหน้าแผนที่
- 9) คำนวณเวลาที่พนักงานอยู่ในพื้นที่แต่ละพื้นที่
- 10) นำข้อมูลเวลาที่พนักงานอยู่ในแต่ละพื้นที่มาแสดงผลบนกราฟในหน้าข้อมูล

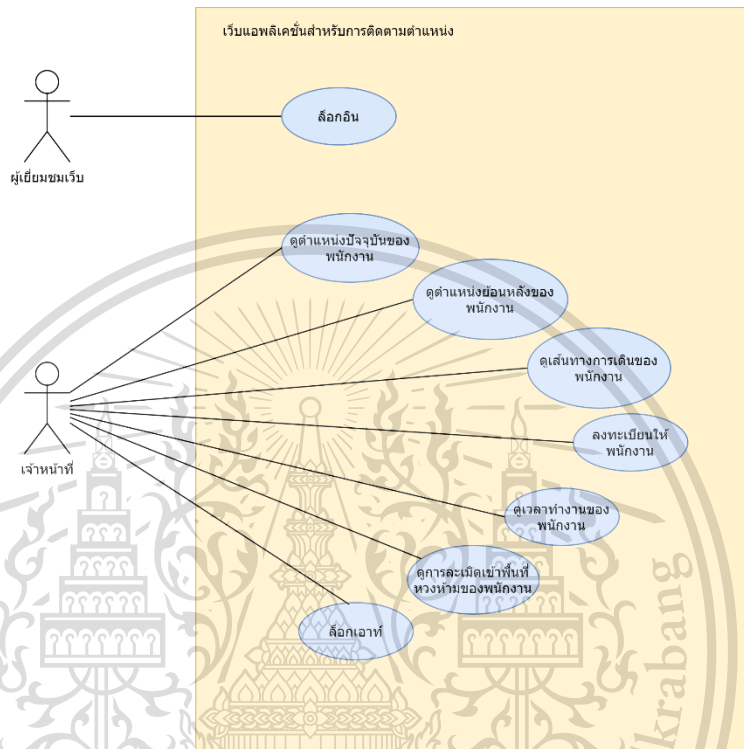
11) นำข้อมูลการละเมิดมาแสดงในตารางในหน้าข้อมูล ออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 Use Case Diagram

Use Case ของระบบในตอนนี้มี 1 Use Case นั่นก็คือการดูตำแหน่งของคนหรือสิ่งของที่ถูกต้องตาม โดยมีรายละเอียดดังตาราง 3.2 และ Diagram แสดงดังรูป 3.2



รูป 3.2 Use Case Diagram

ตาราง 3.1 Use case ล็อกอิน

Use Case: ล็อกอิน
Use Case ID: UC-01
Actor: ผู้เยี่ยมชมเว็บ
Semantics: ผู้เยี่ยมชมเว็บล็อกอิน
Description: ผู้เยี่ยมชมเว็บสามารถล็อกอินเข้าสู่ระบบก่อนใช้งานเว็บ
Preconditions: เปิดเข้า Web Application
Flow of Events:
<ol style="list-style-type: none"> 1. กรอง Username และ Password 2. กดปุ่ม Login
Postconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีผู้ที่ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต จะต้องแจ้งให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 3.2 Use case ดูตำแหน่งปัจจุบันของพนักงาน

Use Case: ดูตำแหน่งปัจจุบันของพนักงาน
Use Case ID: UC-02
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ที่คอยติดตามตำแหน่งปัจจุบันของพนักงานที่ถูกติดตาม
Description: เจ้าหน้าที่สามารถดูตำแหน่งปัจจุบันของพนักงานที่ถูกติดตามได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง
Postconditions: ดูข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันได้สำเร็จ

ตาราง 3.3 Use case ดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน

Use Case: ดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน
Use Case ID: UC-03
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ที่คอยติดตามตำแหน่งย้อนหลังของพนักงานที่ถูกติดตาม
Description: เจ้าหน้าที่สามารถดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงานที่ถูกติดตามได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกช่วงเวลาย้อนหลังที่ต้องการ 3. เจ้าหน้าที่เลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง
Postconditions: ดูข้อมูลตำแหน่งย้อนหลังได้สำเร็จ

ตาราง 3.4 Use case ดูเส้นทางการเดินของพนักงาน

Use Case: ดูเส้นทางการเดินของพนักงาน
Use Case ID: UC-04
Actor: เจ้าหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Semantics: เจ้าหน้าที่ที่คอยติดตามเส้นทางของพนักงาน
Description: เจ้าหน้าที่ที่สามารถติดตามเส้นทางพนักงานได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกช่วงเวลาย้อนหลังที่ต้องการ 3. เจ้าหน้าที่เลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง 4. เจ้าหน้าที่กดปุ่มเปิดแสดงเส้นทาง
Postconditions: ดูข้อมูลเส้นทางได้สำเร็จ

ตาราง 3.5 Use case ลงทะเบียนให้พนักงาน

Use Case: ลงทะเบียนให้พนักงาน
Use Case ID: UC-05
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ลงทะเบียนให้พนักงานเพื่อติดตามตำแหน่ง
Description: เจ้าหน้าที่สามารถลงทะเบียนให้พนักงาน เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามตำแหน่งได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูลงทะเบียน 2. เจ้าหน้าที่กรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มบนหน้าเว็บ 3. เจ้าหน้าที่กดปุ่มลงทะเบียน
Postconditions: ลงทะเบียนสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 3.6 Use case ดูเวลาทำงานของพนักงาน

Use Case: ดูเวลาทำงานของพนักงาน
Use Case ID: UC-06
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ดูเวลาในการทำงานของพนักงานแต่ละคน
Description: เจ้าหน้าที่สามารถดูเวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูข้อมูล 2. เจ้าหน้าที่กดปุ่มขยายการแสดงผลเพื่อดูกราฟสรุปเวลาทำงาน
Postconditions: ดูเวลาทำงานของพนักงานได้สำเร็จ

ตาราง 3.7 Use case คูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงาน

Use Case: คูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงาน
Use Case ID: UC-07
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงาน
Description: เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงานได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: <ol style="list-style-type: none"> 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูข้อมูล
Postconditions: คูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงานได้สำเร็จ

ตาราง 3.8 Use case ล็อกเอาท์

Use Case: ล็อกเอาท์
Use Case ID: UC-08
Actor: เจ้าหน้าที่
Semantics: เจ้าหน้าที่ล็อกเอาท์ออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

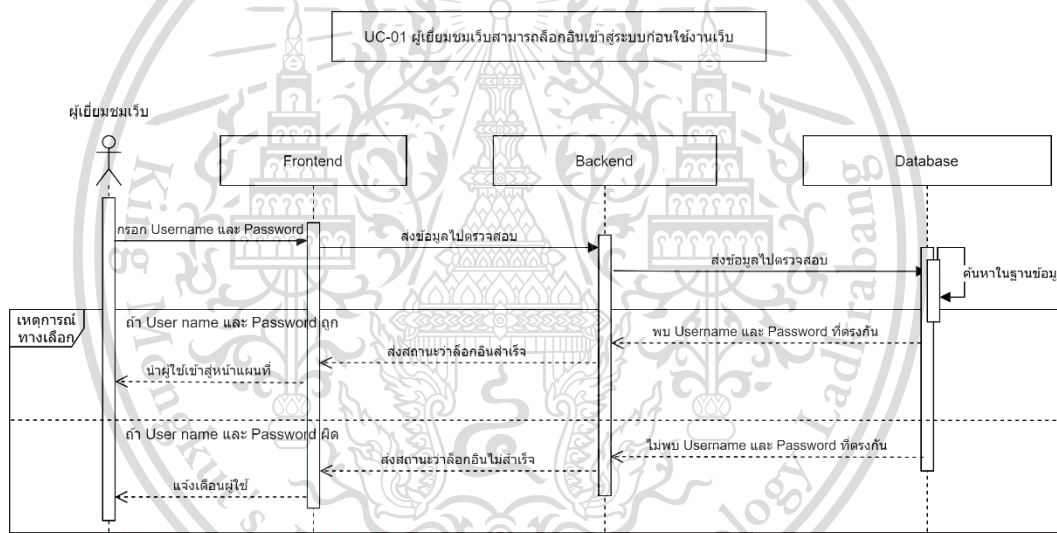
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Description: เจ้าหน้าที่ที่สามารถล็อกเอาต์ออกจากระบบได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่ที่กดปุ่มล็อกเอาต์
Postconditions: ออกจากระบบสำเร็จ

3.3 Sequence Diagram

Sequence Diagram แสดงการรับส่งข้อมูลในแต่ละส่วนแบบ Conceptual สำหรับรองรับการทำงานของ Use Case การดูตำแหน่งของคน/สิ่งของที่ถูกต้องตามได้ แสดงดังรูป 3.3

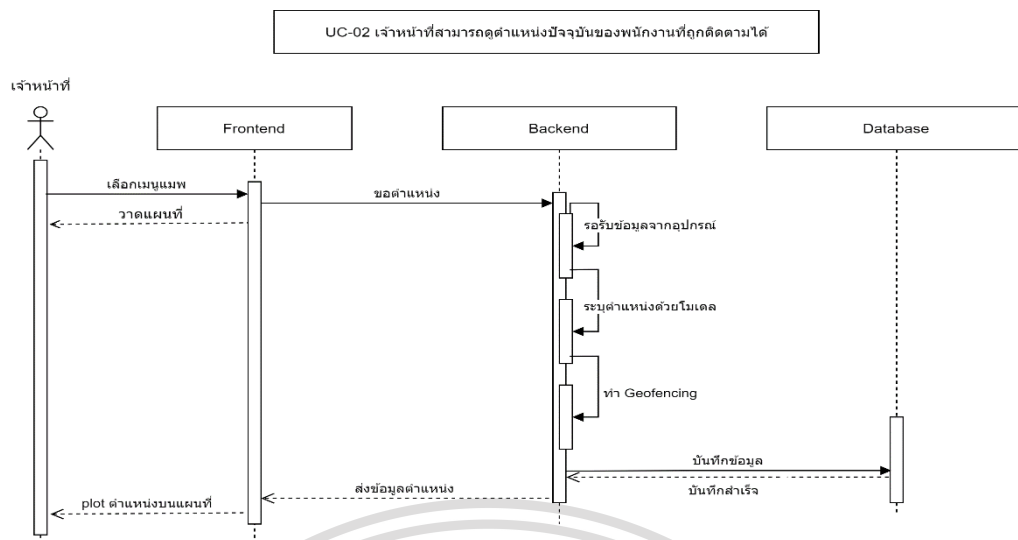


รูป 3.3 Sequence Diagram สำหรับ UC-01

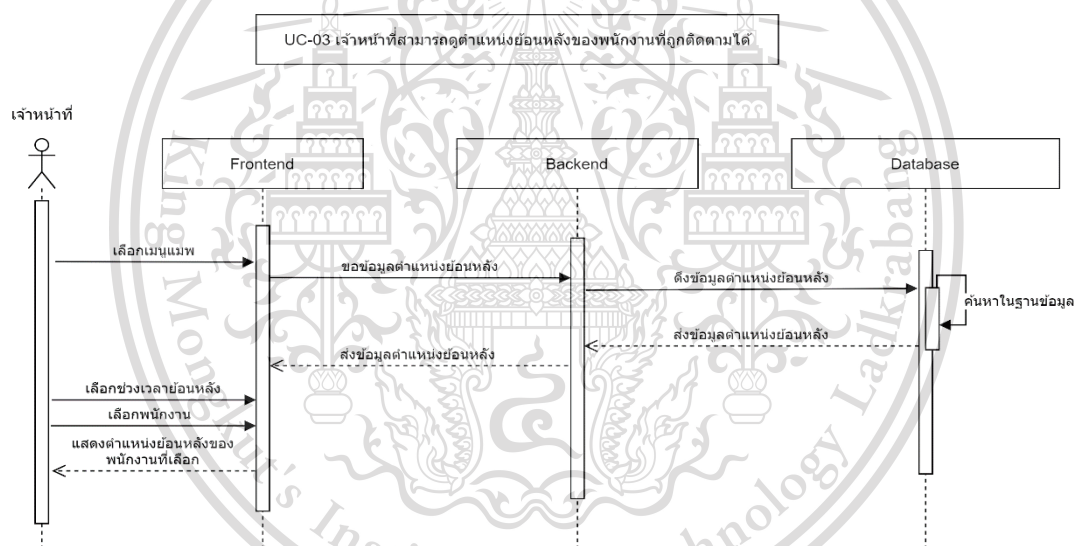
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.4 Sequence Diagram สำหรับ UC-02

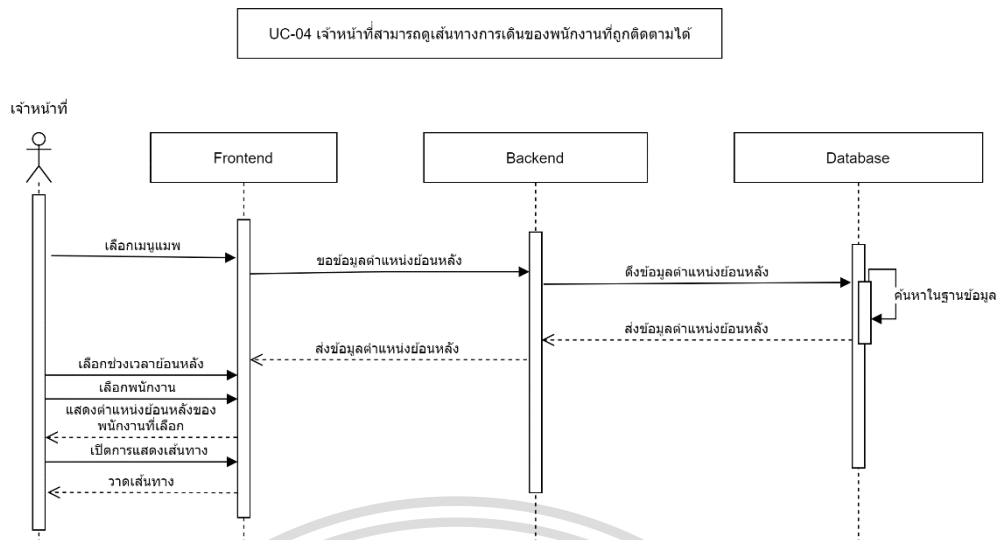


รูป 3.5 Sequence Diagram สำหรับ UC-03

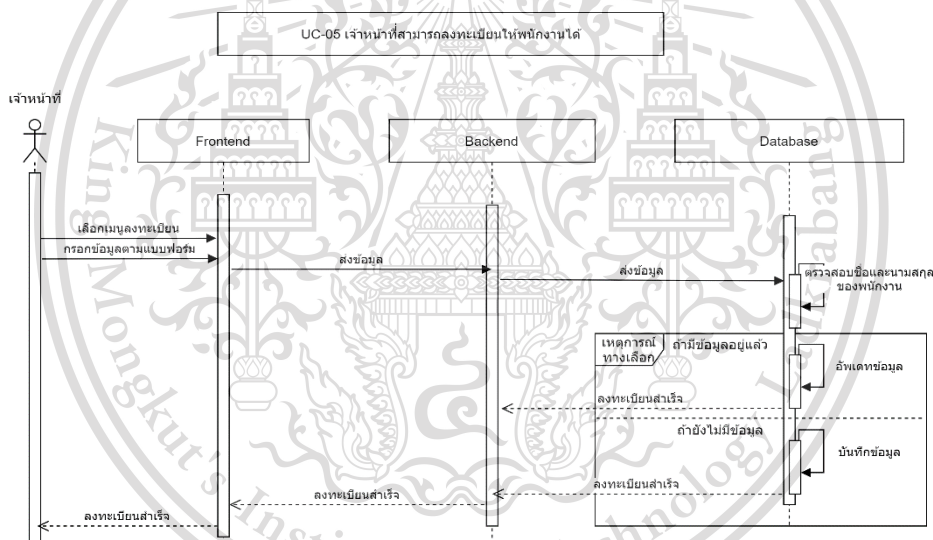
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.6 Sequence Diagram สำหรับ UC-04

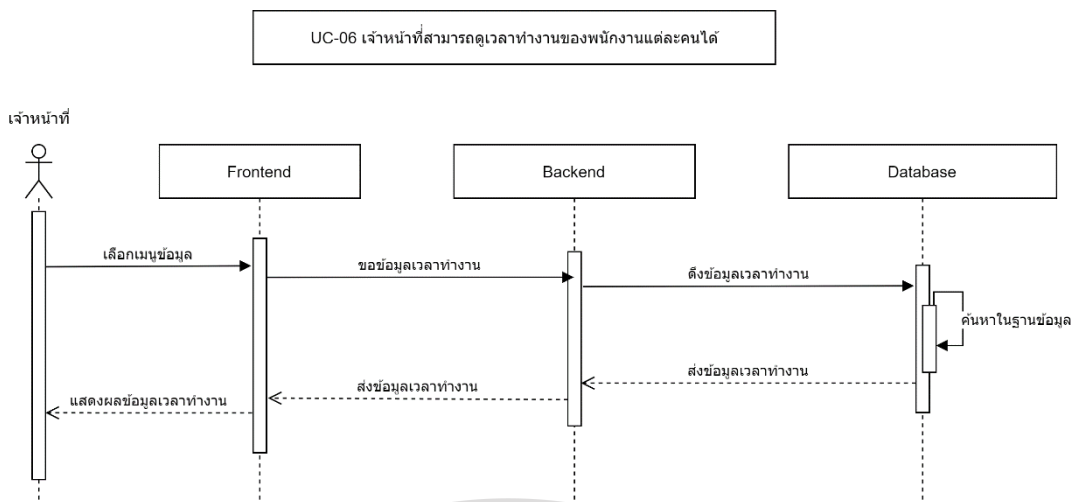


รูป 3.7 Sequence Diagram สำหรับ UC-05

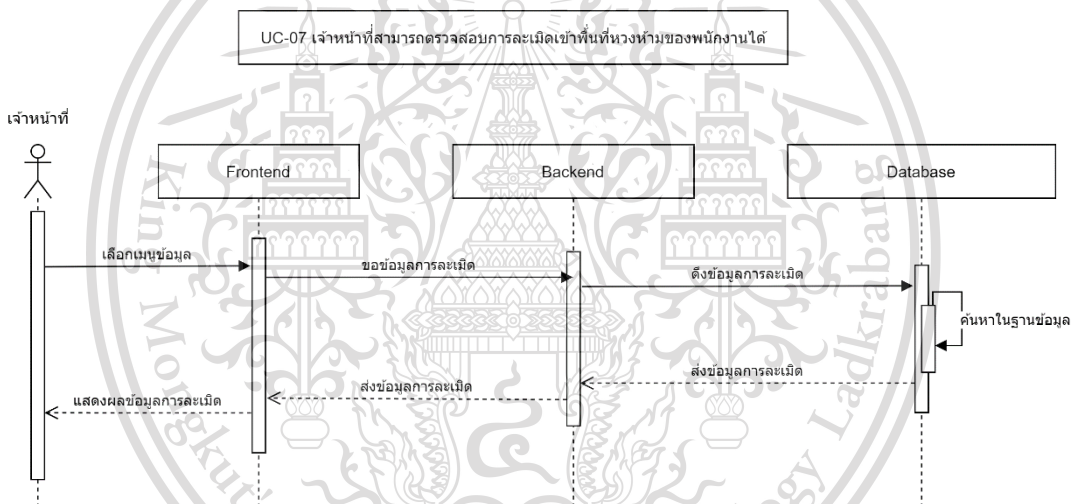
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.8 Sequence Diagram สำหรับ UC-06



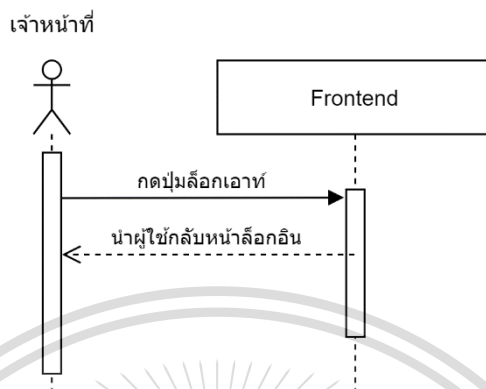
รูป 3.9 Sequence Diagram สำหรับ UC-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

UC-08 เจ้าหน้าที่สามารถล็อกเอาต์ออกจากระบบได้



รูป 3.10 Sequence Diagram สำหรับ UC-08

3.4 การออกแบบโมเดล

สำหรับโมเดลที่ใช้ในการทำนายตำแหน่งพิกัด (x,y) ของผู้ใช้นั้น ทางผู้จัดทำได้เลือกใช้เป็นโมเดลแบบโครงข่ายประสาทเทียม หรือ Neural Network โดยเป็นหนึ่งใน Machine Learning แบบ Supervised Learning คือมีการเรียนรู้และปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และรูปแบบการวิเคราะห์ได้เลือกทำแบบ Linear Regression

ลักษณะทั่วไปของโมเดลที่ใช้ในโครงการนี้ ก็จะเป็น โมเดล Deep Neural Network ซึ่งมีจำนวนชั้น (Layer) ทั้งหมด 6 ชั้น โดยประกอบไปด้วย Input Layer 1 ชั้น, Hidden Layer 4 ชั้น และ Output Layer 1 ชั้น ซึ่งในชั้น Input จะมีจำนวน Neuron ทั้งหมด 6 อันสำหรับรองรับ Features นั้นก็คือค่าความเข้มของสัญญาณหรือ RSSI จาก BLE Beacon ทั้ง 6 ตัว ที่จะเป็นข้อมูลสำหรับเข้าไปประมวลผลในโมเดล ส่วนในชั้น Hidden ทั้ง 4 ชั้น จะมีจำนวน Neuron ทั้งหมด 30 อันเป็นส่วนประมวลผล ที่มีการใช้ Activation Function เป็น Exponential Linear Unit (ELU) และสุดท้ายในชั้น Output จะมีจำนวน Neuron ทั้งหมด 2 อัน เนื่องจากผลลัพธ์จากการทำนายแบบ Linear Regression จะออกมาเป็นค่าพิกัด x และ y

3.5 การออกแบบฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลของโครงการนี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้เป็น MongoDB ซึ่งเป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL เก็บข้อมูลในรูปแบบของ Document ที่มี Key และ Value โดยฐานข้อมูลของระบบจะมีทั้งหมด 6 ตาราง ดังรูป 3.11

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

IndoorDB																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">area_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[-] fence</td> <td>arr</td> </tr> <tr> <td> [-] [0]</td> <td>arr</td> </tr> <tr> <td> [0]</td> <td>num</td> </tr> <tr> <td> [1]</td> <td>num</td> </tr> <tr> <td> name</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td> restrictfor</td> <td>str</td> </tr> </tbody> </table>	area_tables		[-] fence	arr	[-] [0]	arr	[0]	num	[1]	num	name	str	restrictfor	str	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">user_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>name</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>department</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>trackerid</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>macaddress</td> <td>str</td> </tr> </tbody> </table>	user_tables		name	str	department	str	trackerid	str	macaddress	str
area_tables																									
[-] fence	arr																								
[-] [0]	arr																								
[0]	num																								
[1]	num																								
name	str																								
restrictfor	str																								
user_tables																									
name	str																								
department	str																								
trackerid	str																								
macaddress	str																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">alert_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>name</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>trackerid</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>areaname</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>timestamp</td> <td>str</td> </tr> </tbody> </table>	alert_tables		name	str	trackerid	str	areaname	str	timestamp	str	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">location_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[-] xy</td> <td>arr</td> </tr> <tr> <td> [0]</td> <td>num</td> </tr> <tr> <td> [1]</td> <td>num</td> </tr> <tr> <td> areaname</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td> name</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td> timestamp</td> <td>str</td> </tr> </tbody> </table>	location_tables		[-] xy	arr	[0]	num	[1]	num	areaname	str	name	str	timestamp	str
alert_tables																									
name	str																								
trackerid	str																								
areaname	str																								
timestamp	str																								
location_tables																									
[-] xy	arr																								
[0]	num																								
[1]	num																								
areaname	str																								
name	str																								
timestamp	str																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">staff_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>username</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>password</td> <td>str</td> </tr> </tbody> </table>	staff_tables		username	str	password	str	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">worktime_tables</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>name</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>areaname</td> <td>str</td> </tr> <tr> <td>duration</td> <td>num</td> </tr> </tbody> </table>	worktime_tables		name	str	areaname	str	duration	num										
staff_tables																									
username	str																								
password	str																								
worktime_tables																									
name	str																								
areaname	str																								
duration	num																								

รูป 3.11 ตารางทั้งหมดในฐานข้อมูล

3.5.1 area_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลพื้นที่ต่าง ๆ ในอาคารเพื่อการทำ Geofencing และการตรวจสอบการละเมิด โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) fence เป็นการเก็บพิกัดจุด (x,y) ของแต่ละมุมของพื้นที่ เพื่อที่จะใช้ในการวาด Polygon และทำ Geofencing อยู่ในรูปแบบของ Array
- 2) name เป็นการเก็บชื่อเรียกของพื้นที่ อยู่ในรูปแบบของ String
- 3) restrictfor เป็นการเก็บชื่อแผนกที่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้ สำหรับใช้ในการตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม อยู่ในรูปแบบของ String

3.5.2 user_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลของพนักงานในบริษัท โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) name เป็นการเก็บชื่อและนามสกุลของพนักงาน อยู่ในรูปแบบของ String
- 2) department เป็นการเก็บชื่อแผนกของพนักงาน สำหรับใช้ในการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม อยู่ในรูปแบบของ String

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3) trackerid เป็นการเก็บ id ของอุปกรณ์ที่พนักงานคนนี้ใช้อยู่ เพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลที่ส่งมาจากพนักงานคนไหน ในกรณีที่มีอุปกรณ์หลายอัน อยู่ในรูปแบบของ String
- 4) macaddress เป็นการเก็บ MAC Address ของอุปกรณ์ที่พนักงานคนนี้ใช้อยู่ อยู่ในรูปแบบของ String

3.5.3 alert_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลเมื่อมีการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) name เป็นการเก็บชื่อและนามสกุลของพนักงาน อยู่ในรูปแบบของ String
- 2) trackerid เป็นการเก็บ id ของอุปกรณ์ที่พนักงานคนนี้ใช้อยู่ เพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลที่ส่งมาจากพนักงานคนไหน ในกรณีที่มีอุปกรณ์หลายอัน อยู่ในรูปแบบของ String
- 3) areaname เป็นการเก็บชื่อของห้องหรือบริเวณนั้น อยู่ในรูปแบบของ String
- 4) timestamp เป็นการเก็บเวลา ณ ตอนที่มีการตรวจสอบพบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม อยู่ในรูปแบบของ String

3.5.4 location_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลตำแหน่งของพนักงาน เพื่อให้เป็นประวัติข้อมูลตำแหน่งย้อนหลัง โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) xy เป็นการเก็บพิกัดจุด (x,y) ของพนักงาน อยู่ในรูปแบบของ Array
- 2) areaname เป็นการเก็บชื่อของห้องหรือบริเวณนั้น อยู่ในรูปแบบของ String
- 3) name เป็นการเก็บชื่อและนามสกุลของพนักงาน อยู่ในรูปแบบของ String
- 4) timestamp เป็นการเก็บเวลา ณ ตอนที่มีการระบุตำแหน่งได้ อยู่ในรูปแบบของ String

3.5.5 staff_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูล Username และ Password ของเจ้าหน้าที่ที่จะใช้งาน Web Application โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) username เป็นการเก็บ Username ที่ต้องใช้ในการเข้าสู่ระบบ อยู่ในรูปแบบของ String
- 2) password เป็นการเก็บ Password ที่ต้องใช้ในการเข้าสู่ระบบ อยู่ในรูปแบบของ String

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.6 worktime_tables

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลเวลาที่พนักงานแต่ละคนอยู่ในแต่ละพื้นที่ เพื่อการนับเวลาทำงาน โดยจะมี Attribute ดังนี้

- 1) name เป็นการเก็บชื่อและนามสกุลของพนักงาน อยู่ในรูปแบบของ String
- 2) areaname เป็นการเก็บชื่อของห้องหรือบริเวณนั้น อยู่ในรูปแบบของ String
- 2) duration เป็นการเก็บระยะเวลาที่พนักงานอยู่ในพื้นที่นั้น อยู่ในรูปแบบของ Number



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงการทดลองที่ได้ทำในภาคการศึกษานี้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าในโครงการ โดยจะอธิบายขั้นตอนการทดลองตั้งแต่การวัดค่าความเข้มของสัญญาณหรือ RSSI และอ่านค่าผ่านโปรแกรม Tera Term, การเก็บชุดข้อมูลหรือ Dataset สำหรับการสอนโมเดล, การวัดผลการระบุตำแหน่งด้วยโมเดลโดยการเปรียบเทียบค่า Euclidian Distance เปรียบเทียบกับการระบุตำแหน่งที่ใช้ Trilateration , การเปรียบเทียบการวัดผลของการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล, การส่งข้อมูลจาก End-device ไปยัง LoRa Platform และการทำ Integration ผ่านโปรโตคอล HTTP เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Web Application โดยจะเขียนเป็นหัวข้อดังนี้

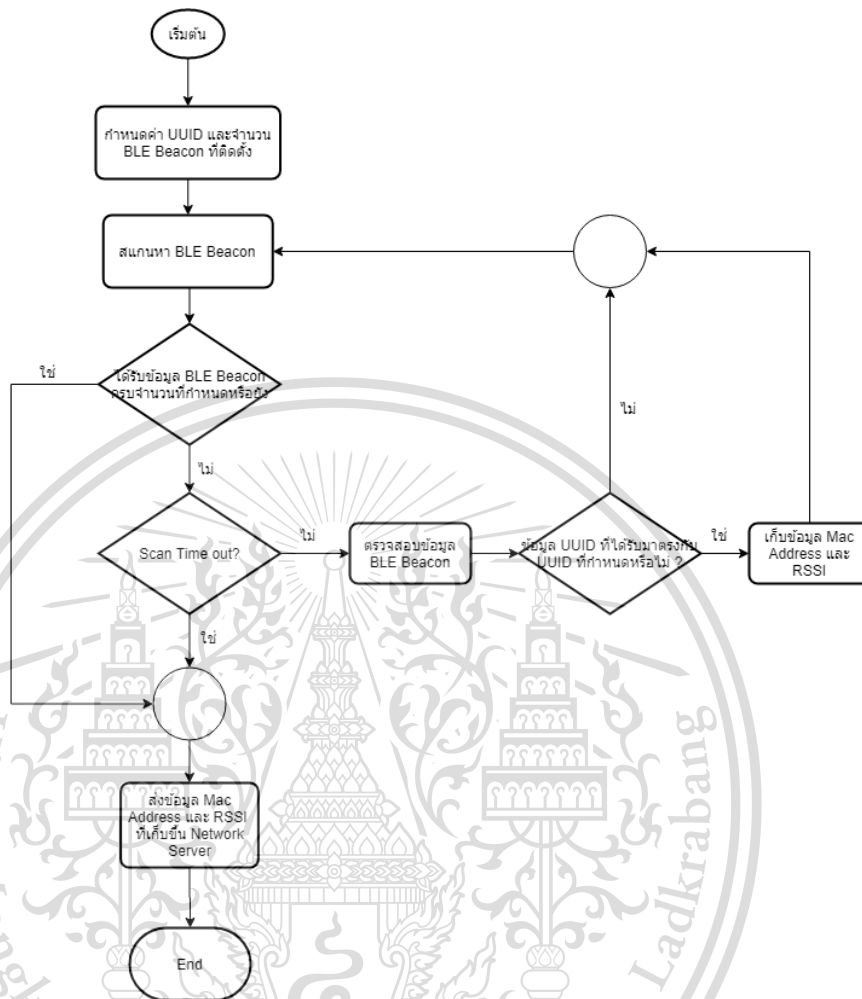
4.1 การพัฒนาในส่วนบอร์ดตัวรับส่งข้อมูล (End-Device)

ในการพัฒนาส่วนของบอร์ดตัวรับ จะพัฒนาให้สามารถค้นหาและรับข้อมูลจาก BLE Beacon ที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดส่งขึ้น Network Server ผ่าน LoRaWAN โดยมีการทำงานดังรูป 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.1 Flowchart การทำงานของการส่งข้อมูล

เริ่มต้นกำหนดค่า Universally Unique Identifier (UUID) ที่ได้กำหนดให้กับ BLE Beacon ในแต่ละตัว (โดยค่า UUID เปรียบเสมือนเลขกลุ่มดังนั้น BLE Beacon ที่ติดตั้งควรจะมีค่า UUID เป็นค่าเดียวกัน) และกำหนดจำนวนบิตอนที่ติดตั้ง หลังจากนั้นบอร์ดจะทำการสแกนหา BLE Beacon โดยตรวจสอบว่าได้รับข้อมูลจากบิตอนครบหรือไม่ ถ้าไม่ครบจะทำการตรวจสอบต่อไปว่าหมดเวลาสแกนหา BLE Beacon หรือไม่ ถ้าไม่หมดเวลาในขั้นตอนถัดไปจะทำการตรวจสอบข้อมูล BLE Beacon ที่ได้รับมา โดยตรวจสอบข้อมูล UUID ที่ได้รับมาว่าตรงตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าใช่จะทำการเก็บข้อมูล MAC Address และค่าความเข้มของสัญญาณระหว่างบอร์ดรับกับ BLE Beacon ที่ตรวจสอบข้อมูล จะทำในรูปแบบนี้ต่อไปจนกว่าจะครบหรือหมดเวลาที่กำหนด (Timeout) หลังจากนั้นจึงจะทำการส่งข้อมูล Mac Address และค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้จัดเก็บไว้ไปยัง Network Server ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเพิ่มเติมเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการพัฒนาบอร์ดตัวรับ บอร์ดสามารถรับข้อมูลจาก Beacon เก็บค่า MAC Address, RSSI ดังรูป 4.2 และส่งข้อมูลขึ้น Network Server ได้

```

Tera Term - [disconnected] VT
File Edit Setup Control Window Help
c3:d7:59:ef:38:2e  ,-66
f3:45:89:ef:19:1e  ,-52
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-57

fd:cc:03:3b:fb:50  ,-57
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-63
f3:45:89:ef:19:1e  ,-53
c3:d7:59:ef:38:2e  ,-62

c3:d7:59:ef:38:2e  ,-63
f3:45:89:ef:19:1e  ,-51
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-78
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-62

c3:d7:59:ef:38:2e  ,-64
f3:45:89:ef:19:1e  ,-64
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-63
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-69

f3:45:89:ef:19:1e  ,-51
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-68
c3:d7:59:ef:38:2e  ,-73
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-77

c3:d7:59:ef:38:2e  ,-72
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-77
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-59
f3:45:89:ef:19:1e  ,-52

f3:45:89:ef:19:1e  ,-57
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-74
c3:d7:59:ef:38:2e  ,-68
e8:ba:41:56:8d:9e  ,-67

e8:ba:41:56:8d:9e  ,-65
f3:45:89:ef:19:1e  ,-51
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-77
c3:d7:59:ef:38:2e  ,-73

c3:d7:59:ef:38:2e  ,-63
fd:cc:03:3b:fb:50  ,-67

```

รูป 4.2 ข้อมูล MAC Address และ RSSI จาก Beacon

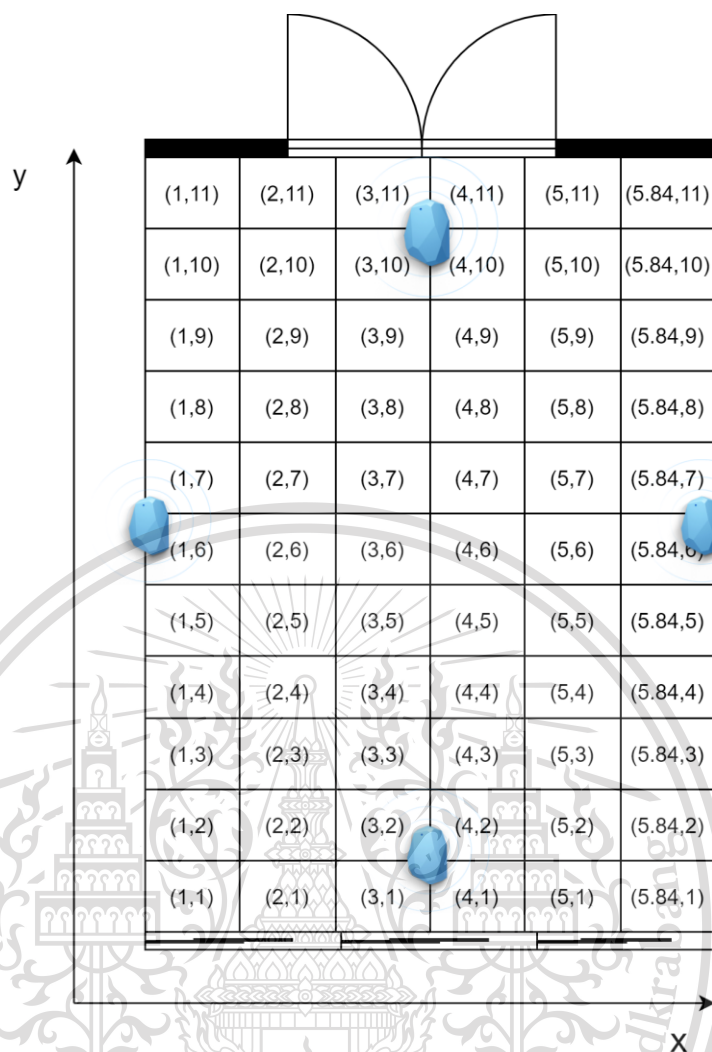
4.2 การเก็บชุดข้อมูล Dataset

การเก็บค่าชุดข้อมูลหรือ Dataset สำหรับการทดลองจะใช้ห้อง 606 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นพื้นที่ทดลอง ซึ่งเป็นห้องที่มีขนาด 5.84 x 11 เมตร ข้างในห้องมีเพียงโต๊ะและเก้าอี้ ไม่มีตู้ที่จะเป็นสิ่งที่กีดขวางโดยทำการกำหนดจุดอ้างอิงสำหรับการเก็บข้อมูลทั้งหมด 66 จุด แบ่งเป็นแนวนอน 6 จุด แนวตั้ง 11 จุด แต่ละจุดจะห่างกันในแนวนอนและแนวตั้ง 1 เมตร หากมองเป็นช่องจะได้ว่าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1x1 เมตร ยกเว้นระยะห่างระหว่างจุดที่ 5 กับ จุดที่ 6 ในแนวนอน ที่จะห่างกัน 0.84 เมตร เนื่องจากสุดกำแพงห้องแล้ว และภายในห้องจะมี BLE Beacon ติดไว้ที่เพดานทั้งหมด 4 ตัว โดย Floorplan ของห้อง 606 แสดงดังรูป 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 27 Floorplan ของห้อง 606

ในการเก็บตัวอย่างข้อมูลจะให้บอร์ด nRF52840 ที่ทำหน้าที่เป็น Receiver ทำการรับค่าสัญญาณ จาก BLE Beacon ที่ปล่อยออกมา เพื่อทำการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ หรือ RSSI โดยคู่อข้อมูลด้วยการส่งปรีนข้อมูลลงบน Terminal ของโปรแกรม Tera Term แล้วบันทึกเป็นไฟล์รูปแบบ CSV จากนั้นก็ทำการใส่ค่าตำแหน่งพิกัด x และ y ในแต่ละจุดอ้างอิง ดังรูป 4.4 ซึ่งมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 21,574 แถว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1206	c3:d7:59:e	-77	5.84	1
1207	f3:45:89:e	-63	5.84	1
1208	e8:ba:41:5	-69	5.84	1
1209	fd:cc:03:3f	-58	5.84	1
1210				
1211	c3:d7:59:e	-76	5.84	1
1212	e8:ba:41:5	-69	5.84	1
1213	f3:45:89:e	-65	5.84	1
1214	fd:cc:03:3f	-58	5.84	1
1215				

รูป 4.4 ตัวอย่างชุดข้อมูล Dataset

4.3 การทดลองระบุตำแหน่งด้วยโมเดล

4.3.1 การเตรียมข้อมูลก่อนเข้าโมเดล

จากชุดข้อมูลที่เก็บมา ทางผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมภาษา Python เพื่อทำการจัด Format ของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมเข้าสู่โมเดลเพื่อทำการฝึก โดยการดึงเอาเฉพาะเลข MAC Address กับค่า RSSI ออกมา พร้อมกับข้อมูลอีก 2 คอลัมน์คือค่าพิกัด x และ y ของจุดที่เก็บข้อมูล ดังรูป 4.4 ซึ่งข้อมูลที่บันทึกมาจากอุปกรณ์จะส่งมาเป็นรอบ ๆ แต่ละรอบจะคั่นด้วยบรรทัดว่าง เพื่อใช้ในการแบ่ง

```

Beacon RSSI PosX PosY
0 e8:ba:41:56:8d:9e -69 1 1
1 f3:45:89:ef:19:1e -58 1 1
2 c3:d7:59:ef:38:2e -64 1 1
3 fd:cc:03:3b:fb:50 -65 1 1
4
5 f3:45:89:ef:19:1e -62 1 1
6 c3:d7:59:ef:38:2e -60 1 1
7 e8:ba:41:56:8d:9e -68 1 1
8 fd:cc:03:3b:fb:50 -63 1 1
9
10 f3:45:89:ef:19:1e -73 1 1
11 e8:ba:41:56:8d:9e -58 1 1
12 c3:d7:59:ef:38:2e -70 1 1
13 fd:cc:03:3b:fb:50 -76 1 1
14
15 fd:cc:03:3b:fb:50 -75 1 1
16 e8:ba:41:56:8d:9e -71 1 1
17 f3:45:89:ef:19:1e -55 1 1
18 c3:d7:59:ef:38:2e -70 1 1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

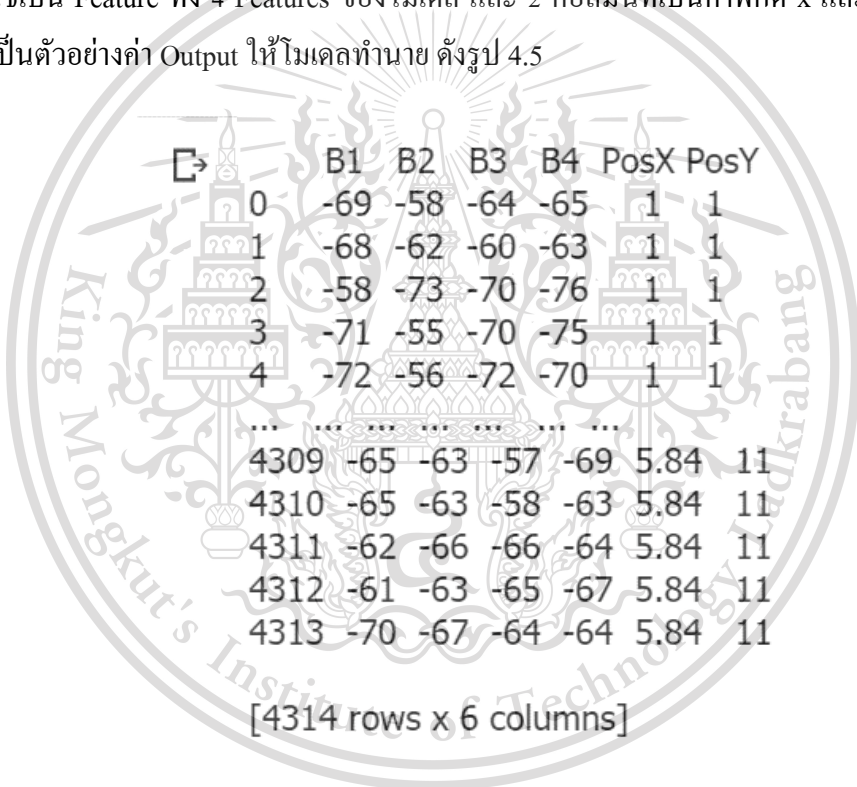
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.4 Dataframe ของข้อมูล

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นก็ทำการวน Loop ใน Dataset แต่ละแถว แล้วนำค่า Mac Address ของ Beacon มาตรวจสอบ กับเงื่อนไข 4 กรณี คือถ้า MAC Address มีค่าเป็น “e8:ba:41:56:8d:9e” ก็ทำการ Push ข้อมูลเข้าไปที่ Array B1 หากมีค่าเป็น “f3:45:89:ef:19:1e” จะทำการ Push ข้อมูลเข้าไปที่ Array B2 หากมีค่าเป็น “c3:d7:59:ef:38:2e” จะทำการ Push ข้อมูลเข้าไปที่ Array B3 และ หากมีค่าเป็น “fd:cc:03:3b:fb:50” จะทำการ Push ข้อมูลเข้าไปที่ Array B4 เมื่อการวน Loop วน ไปถึงรอบที่ เจอแถวที่ข้อมูลเป็นช่องว่าง ก็แสดงว่าได้หมดชุดข้อมูลที่ส่งมาในครั้งแล้ว ก็จะทำการ Push ตำแหน่ง x และ y ของข้อมูลชุดนั้นเข้าไปใน Array PosX และ PosY จากนั้นจึงสร้าง Dataframe ขึ้นมาใหม่ แล้วนำค่าจาก Array B1-B4 , Array PosX และ PosY ไปตั้งเป็น Column ของ Dataframe นั้น เพื่อให้ได้รูปแบบของข้อมูลที่มี 4 คอลัมน์ที่เป็นค่า RSSI ของ Beacon ตัวที่ 1 ถึง 4 ซึ่งเตรียมจะ นำไปใช้เป็น Feature ทั้ง 4 Features ของโมเดล และ 2 คอลัมน์ที่เป็นค่าพิกัด x และ y สำหรับการ นำไปเป็นตัวอย่างค่า Output ให้โมเดลทำนาย ดังรูป 4.5



	B1	B2	B3	B4	PosX	PosY
0	-69	-58	-64	-65	1	1
1	-68	-62	-60	-63	1	1
2	-58	-73	-70	-76	1	1
3	-71	-55	-70	-75	1	1
4	-72	-56	-72	-70	1	1
...
4309	-65	-63	-57	-69	5.84	11
4310	-65	-63	-58	-63	5.84	11
4311	-62	-66	-66	-64	5.84	11
4312	-61	-63	-65	-67	5.84	11
4313	-70	-67	-64	-64	5.84	11

[4314 rows x 6 columns]

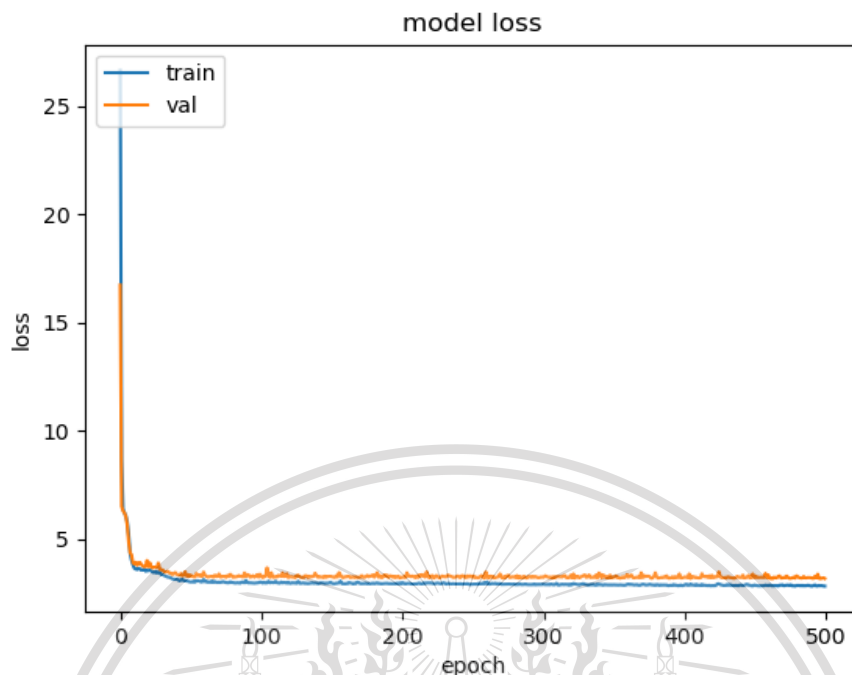
รูป 4.5 Dataframe ของข้อมูลที่จัดรูปแบบแล้ว

4.3.2 การวัดผลการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล

ในส่วนของการวัดผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของโมเดลนั้น จะเริ่มต้นจากการฝึกฝนโมเดล โดยที่ผู้จัดทำได้เขียน โปรแกรมเพื่อสร้าง โมเดล Neural Network ขึ้นมา ที่มีจำนวน Hidden Layer 4 Layers แต่ละ Layer มี 30 Neural ซึ่งทำการฝึกฝนทั้งหมด 500 Epoch และทำการ Plot กราฟค่า Loss ของโมเดลออกมาดังรูป 4.6 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของโมเดลเมื่อผ่านการฝึกฝน ซึ่ง Loss Function ที่ใช้ในการคำนวณนั้นก็คือ MSE

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.6 ค่า Loss ของโมเดลผ่านการฝึกฝน

นอกเหนือจากนี้ก็จะประเมินผลของ โมเดลด้วยค่า 3 ค่าคือค่า Euclidian Distance เฉลี่ย ซึ่งเป็นการหารระยะทางระหว่างจุดจริง กับจุดที่ทำนาย ว่าคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใดใน หน่วยเมตร, ค่า Mean Absolute Error หรือ MAE และค่า Mean Square Error ซึ่งในการทดลองนี้จะ ใช้โมเดล Deep Neural Network ที่มีจำนวน Hidden Layer 4 Layers ในแต่ละ Layer มีจำนวน Neuron 30 อัน โดยผลของการทำนายนั้น ข้อมูลหลักที่จะใช้ในการวัดผลความแม่นยำของงาน ทางด้าน Indoor Positioning คือค่า Euclidian Distance ซึ่งมีค่า 0.5หมายความว่า ผลการทำนายมี ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากจุดจริง 2.1 เมตร ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 การวัดผลการทำนายตำแหน่งของโมเดลด้วยค่าต่าง ๆ

Mean of Euclidian Distance (m)	MSE	MAE	Loss
2.1	3.2	1.4	3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

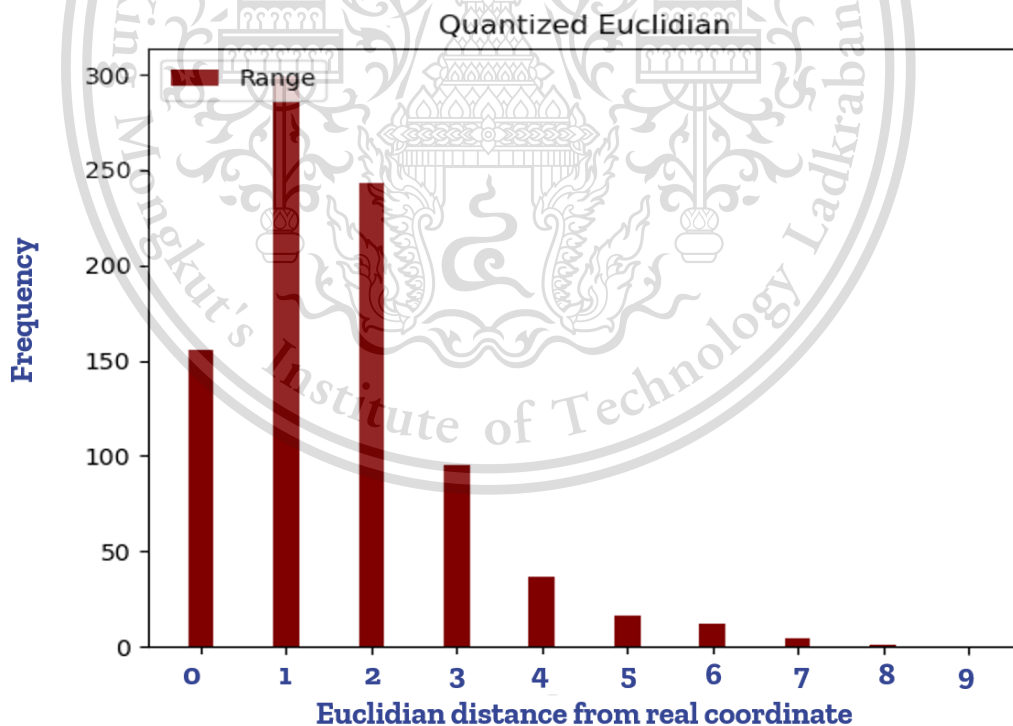
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และผู้จัดทำได้ทำการวัดผลโดยพิจารณาที่ค่า Euclidian Distance เป็นหลัก โดยการหาค่าสูงสุดและต่ำสุด เพื่อสรุปผลว่า ผลที่ทำนายมีความคลาดเคลื่อนเป็นระยะทางมากที่สุดและน้อยสุดเท่าใด ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การวัดผลการทำนายตำแหน่งของโมเดลด้วยค่ามาก-น้อยสุด และค่าเฉลี่ยของ Euclidian Distance

Mean of Euclidian Distance (m)	Max Euclidian Distance (m)	Min Euclidian Distance (m)
2.1	8.9	0.06

และสุดท้ายผู้จัดทำได้ทำการแจกแจงข้อมูลของค่า Euclidian Distance ออกเป็นช่วงตั้งแต่ 0-10 เมตร แต่ละช่วงห่างกัน 1 เมตร เพื่อหาว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะมีค่า Euclidian Distance อยู่ในช่วงใด ซึ่งผลลัพธ์แสดงดังรูป 4.7 ซึ่งเห็นได้ว่า ข้อมูลส่วนใหญ่มี Euclidian Distance หรือ Error อยู่ในช่วง 1-2 เมตร โดยมีจำนวนข้อมูลคือ 299 ข้อมูล จากทั้งหมด 827 ข้อมูล



รูป 4.7 การแจกแจงค่า Euclidian Distance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.3 การเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งด้วยโมเดลกับวิธีสามเหลี่ยมระยะ

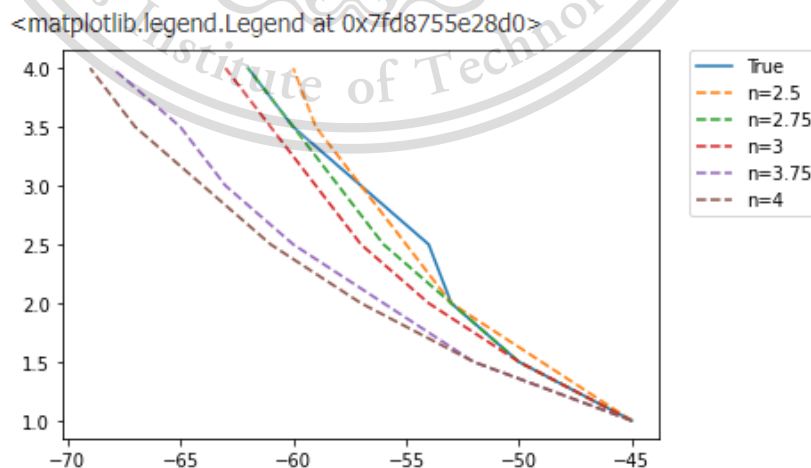
ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาการระบุตำแหน่งด้วยวิธีสามเหลี่ยมระยะหรือ Trilateration เพื่อจะทดลองให้เห็นว่าการนำโมเดลมาใช้ในการระบุตำแหน่งสามารถเพิ่มความแม่นยำให้เพิ่มขึ้นได้ โดยการระบุตำแหน่งด้วยวิธีสามเหลี่ยมระยะนั้นจะต้องทำการหาค่าคงที่ 2 ค่า นั่นคือค่าความเข้มสัญญาณที่ระยะ 1 เมตร และค่า n โดยการหาค่า n จะต้องทำการวัด ค่าความเข้มสัญญาณหรือ RSSI ไว้เป็น Sample Data โดยการทดลองได้วัดค่าความเข้มสัญญาณที่ระยะ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 เมตร ตามลำดับ จดบันทึกไว้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ จากนั้นทำการกำหนดค่า n ขึ้นมา แล้วแทนค่าลงไป ในสูตรดังรูป 4.8 เพื่อหา RSSI ที่จะได้รับเมื่อยืนอยู่ที่จุดวัดสัญญาณแต่ละจุด

$$d(t) = 10^{(RSSI_{ref} - RSSI(t))/10n} \tag{1}$$

เมื่อ $d(t)$ คือ ระยะห่างจากอุปกรณ์ t เมตร
 $RSSI_{ref}$ คือ ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับ 1 เมตร
 $RSSI(t)$ คือ ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับ t เมตร
 และ n คือ ค่าตัวแปรในการส่งสัญญาณ

รูป 4.8 สูตรคำนวณหาระยะทางจากความเข้มสัญญาณ

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพลอตกราฟ เพื่อเปรียบเทียบว่า ค่า n ค่าใด ที่ทำให้ได้ค่า RSSI ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริงมากที่สุด ซึ่งค่าที่ใกล้เคียงมากที่สุดก็ต่อเมื่อแทน $n = 2.75$ โดยผลการทดลองแสดงดังรูป 4.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูป 4.9 กราฟค่าความเข้มสัญญาณที่คำนวณได้เมื่อแทนค่า n ต่างๆ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

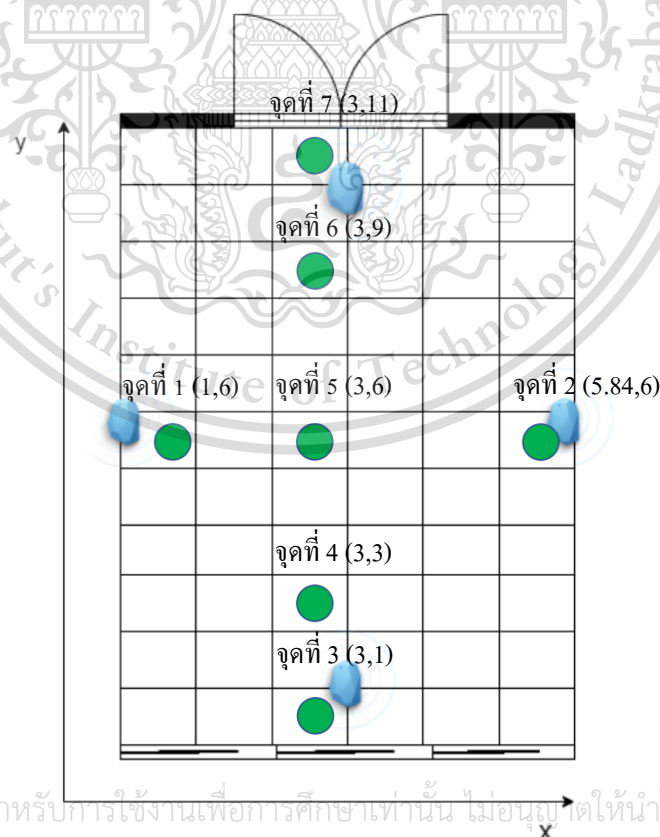
จากนั้นเมื่อทำการหาค่าคงที่ 2 ค่าเสร็จแล้วนั้น ก็สามารถนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งได้ โดยจะทำการเลือกค่า RSSI 3 ค่าที่สัญญาณแรงที่สุด ไปใช้ในการคำนวณ แล้ววัดผลด้วยค่า Euclidian Distance เปรียบเทียบกับการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล โดยผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่า Euclidian Distance เผลี่ย ระหว่างการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล และวิธีตามเหลี่ยมระยะ หน่วยเป็นเมตร (m)

	Trilateration	Model
Mean of Euclidian Distance (m)	4.1	2.1

4.4 การทดสอบการระบุตำแหน่ง

ในการทดสอบ ทางผู้จัดทำจะทดสอบการระบุตำแหน่งภายในห้องทดลองขนาดความกว้าง 5.84 เมตร และขนาดความยาว 12 เมตร ดังรูป 4.10 แบ่งการทดสอบทั้งหมด 7 จุดดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.10 จุดทดสอบในพื้นที่ทดลอง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 1) จุดที่ 1 ตำแหน่งที่ (1,6)
- 2) จุดที่ 2 ตำแหน่งที่ (5.84,6)
- 3) จุดที่ 3 ตำแหน่งที่ (3,1)
- 4) จุดที่ 4 ตำแหน่งที่ (3,3)
- 5) จุดที่ 5 ตำแหน่งที่ (3,6)
- 6) จุดที่ 6 ตำแหน่งที่ (3,9)
- 7) จุดที่ 7 ตำแหน่งที่ (3,11)

ในแต่ละจุดตำแหน่งที่ทำการทดสอบจะทดสอบการระบุตำแหน่งทั้งหมด 10 ครั้ง เมื่อได้ผลการระบุตำแหน่งจริง จะนำค่าตำแหน่งจริงมาเฉลี่ย และหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งจริง กับตำแหน่งที่กำหนดโดยวิธีระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) เพื่อระบุความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งระยะทางของแต่ละตำแหน่งด้วยหน่วยเมตร ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งในพื้นที่ทดลอง

ตำแหน่งจริง	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ความคลาดเคลื่อนน้อย สุด(เมตร)	ความคลาดเคลื่อนมาก สุด(เมตร)
(1,6)	1.9	0.1	3.6
(5.84,6)	2.13	0.8	3.2
(3,1)	1.65	1.2	2.4
(3,3)	2.26	0.7	5.2
(3,6)	1.64	1.3	2
(3,9)	0.59	0.3	1
(3,11)	1.65	1	4.7

จากตารางดังกล่าว ทำให้เราทราบว่าในการระบุตำแหน่งจะมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดอยู่ที่ประมาณ 1.68 เมตร

4.5 การแสดงผลบนหน้า Web Application

ในส่วนของ Web Application นั้นเมื่อเข้ามาจะพบกับหน้าล็อกอิน โดยผู้ใช้งานจะต้องทำการล็อกอินเพื่อเข้าสู่ระบบก่อนการใช้งาน โดยมีหน้าตาดังรูป 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Username
tanawan8931

Password
kositapa893

Login

รูป 4.11 หน้าล็อกอิน

โดยผู้ใช้งานจะต้องกรอก Username และ Password ให้ถูกต้อง หากกรอกไม่ถูกต้องจะขึ้นแจ้งเตือนดัง

รูป 4.12

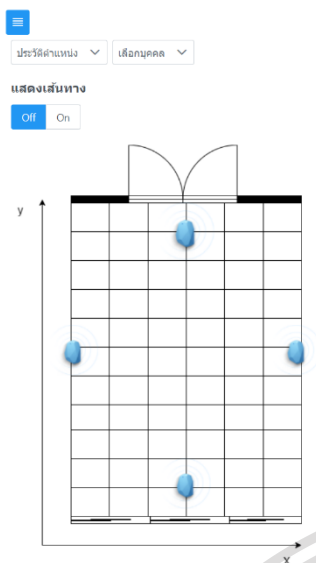


รูป 4.12 การแจ้งเตือนผู้ใช้งานเมื่อล็อกอินไม่สำเร็จ

แต่ถ้าหากกรอก Username และ Password ถูกต้อง ระบบจะนำผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าที่ ซึ่งเป็นเอกสารนี้เป็นหน้าแรกของระบบ ที่มีการวางแผนที่ของพื้นที่ทดลองคือห้อง 606 ดังรูป 4.13 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.13 หน้าแผนที่

ที่หน้าแผนที่เป็นหน้าที่จะใช้ในการติดตามตำแหน่งของพนักงานแต่ละคน รวมไปถึงการดูตำแหน่งย้อนหลังและเส้นทางการเดินของพนักงานแต่ละคนด้วย โดยจะอธิบายทีละฟีเจอร์ดังนี้

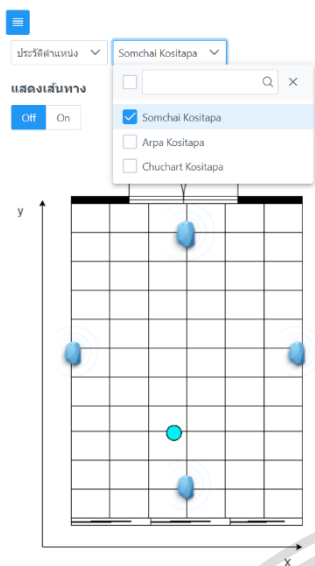
4.5.1 การดูตำแหน่งปัจจุบัน

การดูตำแหน่งปัจจุบันทำได้โดยการเลือก Dropdown “เลือกบุคคล” เมื่อกดแล้วจะปรากฏเป็นชื่อพนักงานและช่องค้นหา ให้เลือกพนักงานที่สนใจ เมื่อเลือกแล้วระบบจะรอให้มีข้อมูลจากฝั่ง Backend ส่งเข้ามา และนำมาแสดงบนแผนที่ดังรูป 4.14 และสามารถกดที่วงกลมที่แสดงบนแผนที่ เพื่อดูรายละเอียดเบื้องต้นของพนักงานคนนั้น ดังรูป 4.15

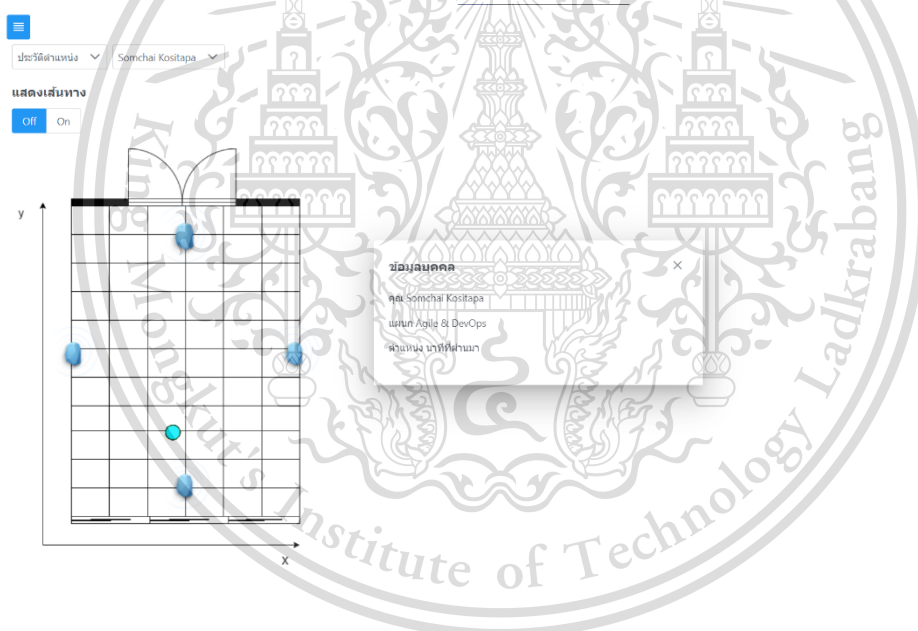
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.14 การเลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง



รูป 4.15 การแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของพนักงาน

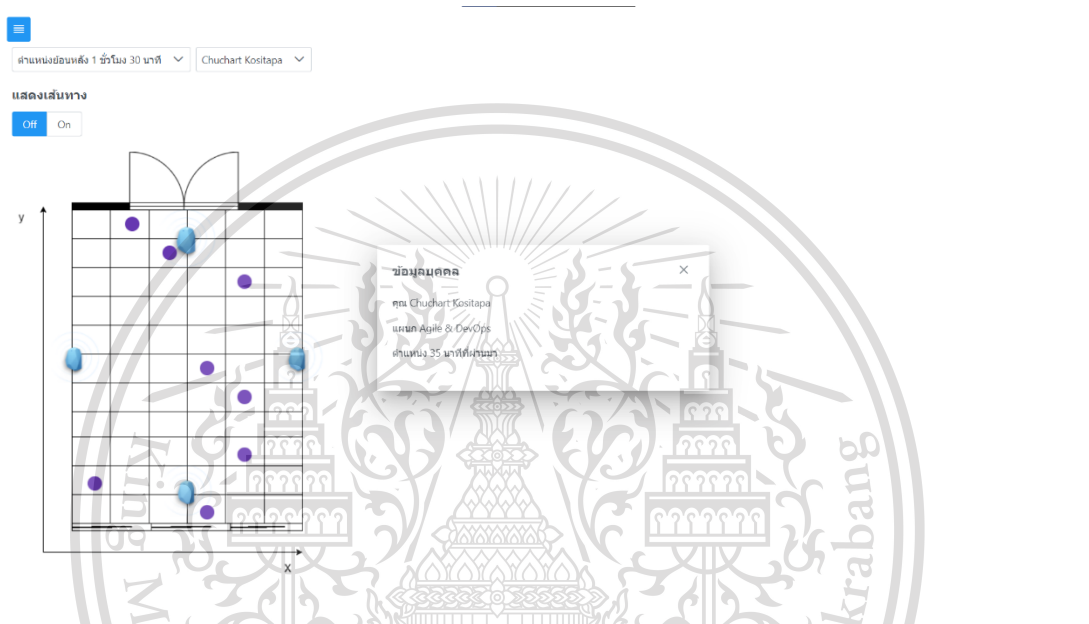
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.2 การดูตำแหน่งย้อนหลังและเส้นทางการเดิน

การดูตำแหน่งย้อนหลังทำได้โดยการเลือก Dropdown “ประวัติตำแหน่ง” เพื่อเลือกช่วงเวลาย้อนหลังที่ต้องการ โดยมี 3 ตัวเลือกคือ ย้อนหลัง 30 นาที, ย้อนหลัง 1 ชั่วโมง และย้อนหลัง 1 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นก็ให้กดเลือก Dropdown “เลือกบุคคล” เพื่อเลือกพนักงานที่ต้องการ ระบบก็จะแสดงตำแหน่งย้อนหลังภายในช่วงเวลาที่เลือก และสามารถกดเพื่อดูรายละเอียดเบื้องต้นของพนักงานได้ ดังรูป 4.16



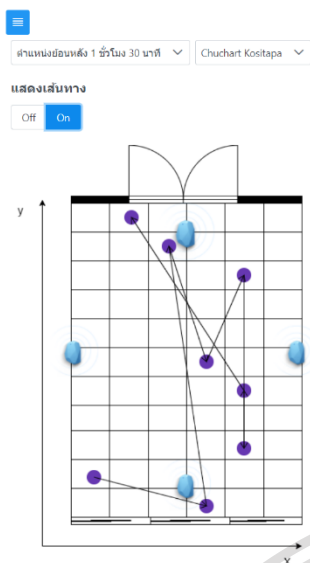
รูป 4.16 การดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน

ในส่วนของการแสดงเส้นทางนั้น สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม On ในหัวข้อ แสดงเส้นทาง ระบบก็จะวาดเส้นลูกศร จากจุดเก่าสุด ไปยังจุดล่าสุด ดังรูป 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

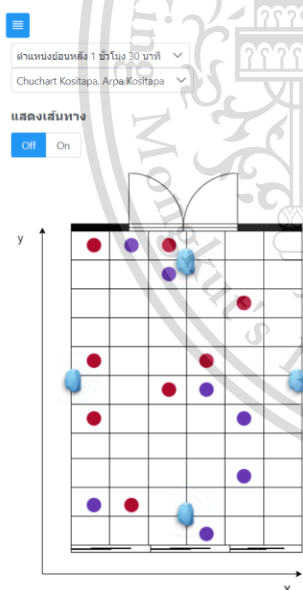
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.17 การแสดงเส้นทางการเดินทางของพนักงาน

และหน้าแผนที่ยังสามารถแสดงตำแหน่งของพนักงานหลายคนพร้อมกันได้ โดยการคลิกเพื่อเลือกพนักงานคนอื่น ๆ และจะแสดงผลแยกสีกันชัดเจน ดังรูป 4.18



รูป 4.18 การแสดงตำแหน่งของพนักงานหลายคน

นอกจากหน้าที่แล้ว Web Application ของระบบยังประกอบไปด้วยหน้าอื่น ๆ อีก 2 หน้า คือ หน้าข้อมูล และหน้าลงทะเบียนพนักงาน ซึ่งหน้าข้อมูลนั้นเอาไว้ใส่ข้อมูลเวลาทำงานของพนักงานแต่ละคน และตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามในแต่ละพื้นที่ โดยจะอธิบายทีละฟีเจอร์ดังนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.3 การนับเวลาทำงานของพนักงาน

การนับเวลาทำงาน เป็นฟีเจอร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้การระบุตำแหน่งเป็นพื้นฐาน กล่าวคือเมื่อเราระบุตำแหน่งได้แล้ว ระบบก็จะแปรผลว่าพนักงานคนนั้น อยู่ในบริเวณไหน หรือห้องอะไร จากนั้นบันทึกข้อมูลของพนักงานและตำแหน่งลงในฐานข้อมูลพร้อมทั้ง Timestamp จากนั้นก็จะคำนวณเวลาได้จากการหาผลต่างของ Timestamp นั้นเอง

การนับเวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนนั้นจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่คอยตรวจสอบได้ทราบว่า พนักงานแต่ละคนอยู่ในพื้นที่ทำงานของพวกเขาเต็มเวลาหรือไม่ มีการแอบทำงานหรือไม่ โดยจะแสดงอยู่ในรูปแบบของตาราง ที่มีรายชื่อพนักงานจัดกลุ่มตามแผนกของพนักงานแต่ละคน ดังรูป 4.19

ตารางเงาเวลาที่พนักงานอยู่ในพื้นที่ หน่วยเป็นชั่วโมง	
แสดงเป็นกลุ่มตามแผนก	
Name	
Agile & DevOps	
Somchai Kositapa	
Chuchart Kositapa	
Total People	2
Test Automation	
Arpa Kositapa	
Total People	1

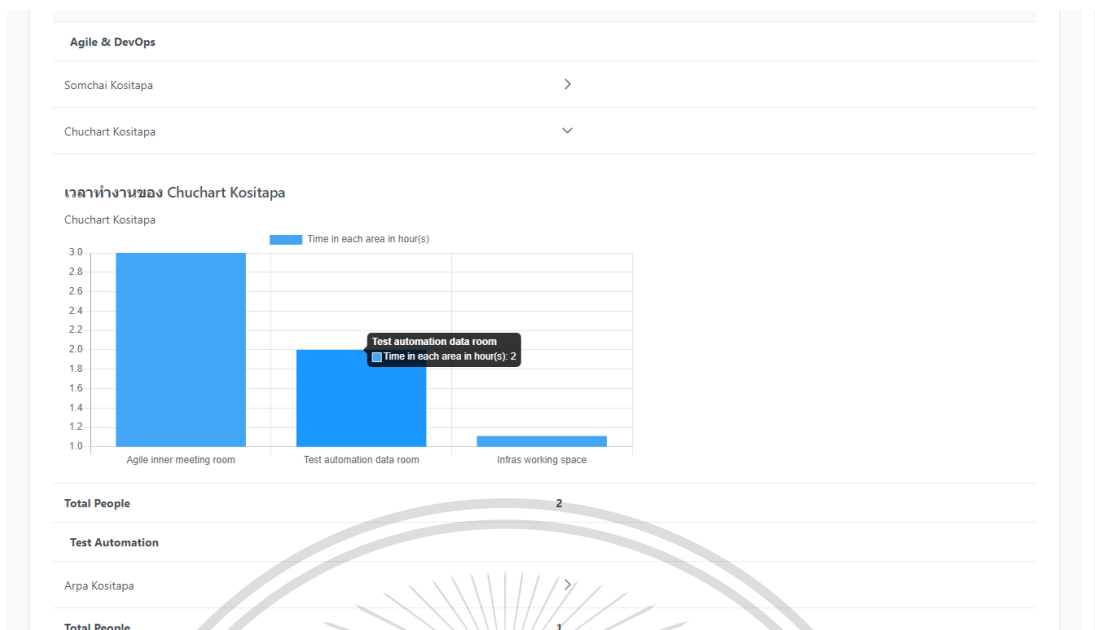
รูป 4.19 ตารางแสดงรายชื่อพนักงานจัดกลุ่มตามแผนก

โดยเมื่อกดปุ่มขยายการแสดงผล ที่เป็นรูปหัวลูกศรแล้ว ก็จะแสดงกราฟแท่ง ที่จะแสดงให้เห็นว่าพนักงานคนนั้น ได้เข้าไปในพื้นที่ไหน เป็นเวลาเท่าไรบ้าง ในหน่วยชั่วโมง ดังรูป 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.20 กราฟแท่งแสดงเวลาในแต่ละบริเวณที่พนักงานคนนั้นอยู่

4.5.4 การตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงาน

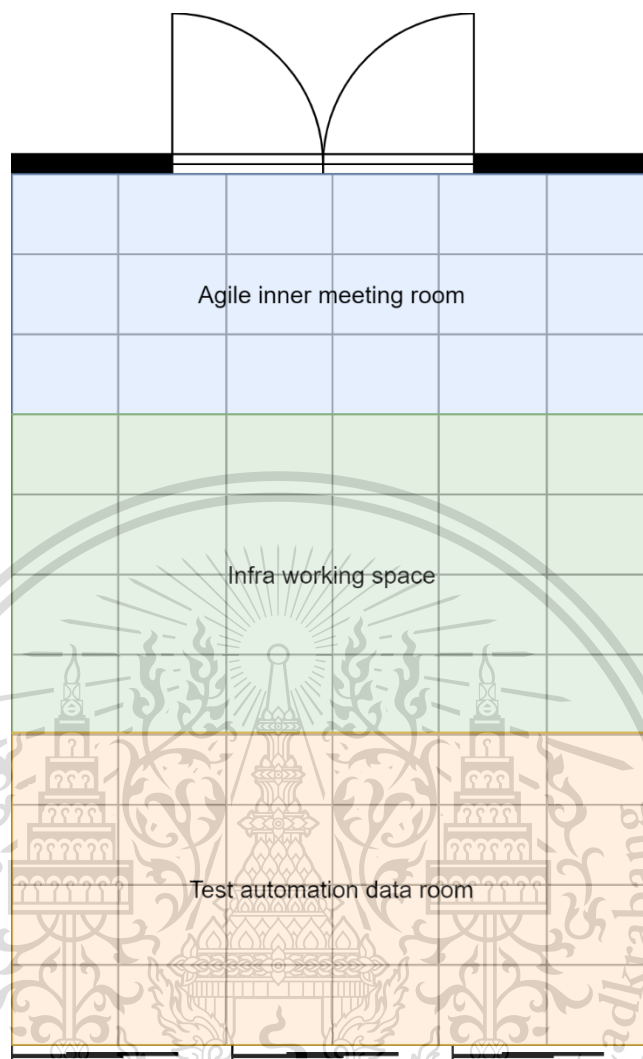
การตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของพนักงานนั้นมีไว้สำหรับความปลอดภัย เพื่อให้เจ้าหน้าที่ที่คอยตรวจสอบได้ทราบถึงพฤติกรรมที่ไม่หวังดีของพนักงาน อย่างเช่น การลักลอบเข้าไปในพื้นที่ที่ไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งอาจจะเป็นการลักลอบเข้าไปใช้อุปกรณ์, โปรแกรม สิ่งของหรือข้อมูล เคลื่อนย้ายสิ่งของต่าง ๆ ออกไปโดยพลการ เป็นต้น

ในการทดลองนี้ผู้จัดทำได้ใช้ห้องทดลองห้อง 606 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ 2 เป็นพื้นที่จำลองสำหรับการตรวจสอบการละเมิด โดยได้ทำการแบ่งพื้นที่ทดลองออกเป็น 3 ส่วน แทนห้องต่าง ๆ ของบริษัท คือ 1. ห้องเก็บข้อมูลของทีม Test Automation 2. ห้องทำงานของทีม Infrass 3. ห้องประชุมภายในของทีม Agile โดยมีโครงสร้างตามรูป 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.21 การแบ่งพื้นที่ทดลองเพื่อจำลองห้องต่าง ๆ

โดยหลักการตรวจจับการละเมิดนั้นใช้การระบุตำแหน่งเป็นพื้นฐาน เมื่อระบุตำแหน่งได้แล้วระบบจะแปรผลว่าพนักงานคนนั้นอยู่บริเวณไหนหรือห้องอะไร จากนั้นจะตรวจสอบในฐานข้อมูลว่า บริเวณที่พนักงานคนนั้นอยู่ อนุญาตให้พนักงานคนนั้นเข้าได้หรือไม่ ด้วยการตรวจสอบแผนก เช่น ห้อง Test automation data room อนุญาตให้คนในแผนก Test automation เข้าได้เท่านั้น พนักงานสมมติที่ชื่อว่า Somchai Kositapa นั้นไม่ได้อยู่แผนก Test automation เมื่อ Somchai อยู่ในห้องนี้เกิน 3 นาที ระบบจะถือว่า Somchai มีพฤติกรรมละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม และบันทึกลงฐานข้อมูลไว้ เพื่อนำมาแสดงที่หน้าข้อมูลของ Web Application ดังรูป

4.22 โดยจะแสดงรายละเอียดคือชื่อของพนักงานที่มีการละเมิดในแต่ละพื้นที่, หมายเลขอุปกรณ์
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามที่พนักงานคนนั้นถืออยู่ และเวลาที่มีการตรวจพบการละเมิดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางแสดงบุคคลที่มีการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม

แสดงบุคคลผู้ละเมิดในแต่ละพื้นที่

Name	TrackerID	Timestamp
Test automation data room		
Somchai Kositapa	n00001	02/09/2021 17:13:46
Somchai Kositapa	n00001	02/09/2021 18:16:47
Somchai Kositapa	n00001	02/09/2021 18:56:01
จำนวนครั้งที่มีการละเมิด	3	

รูป 4.22 ตารางแสดงบุคคลที่มีการละเมิด

4.5.5 การลงทะเบียนพนักงานใหม่

การลงทะเบียนพนักงานใหม่มีไว้เพื่อเก็บข้อมูลของพนักงานและเปรียบเสมือนกับการลงทะเบียนเพื่อใช้อุปกรณ์ติดตาม เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามตำแหน่งของพนักงานคนนั้นได้ โดยมีหน้า UI ดังรูป 4.23

ลงทะเบียนบุคคลใหม่

ชื่อ

นามสกุล

แผนก

หมายเลขอุปกรณ์

MAC Address

Register

รูป 4.23 หน้าลงทะเบียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุป

5.1 บทสรุป

ภายในโครงงานมีการทำงานหลักอยู่ 4 ส่วน คือ การทำงานในส่วนของอุปกรณ์วัดสัญญาณ Bluetooth Low Energy, การทำงานในส่วนของ LoRa, การทำงานในส่วนของ Web Application และการทำงานในส่วนของการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล

5.1.1 การทำงานในส่วนของอุปกรณ์วัดสัญญาณ Bluetooth Low Energy

- 1) อุปกรณ์สามารถสแกนหา BLE Beacon และวัดค่าความเข้มสัญญาณได้

5.1.2 การทำงานในส่วนของ LoRa

- 1) อุปกรณ์ที่ใช้ส่ง LoRa สามารถส่งข้อมูลไปยัง LoRa Gateway ได้
- 2) LoRa Gateway สามารถส่งข้อมูลไปยัง Network Server ได้
- 3) Network Server สามารถส่งข้อมูลไปยัง Application Server ได้
- 4) Application Server สามารถส่งข้อมูล ไปยัง Web Application ได้

5.1.3 การทำงานในส่วนของ Web Application

- 1) Web Application สามารถแสดงตำแหน่งปัจจุบันของพนักงาน ที่โมเดลทำนายบนแผนที่ได้
- 2) Web Application สามารถรับข้อมูลจาก Application Server ได้
- 3) Web Application มีระบบล็อกอิน ล็อกเอาท์
- 4) Web Application มีระบบลงทะเบียน
- 5) Web Application สามารถแสดงตำแหน่งย้อนหลัง และเส้นทางการเดินของพนักงานแต่ละคนได้
- 6) Web Application สามารถแสดงเวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนได้
- 7) Web Application สามารถตรวจสอบการละเมิดเขตพื้นที่หวงห้ามของพนักงานได้

5.1.4 การทำงานในส่วนของการระบุตำแหน่งด้วยโมเดล

- 1) โมเดลสามารถนำ Dataset ไปฝึกฝนและทำนายพิกัดค่า x และ y ออกมาได้
- 2) โมเดลให้ผลการระบุตำแหน่งคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.1 เมตร

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุพิเศษขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) บอร์ด nRF52840 หาข้อมูลและตัวอย่างได้ยาก
- 2) การส่งข้อมูลด้วย LoRa จะส่งได้ทุกๆ 30 วินาทีเท่านั้น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

- 1) ปรับปรุงอัลกอริทึมเดิม ให้ระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น
- 2) พัฒนาหน้า Web Application ให้สวยงามขึ้น
- 3) ทดสอบกับห้องที่มีสิ่งกีดขวางเช่น ตู้ และพัฒนาโมเดลให้ระบุตำแหน่งได้แม่นยำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Insoft Smart Connected Locations, *Indoor Tracking Use Case*, [Online].Available : <https://www.insoft.com/solutions/application-fields/indoor-tracking>, 2019
- [2] Indoors, *Modern Retail Use Case*, [Online].Available : <https://indoo.rs/industries/retail/>, 2015
- [3] G. Wurms, *An Emergency Call System for Elderly People in Nursing Homes*, [Online].Available : <https://www.insoft.com/use-cases/an-emergency-call-system-for-elderly-people-in-nursing-homes>, 2018
- [4] Patspri, *เปรียบเทียบ Bluetooth 5.0 กับ Bluetooth 4.2 แตกต่างกันอย่างไรร*, [Online].Available : https://droidsans.com/bluetooth-5-vs-4-2-comparison/?fbclid=IwAR2iCut0lMViMzthpX4DNMHPg_X_QnO1ARl24IJdlMxX0CbSRDIazY-fpeo, 2017
- [5] Wikipedia, *Bluetooth Low Energy*, [Online].Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy, 2020
- [6] Nordic-Semiconductor, *nRF52840 Development Kit Overview*, [Online].Available : <https://www.nordicsemi.com/Software-and-tools/Development-Kits/nRF52840-DK>, 2020
- [7] Radioland, *C Chip BLE Nrf52832 Beacon 3-axis Accelerometer Temperature And Humidity Sensor Module Optional Programmable iBeacon IP65*, [Online].Available : https://radioland-china.en.alibaba.com/product/60798177518-807354582/IC_Chip_BLE_Nrf52832_Beacon_3_axis_Accelerometer_Temperature_And_Humidity_Sensor_Module_Optional_Programmable_iBeacon_IP65.html, 2019
- [8] Semtech, *What is LoRa*, [Online].Available : <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>, 2018
- [9] Wikipedia, *LoRa*, [Online].Available : https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa?fbclid=IwAR3TcqXW40zfJ0En7cZSYBuleRstV_gUjAjON0Ci3K6Y6nJbQriCa_mrsVE, 2020
- [10] Semtech, *What is LoRaWAN*, [Online].Available : <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora?fbclid=IwAR0veET9NASrssZ-N4-YKvP-HCU-lpRck-fkw5KRxqZMO-mOR7bYHwXIAY>, 2018

[11] Smartfarmbot, *เทคโนโลยี Lora หรือ LoRaWAN ในการเป็นผู้นำตลาด Internet of Thing ในปัจจุบัน*, [Online].Available : <http://www.smartfarmbot.com/b/18>, 2018

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [12] Semtech, *STM32L0 Discovery kit LoRa, Sigfox, low-power wireless*, [Online].Available : <https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l072z-lrwan1.html>, 2019
- [13] Semtech, *STM32 Nucleo-144 development board with STM32F746ZG MCU*, [Online].Available : <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f746zg.html>, 2020
- [14] Semtech, *STM32 Nucleo pack LoRa™ HF band sensor and gateway*, [Online].Available : <https://www.st.com/en/evaluation-tools/p-nucleo-lrwan2.html>, 2019
- [15] Chirpstack, *Chirpstack open-source LoRaWAN Network Server Stack*, [Online].Available : <https://www.chirpstack.io/>, 2019
- [16] ปิยะพงษ์ แดงขำ, *ระบบระบุตำแหน่งแบบเวลาจริงภายในอาคารด้วยเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ*, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี, 2018
- [17] Wikipedia, *Deep Learning*, [Online].Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#:~:text=A%20deep%20neural%20network%20\(DNN,or%20a%20non%2Dlinear%20relationship,2020](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning#:~:text=A%20deep%20neural%20network%20(DNN,or%20a%20non%2Dlinear%20relationship,2020)
- [18] Nicolas , *What is the difference between a neural network and a deep neural network, and why do the deep ones work better?.* [Online].Available : <https://stats.stackexchange.com/questions/182734/what-is-the-difference-between-a-neural-network-and-a-deep-neural-network-and-w>, 2015
- [19] Hsin-Piao Lin, Getaneh Berie Tarekegn, Yirga Yayeh Munaye, and Lei Yen, *An Indoor and Outdoor Positioning Using a Hybrid of Support Vector Machine and Deep Neural Network Algorithms*, Taipei, National Taipei University of Technology, 2018
- [20] R F Malik, R Gustifa, A Farissi, D Stiawan, H Ubaya, M R Ahmad and A.S. Khirbeet, *The Indoor Positioning System Using Fingerprint Method Based DeepNeural Network*, Palembang, Universitas Sriwijaya, 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

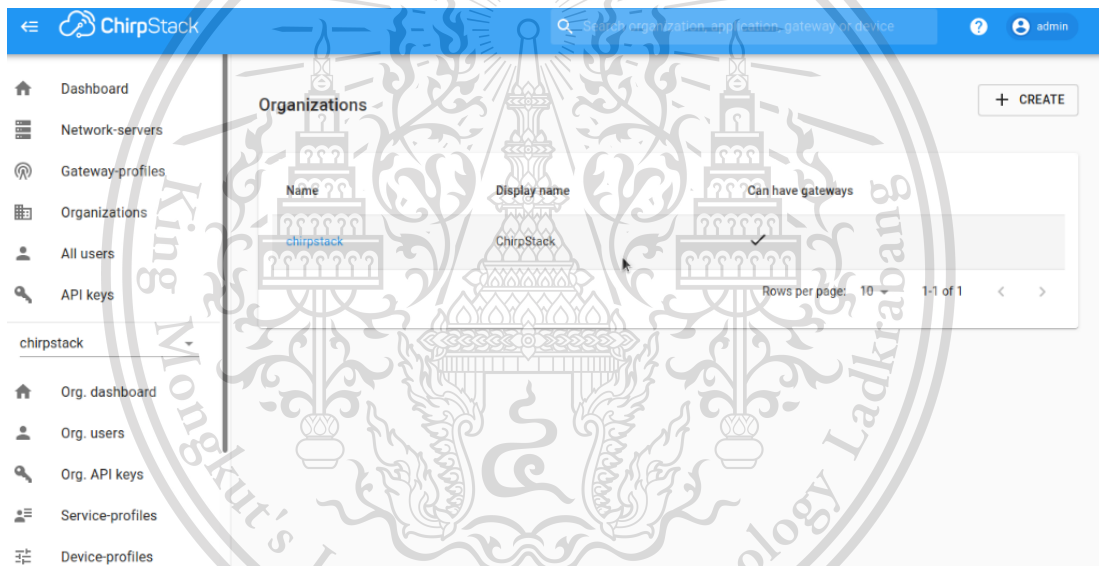
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการตั้งค่า ChirpStack

ก.1 การตั้งค่าในส่วน LoRa Platform

ในการตั้งค่าในส่วนของ LoRa Platform ในโครงการงานชิ้นนี้ใช้ Network Server ของ Chirpstack ในการรับส่งข้อมูลจาก Gateway ของบอร์ด LoRa Gateway ไปยัง Application Server โดยก่อนเริ่มต้นนั้น จะต้องทำการติดตั้ง Chirpstack-Gateway-Bridge, Chirpstack-Network-Server, Chirpstack-Application-Server ก่อน หลังจากที่ทำกรติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ให้เข้าไปที่ 192.168.1.218:8080 โดยเลข IP Address จะเป็นหมายเลขประจำเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เมื่อเข้าได้แล้ว จากพบหน้าเว็บดังรูป ก.1 แล้วให้ตั้งค่าตามขั้นตอนต่อไปนี้



รูป ก.1 หน้าเว็บ ChirpStack

ก.1.1 หลังจากเข้าหน้าเว็บแล้วให้กดปุ่ม Create แล้วตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.2

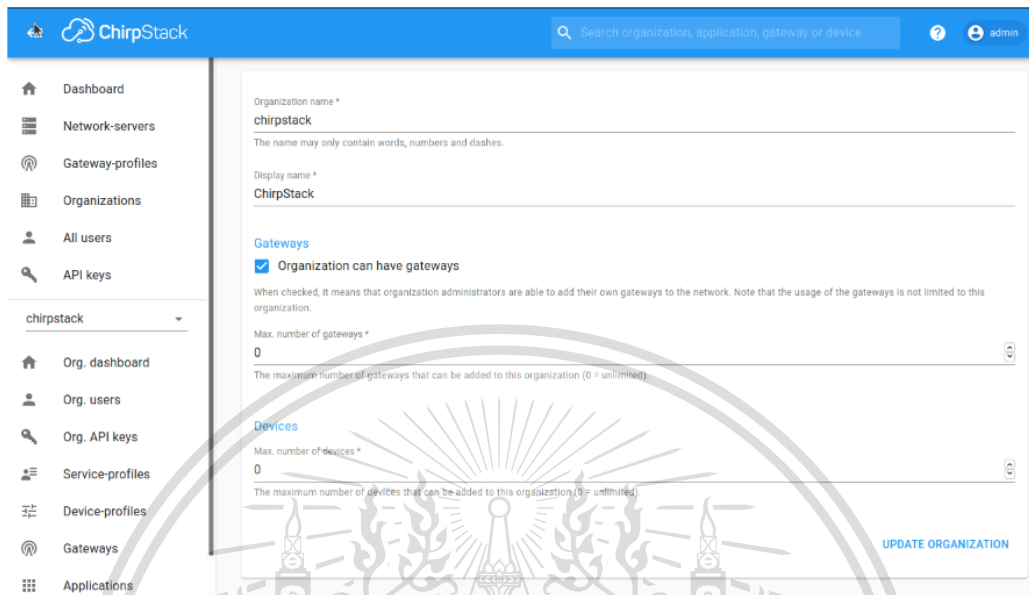
- 1) Organization name : Chirpstack
- 2) Display name : Chirpstack
- 3) เลือก Organization can have gateways

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

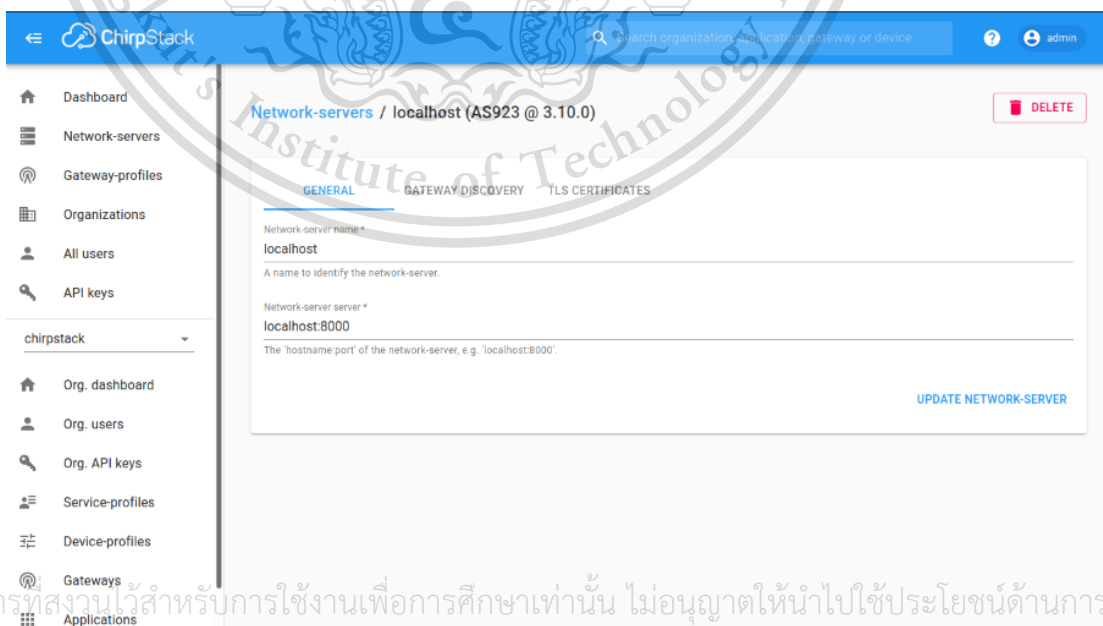
- 4) เมื่อเลือก Organization can have gateways กำหนด Max.number of gateways: 0
- 5) กำหนด Max.number of gateways : 0



รูป ก.2 การตั้งค่า Organization

ก.1.2 ถัดไปให้ไปที่ Network-Server กด Create แล้วตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.3

- 1) Network-server name เป็น localhost
- 2) Network-server server เป็น localhost:8000



รูป ก.3 การตั้งค่า Network Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ก.1.3 ถัดไปเลือกที่ Gateway-profiles กด Create แล้วตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.4

- 1) Name : IoTGateway
- 2) Stats Interval: 30
- 3) Enabled channels: 1,2,3
- 4) กด Extra channel แล้วตั้งค่า
- 5) Modulation : LoRa
- 6) Bandwidth : 125
- 7) Frequency: 923000000
- 8) Spreading factors: 7,8,9,10,11,12

The screenshot shows the ChirpStack web interface for configuring a Gateway-profile. The main form fields are as follows:

- Name:** IoTGateway
- Stats Interval (seconds):** 30
- Enabled channels:** 1, 2, 3
- Modulation:** LoRa
- Bandwidth (kHz):** 125 kHz
- Frequency (Hz):** 923000000
- Spreading factors:** 7, 8, 9, 10, 11, 12

There is also an 'Extra channel' section with a 'delete' button. At the bottom right, there are buttons for 'ADD EXTRA CHANNEL' and 'UPDATE GATEWAY-PROFILE'.

รูป ก.4 การตั้งค่า Gateway-profiles

ก.1.4 ถัดไปเลือก Gateway แล้วกด Create ตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.5

- 1) Gateway name: IoTGateway
- 2) Gateway Description: Test
- 3) Gateway ID: กดเลือก Generate random
- 4) Network-server: เลือก Network-server ที่ได้ทำการสร้างไว้ (localhost)
- 5) Gateway-Profiles: เลือก Gateway-Profiles ที่ได้ทำการสร้างไว้ (IoTGateway)

6) Gateway Attitude : 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ChirpStack

Search organization, application, gateway or device

admin

- Network-servers
- Gateway-profiles
- Organizations
- All users
- API keys
- chirpstack
- Org. dashboard
- Org. users
- Org. API keys
- Service-profiles
- Device-profiles
- Gateways
- Applications
- Multicast-groups

Gateway name *

The name may only contain words, numbers and dashes.

Gateway description *

Gateway ID * MSB ↻

Network-server *

Select network-server

Select the network-server to which the gateway will connect. When no network-servers are available in the dropdown, make sure a service-profile exists for this organization.

Gateway-profile

Select gateway-profile

Optional. When assigning a gateway-profile to the gateway, ChirpStack Network Server will attempt to update the gateway according to the gateway-profile. Note that this does require a gateway with ChirpStack Concentrator.

Gateway discovery enabled

When enabled (and ChirpStack Network Server is configured with the gateway discover feature enabled), the gateway will send out periodical pings to test its coverage by other gateways in the same network.

Gateway antenna (meters) *

0

When the gateway has an on-board GPS, this value will be set automatically when the network has received statistics from the gateway.

รูป ก.5 การตั้งค่า Gateway

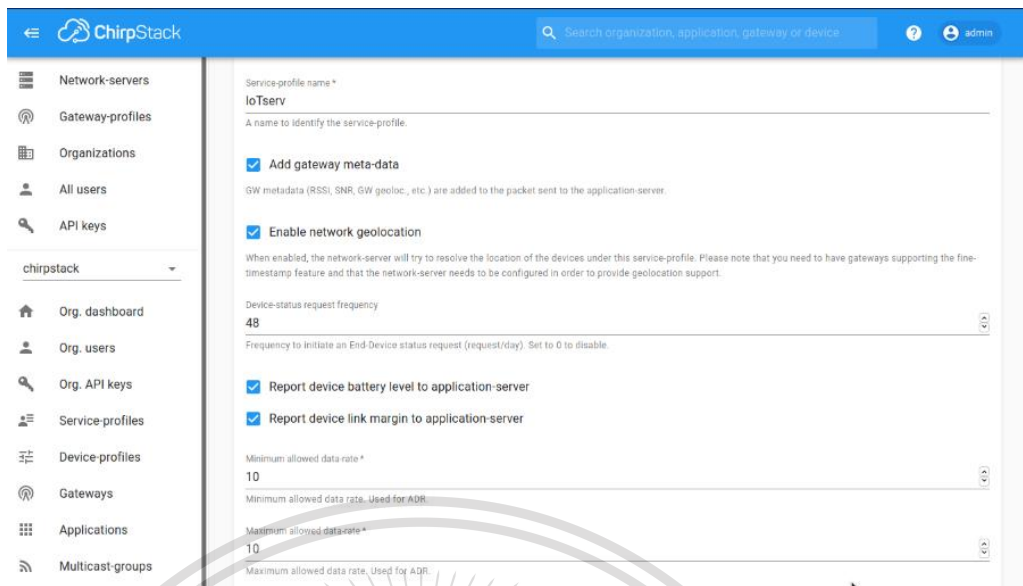
ก.1.5 ถัดไปให้ไปที่ Service-profiles กด Create แล้วตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.6

- 1) Service-profiles name: IoTserv
- 2) เลือก Add gateway meta-data
- 3) เลือก Enable network geolocation
- 4) Device-status request frequency : 48
- 5) เลือก Report device battery level to application-server
- 6) เลือก Report device link margin to application-server
- 7) Minimum allowed data-rate : 10
- 8) Maximum allowed data-rate : 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

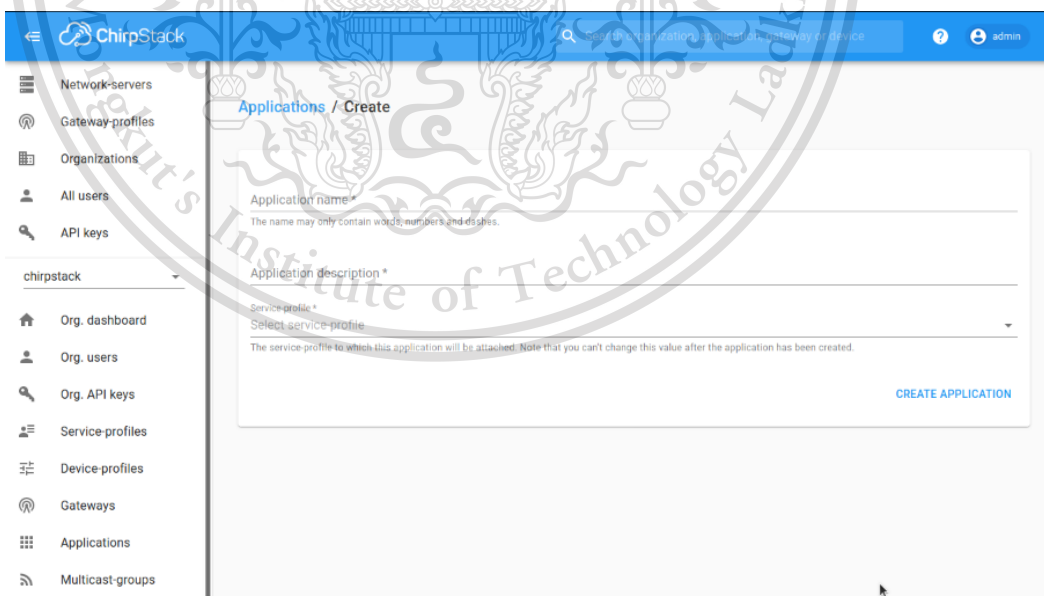
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป ก.6 การตั้งค่า Service Profile

ก.1.6 ถัดไปให้เลือกที่ Applications กด Create แล้วตั้งค่าดังต่อไปนี้ ดังรูป ก.7

- 1) Application name : IoTApp
- 2) Application description: IoTApp
- 3) Service-profile: เลือก Service-profile ที่ได้ทำการสร้างก่อนหน้านี้ (IoTserv)



รูป ก.7 การตั้งค่า Applicaiton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมด ทำให้สามารถตั้งค่า LoRa Gateway Network Server และ Application Server ได้อย่างเรียบร้อย หลังจากนั้นถ้าหากต้องการเพิ่ม End-Device เข้าไปให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

ก.1.7 ให้เข้าไปที่ Device-profile กด Create ตั้งค่าดังตัวอย่างต่อไปนี้ ดังรูป ก.8

1) ในแถบ General

- Device-profile name : IoTDev
- Network-server : เลือก Network-server ที่สร้างไว้ (localhost)
- LoRaWAN MAC Version : เลือก Version LoRaWAN MAC (LoRaWan Version 1.0.3)
- LoRaWAN Regional Parameters revision : เลือก Regional Parameters revision (A)
- MAX EIRP : 0
- Uplink Interval: 30

2) ในแถบ Join(OTAA/ABP)

- Device supports OTAA : เลือกในกรณีที่เลือกการ Join แบบ OTAA
- Factory-preset frequency : 923000000

3) ในแถบ CLASS-B

- เลือก Device supports Class-B
- Class-B confirmed downlink timeout : 30
- Class-B ping slot periodcity : เลือก every 2 seconds
- Class-B ping slot data-rate : 5
- Class-B ping slot frequency : 1

4) ในแถบ CLASS-C

- เลือก Device supports Class-C
- Class-C confirmed downlink timeout : 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

The screenshot shows the ChirpStack web interface for creating a device profile. The left sidebar contains navigation options like Network-servers, Gateway-profiles, Organizations, All users, API keys, and various dashboards. The main content area is titled 'CREATE DEVICE-PROFILE' and has several tabs. The 'GENERAL' tab is selected, showing the following fields:

- Device-profile name ***: A name to identify the device-profile.
- Network-server ***: Select network-server. The network-server on which this device-profile will be provisioned. After creating the device-profile, this value can't be changed.
- LoRaWAN MAC version ***: Select LoRaWAN MAC version. The LoRaWAN MAC version supported by the device.
- LoRaWAN Regional Parameters revision ***: Select LoRaWAN Regional Parameters revision. Revision of the Regional Parameters specification supported by the device.
- Max EIRP ***: 0. Maximum EIRP supported by the device.
- Uplink interval (seconds) ***: The expected interval in seconds in which the device sends uplink messages. This is used to determine if a device is active or inactive.

A 'CREATE DEVICE-PROFILE' button is located at the bottom right of the form.

รูป ก.8 การตั้งค่า Device Profile

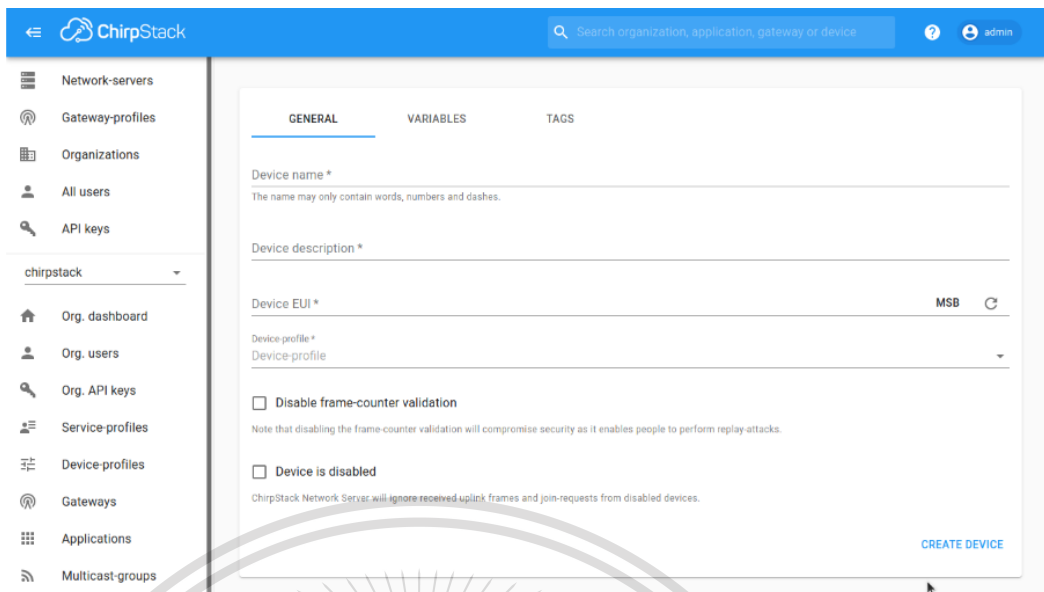
ก.1.8 ให้กดเข้าไปที่ Application เลือก IoTApp กด Create ให้ตั้งค่าดังตัวอย่างต่อไปนี ดังรูป ก.9

- 1) Device name : murata
- 2) Device description: Test
- 3) Device EUI : สามารถเลือกกด Generate Random หรือกรอก Device EUI ที่กำหนดเองได้
- 4) Device-profile : ให้เลือกจากอันที่สร้างไว้ (IoTDev)
- 5) เลือก Disable frame-counter validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

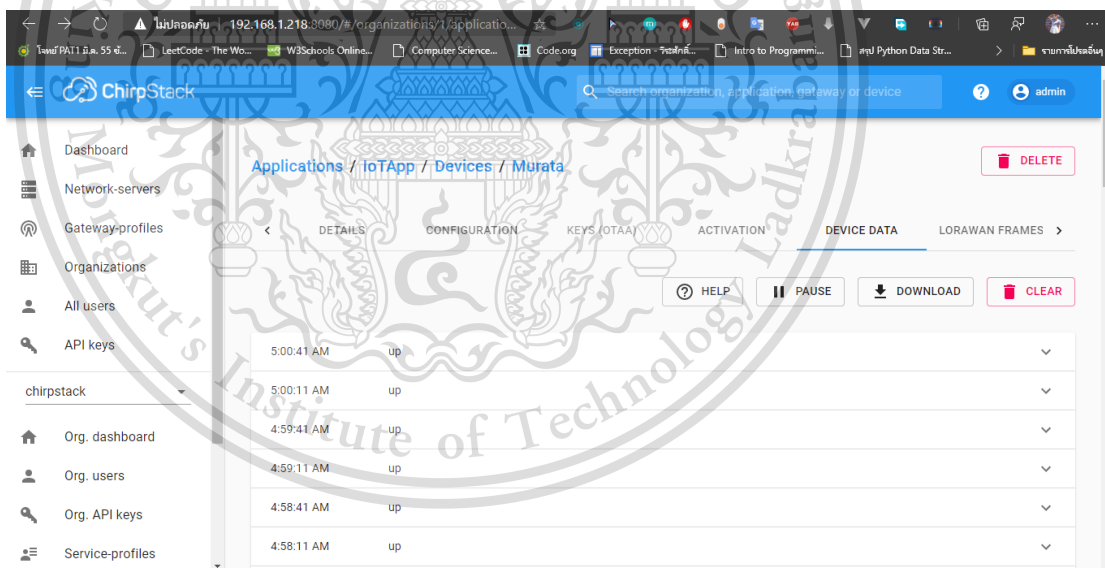
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป ก.9 การตั้งค่า Device

หลังจากที่ทำการตั้งค่าทั้งหมด พบว่าสามารถส่งข้อมูลขึ้นมาที่ Chirpstack ตามรูป ก.10



รูป ก.10 ภาพข้อมูลที่ถูกรับส่งขึ้นมายัง Chirpstack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.