ระบบป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอัตโนมัติในร้านสะดวกซื้อ

AN AUTOMATED PRICING DISPLAY ON PRODUCT SHELVES IN RETAIL STORE

อนุชา ราษีบุษย์
เอกรินทร์ เมฆมณเฑียร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

ระบบป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอัตโนมัติในร้านสะดวกซื้อ

AN AUTOMATED PRICING DISPLAY ON PRODUCT SHELVES IN RETAIL STORE

อนุชา ราษีบุษย์

เอกรินทร์ เมฆมณเฑียร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอัตโนมัติในร้านสะดวกซื้อ

AN AUTOMATED PRICING DISPLAY ON PRODUCT SHELVES IN RETAIL STORE

ผู้จัดทำ

1. นายอนุชา ราษีบุษย์ รหัสนักศึกษา 58011398

2. นายเอกรินทร์ เมฆมณเฑียร รหัสนักศึกษา 58011470

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบป้ายแสดงสินค้าแบบอัตโนมัติในร้านสะดวกซื้อ

นายอนุชา ราษีบุษย์ 58011398
นายเอกรินทร์ เมฆมณเฑียร 58011470
อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยี Electronic Paper ไปประยุกต์ใช้แทนป้ายราคาสินค้าที่ทำจากกระดาษในร้านค้าทั่วไป ที่สามารถอัพเดทข้อมูลสินค้าแบบอัตโนมัติ เพื่อลดภาระงานของพนักงานในร้านค้าที่จะต้องเดินไปเปลี่ยนป้ายกระดาษหากข้อมูลสินค้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการทำงานจะมีการส่งข้อมูลจาก Web Application ผ่านเครือข่ายไร้สายแบบ LPWAN (Low Power Wide Area Network) โดยมีส่วนรอรับสัญญาณเพื่ออ่านข้อมูลที่ได้รับ และประมวลผลข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลบน Electronic Paper อีกทั้งพนักงานในร้านค้ายังสามารถจัดการข้อมูลสินค้าและผูกสินค้ากับป้าย Electronic Paper ผ่านทาง Web Application ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Automated Pricing Display on Product Shelves in Retail Store

Mr. Anucha	Raseebut	58011398
Mr. Eakarin	Mekmontian	58011470
Mr. Sorayut	Glomglome	Advisor

Academic Year 2018

ABSTRACT

The purpose of this project is to use Electronic Paper technology to replace price tags made from paper in general stores. That can update the product information in a timely manner to reduce the workload of employees to changes the paper label if the product information changes. The operation of data is sent from web application over the Low Power Wide Area Network to data receiver for processing and represent on Electronic Paper Display. Furthermore, employees can also manage their product information and Electronic Paper via a web application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายในทางตรงและทางอ้อม ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลเหล่านี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม เป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงงาน ซึ่งทำให้การทำงานต่างๆเป็นไปได้อย่างราบรื่นและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรต่างๆในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำมาโดยตลอด รวมถึงห้องแลป HCRL(The Hybrid Computing Research Laboratory) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและพัฒนาโครงงานนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแบ่งปันความรู้ร่วมกัน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้เลี้ยงดู สั่งสอน ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนในทุกด้านตลอดจนให้โอกาสในการศึกษาและกำลังใจเสมอมา

อนุชา ราษีบุษย์
เอกรินทร์ เมฆมณเฑียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 3

1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน 4

1.6 ตารางการดำเนินงาน 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 Electronic Paper 6

2.2 LoRa 8

2.3 B-L072Z-LRWAN1 15

2.4 Wirnet iFemtoCell 17

2.5 Node-RED 20

2.6 Vue.js 20

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา 24

3.1 ภาพรวมการทำงานภายในระบบ 24

3.2 Architecture Diagram 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.3 Wiring Diagram 26
3.4 Hardware Flowchart (B-L072Z-LRWAN1) 28
3.5 Use case Diagram 29
3.6 Sequence Diagram 33
3.7 ER Diagram 40
3.8 Web Application Sitemap 41

บทที่ 4 การทดลอง 42
4.1 การตั้งค่าการใช้งาน 42
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ 48
4.3 วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน LoRaWAN 55
4.4 วิเคราะห์ต้นทุนในการใช้งานอุปกรณ์ 58

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 59
5.1 บทสรุป 59
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 60
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตาราง 2.1 การตั้งค่า Data Rate ให้กับอุปกรณ์ 14

ตาราง 2.2 Maximum Payload size 15

ตาราง 3.1 การเชื่อมต่อขาของ E-Paper กับ Microcontroller 27

ตาราง 3.2 Use case การเพิ่มจำนวน E-Paper 29

ตาราง 3.3 Use case การตรวจสอบข้อมูล E-Paper 30

ตาราง 3.4 Use case การจัดการร้านค้าในระบบ 30

ตาราง 3.5 Use case การจัดการ Users ในระบบ 30

ตาราง 3.6 Use case การจัดการข้อมูลสินค้า 31

ตาราง 3.7 Use case การผูกและยกเลิกการผูกสินค้ากับ E-Paper 31

ตาราง 4.1 การตั้งค่าสำหรับการใช้งาน LoRaWAN 44

ตาราง 4.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สำหรับการลงทะเบียน 47

ตาราง 4.3 ข้อมูลสำหรับคำนวณการใช้พลังงานเบื้องต้น 55

ตาราง 4.4 ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลในคลื่นความถี่ย่าน AS923 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

รูป 1.1 E-Paper 1
รูป 1.2 LoRaWAN Network Topology 2
รูป 1.3 ตารางการดำเนินงาน 5
รูป 2.1 องค์ประกอบและการทำงานของไมโครแคปซูล 6
รูป 2.2 2.7inch e-Paper Module (B) 7
รูป 2.3 องค์ประกอบของไมโครแคปซูลแบบ three pigment 7
รูป 2.4 ความสามารถของการแปลงสัญญาณ(Modulation setting) 8
รูป 2.5 การเชื่อมต่อของ LoRaWAN 9
รูป 2.6 Gateway ขนาดต่างๆ 11
รูป 2.7 LoRaWAN Network Model by The Things Network 12
รูป 2.8 ข้อกำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ 920-925 MHz แบบ non-RFID 13
รูป 2.9 บอร์ด B-L072Z-LRWAN1 ด้านหน้าและด้านหลัง 15
รูป 2.10 Block Diagram ของ B-L072Z-LRWAN1 16
รูป 2.11 ภาพอุปกรณ์ Gateway รุ่น iFemtoCell(ด้านหน้า) 17
รูป 2.12 ภาพอุปกรณ์ Gateway รุ่น iFemtoCell(ด้านข้าง) 17
รูป 2.13 Block Diagram ของ iFemtoCell 18
รูป 2.14 การตั้งค่า region ใน SPN 19
รูป 2.15 การตั้งค่า Rx Frequency 19
รูป 2.16 Template UI ของ Node-RED 20
รูป 2.17 Conceptual Framework for the Proposal Prototype 22
รูป 3.1 แสดงโครงสร้างทั้งหมดของระบบงาน 24
รูป 3.2 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบงาน 26
รูป 3.3 การเชื่อมต่อขาต่างๆ ของ E-Paper กับ B-L072Z-LRWAN1 26
รูป 3.4 ลำดับการทำงานและแสดงผลของ B-L072Z-LRWAN1 และ E-Paper 28
รูป 3.5 Use case Diagram ของผู้ใช้งานที่เป็น user และ admin 29
รูป 3.6 การเพิ่ม E-Paper ให้กับผู้ใช้งาน 33
รูป 3.7 การตรวจสอบข้อมูล E-Paper ของ Admin 33
รูป 3.8 การเพิ่มข้อมูลผู้ใช้งานใหม่ในระบบ(สมัคร) 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป 3.9 การแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ....34
รูป 3.10 ลบข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ....35
รูป 3.11 เพิ่มสินค้าในระบบ....36
รูป 3.12 การแก้ไขข้อมูลสินค้าในระบบ....37
รูป 3.13การลบข้อมูลสินค้าในระบบ....37
รูป 3.14 การผูกสินค้าเข้ากับ E-Paper....38
รูป 3.15 ยกเลิกการผูกสินค้ากับ E-Paper....39
รูป 3.16 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล....40
รูป 3.17 แผนผังการใช้งาน Web Application....41
รูป 4.1 การใช้งานโปรแกรม Keil....43
รูป 4.2 การตั้งค่าขาในโปรแกรม STM32CubeMX....43
รูป 4.3 การตั้งค่า Parameter ในไฟล์ Commissioning.h....45
รูป 4.4 ตั้งค่าการใช้งาน AS923....45
รูป 4.5 การ upload ไฟล์ลง microcontroller ผ่านโปรแกรม ST-Link Utility....46
รูป 4.6 การลงทะเบียนให้ End-Device สามารถสื่อสารกับ LoRaWAN นี้ได้....46
รูป 4.7 การตั้งค่าให้ SPN ส่งข้อมูลของ End-Device ต่อไปยัง Node-RED ผ่าน HTTP REST....47
รูป 4.8 เชื่อมต่อ Node ให้สามารถรับข้อมูลจาก SPN ได้ และนำมาประมวลผลต่อ....48
รูป 4.9 Function Node ที่ใช้ในการประมวลผลการส่งข้อมูลกลับไปยัง SPN....48
รูป 4.10 แสดงการสแกน Barcode เพื่อเพิ่มสินค้าลงในระบบ....49
รูป 4.11 แสดงผลลัพธ์จากการสแกน Barcode เพื่อตรวจสอบและแก้ไข Barcode Number....49
รูป 4.12 แสดงหน้าสำหรับการแก้ไขข้อมูลสินค้า หากสินค้าที่สแกนมีอยู่ในระบบอยู่แล้ว....50
รูป 4.13 แสดงการสแกน QR Code เพื่อทำการค้นหาหมายเลขของ E-Paper Display ที่จะทำการผูกเข้ากับสินค้า....50
รูป 4.14 แสดงผลลัพธ์จากการสแกน QR Code....51
รูป 4.15 แสดงผลลัพธ์หลังจากที่ทำการผูกสินค้าเข้ากับ E-Paper Display สำเร็จ....51
รูป 4.16 ค่าที่อ่านได้จากการส่งต่อข้อมูลของ SPN มายัง Node-RED....52
รูป 4.17 ตาราง Queue ในหน้า SPN ที่ได้รับข้อมูลมาจาก Node-RED....52
รูป 4.18 ข้อมูลต่าง ๆ ของ Device ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับ LoRaWAN....53
รูป 4.19 ข้อมูลการรับส่งข้อมูลของ End-Device ที่อ่านได้จาก Tera Term....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป 4.20 ภาพที่ได้จากการนำข้อมูลจาก LoRaWAN มาแสดงผลบน E-Paper Display 53
รูป 4.21 การแปลงไฟล์รูปภาพเป็น array.....54
รูป 4.22 นำ QR Code มาแสดงบนจอแสดงผล.....54
รูป 4.23 เว็บไซต์สำหรับคำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่.....55
รูป 4.24 เวลาของการรับส่งข้อมูลที่ Spread Factor 7 และ Payload size 37.....56
รูป 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Time on Air ตามทฤษฎีและค่าที่ได้จากการทดลอง.....57
รูป 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลที่วัดได้.....58

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการทำธุรกิจเกี่ยวกับร้านค้าได้มีการแพร่หลายเป็นอย่างมาก อาทิ 7-Eleven , 108 shop , Maxvalu หรือ Lawson 108 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีร้านค้าอื่น ๆ อีกมากมายที่มีการจัดวางสินค้าบนชั้นวางขาย และจำเป็นต้องมีการติดป้ายกำกับราคาและข้อมูลสินค้า เพื่อให้ผู้คนที่มาใช้บริการทราบถึงข้อมูลสิ่งที่ต้องการจะซื้อ โดยป้ายกำกับราคาและข้อมูลสินค้าจะมีการใช้กระดาษขนาดเล็กพิมพ์ด้วยหมึก และนำมาวางไว้บริเวณด้านหน้าของสินค้านั้น ๆ

เนื่องจากมีการใช้งานที่จำเป็นจะต้องมีการพิมพ์ข้อมูลลงบนกระดาษ หากจะมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลก็จำเป็นต้องพิมพ์และนำมาติดใหม่ทุกครั้ง สำหรับการใช้งานในระยะสั้นวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนไม่สูงมากและเรียบง่าย แต่หากใช้งานระยะยาวจะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรกระดาษ น้ำหมึก และอุปกรณ์ในการพิมพ์อย่างมาก

นอกจากนี้อีกปัญหาที่พบได้มากในหลายๆห้างสรรพสินค้าหรือร้านค้าขนาดกลาง มักจะมีจำนวนพนักงานภายในร้านไม่มาก ซึ่งหากต้องการเปลี่ยนป้ายแสดงข้อมูลสินค้าทั้งหมดในร้านต่อการใช้พนักงานไม่กี่คน อาจจะเกิดข้อผิดพลาดเนื่องมาจากความเหนื่อยล้าของบุคคลหรือความไม่รอบครอบขึ้น

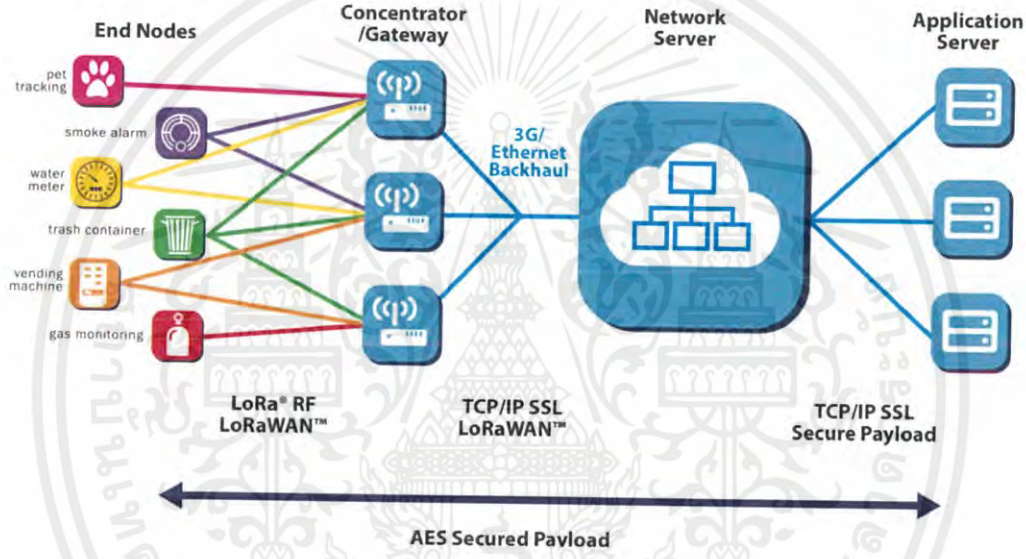
ในการแก้ปัญหาข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมารองรับ โดยจะมีเทคโนโลยีหนึ่งที่มีความสามารถคล้ายกับกระดาษแต่ไม่ใช่จอแสดงผลจำพวกจอ LCD คือ E-Paper ดังรูปที่ 1.1 สามารถเขียนและลบได้ และไม่จำเป็นจะต้องเปลี่ยนตัวอุปกรณ์นั้นใหม่ทุกครั้ง ซึ่งปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานกับคลื่นสัญญาณความถี่ย่าน 2.4 GHz เป็นส่วนมาก เช่น Bluetooth และ Wi-Fi เป็นต้น นอกจากคลื่นความถี่ย่าน 2.4 GHz ที่มีความนิยมแล้ว ยังมีคลื่นความถี่อีกชนิดคือ Sub-GHz ซึ่งมีข้อได้เปรียบในด้านการประหยัดพลังงาน และสามารถส่งสัญญาณได้ไกลยิ่งขึ้น

รูป 1.1 E-Paper[1]

[1] https://www.digisystem.com/products/PRD00261/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะทำการควบคุมผ่าน microcontroller และหากจะมีการนำไปติดตั้งเพื่อใช้งานเป็นจำนวนมากอาจจะต้องทำการควบคุมและเปลี่ยนข้อมูลบนป้ายแสดงผลทีละตัว ซึ่งอาจจะไม่แตกต่างจากการไปเปลี่ยนกระดาษทีละแผ่น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีการควบคุมผ่านระบบเครือข่ายหรือ internet โดยจะทำการสั่งการผ่านจุด ๆ เดียว และให้ป้ายแสดงผลเปลี่ยนข้อมูลไปตามที่ต้องการพร้อมกันหลายๆตัวได้ นอกจากนั้นยังได้นำเทคโนโลยี Low-Power Wide-Area Network(LPWAN) หรือเครือข่ายสื่อสารแบบกว้างที่เน้นใช้พลังงานต่ำ เป็นเทคโนโลยีที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับงานทางด้าน Internet of Things มาใช้งาน โดยหนึ่งในเทคโนโลยี LPWAN ที่ได้นำมาเลือกใช้ คือ LoRaWAN ซึ่งใช้คลื่นความถี่ในย่าน Sub-GHz โดยมี Topology ดังรูปที่ 1.2



รูป 1.2 LoRaWAN Network Topology[2]

LoRa หรือ Long Range คือ เทคโนโลยีการส่งข้อมูลระยะไกลในรูปแบบ Wireless ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Semtech ซึ่งเป็นเจ้าของและผู้มีอำนาจสูงสุดในการสร้าง LoRa Chipset ที่ทำงานในระดับ Physical(Half-Duplex) โดยทางบริษัทได้ผลิต LoRa Chipset ออกมา 2 ตระกูล

1) SX127x เป็นชิพสำหรับโหนดที่จะสื่อสารด้วยสัญญาณช่องเดียว โดยจะแบ่งออกเป็นรุ่นย่อยตามย่านความถี่ เช่น ย่านความถี่ 868MHz และ 915 MHz จะเป็นรุ่น SX1278

2) SX125x เป็นชิพสำหรับ Concentrator (RF front end receiver) และ SX13xx สำหรับการทำงานเป็น Gateway

[2] https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LoRa ใช้สัญญาณในช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุ โดยจะมีมาตรฐานความถี่ที่ใช้ตามภูมิภาคแตกต่างกันออกไป เช่น ในยุโรปใช้ช่วง 867-869 MHz อเมริกาเหนือใช้ช่วง 902-928 MHz หรือในประเทศไทยใช้ช่วงความถี่ 920-925 MHz เป็นต้น ซึ่ง LoRa สามารถส่งข้อมูลในรูปแบบพลังงานต่ำไปได้ไกลมากกว่า 10 กิโลเมตรในพื้นที่โล่ง และหากจะทำการส่งข้อมูลไปบนระบบเครือข่ายจำเป็นต้องมีการพัฒนาขึ้นไปอีกขั้นเรียกว่า Long Range Wide Area Network หรือ LoRaWAN

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อสร้างระบบป้ายแสดงราคาสินค้าอัตโนมัติที่ควบคุมผ่าน Web Application
2) เพื่อศึกษาการใช้งาน IoT Platform
3) เพื่อศึกษาการทำงานบน LoRa Technology

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลแบบอัตโนมัติได้อย่างถูกต้องตามที่กำหนดไว้
2) เข้าใจการทำงานของ IoT Platform และ LoRa Technology
3) ระบบสามารถทำงานบนพื้นฐานของ Low power technologies ได้
4) เข้าใจหลักการทำงานของ E-Paper (2.7inch(b) e-ink display module)
5) สามารถใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากตัวบุคคล

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขข้อมูลสินค้าและผูกสินค้ากับ E-Paper Display ผ่าน Web Application ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งผ่าน LoRaWAN ที่ควบคุมโดย Kerlink SPN ไปยัง End-Device โดยจะมี Microcontroller(B-L072Z-LRWAN1) เป็นตัวรับและประมวลผลข้อมูลเพื่อส่งไปแสดงผลบน E-Paper 2.7inch(tri-color) 264x176 px

1) ผู้ใช้แก้ไขข้อมูลและผูกสินค้ากับ E-Paper Display ผ่านทาง Web Application
   - แก้ไขข้อมูลสินค้าที่จะแสดงผลทาง E-Paper display
   - สามารถเพิ่มข้อมูลสินค้าและทำการผูกสินค้ากับ E-Paper Display ผ่านการสแกน Barcode สินค้า และ QR Code ของ E-Paper ได้
   - ยกเลิกการผูกสินค้ากับ E-Paper Display ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทำงานด้าน Network Server และ Application Server

- สามารถส่งข้อมูลจาก front end (Vue.js) ไปยัง End-Device (Microcontroller และ E-Paper Display) โดยใช้ Node-RED เป็นตัวจัดการการรับส่งและจัดเก็บข้อมูล
- ผู้ใช้สามารถตรวจสอบแบตเตอรี่ของ End-Device ได้ ผ่านทางหน้า Web Application
- ติดตั้ง Server ภายใต้เครือข่ายส่วนตัว

3) การทำงานด้าน E-Paper Display และ Microcontroller

- End-Device สามารรับข้อมูลจาก Application Server ซึ่งประมวลผลบน Microcontroller และสามารถนำมาแสดงผลบน E-Paper display
- Microcontroller สามารถส่งข้อมูลแบตเตอรี่กลับไปที่ Application Server ได้
- ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษในการแสดงผลตัวหนังสือบน E-Paper Display

1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน

1) ไม่สามารถใช้ตัวหนังสือที่มีขนาดเล็กมากได้ เนื่องจากอาจจะทำให้ข้อมูลนั้นมีความเลือนลางจนไม่สามารถมองเห็นได้

2) ปริมาณข้อมูลของการแสดงผลหน้าจอใช้โดยประมาณ 11 กิโลไบต์ แต่ปริมาณข้อมูลของ payload ที่ใช้ในการสื่อสารแบบ LoRa จำกัดสูงสุดอยู่ที่ 222 ไบต์ ในแต่ละครั้ง

3) ใช้ย่านความถี่ของ RF ที่ 920-925 MHz ตามมาตรฐาน AS923 (Thailand)

4) การเปลี่ยนข้อมูลในแสดงผลบน E-Paper Display ไม่สามารถที่จะทำการ partial refresh ได้ โดยจะต้องทำการ refresh ข้อมูลทั้งหมดบนหน้าจอ

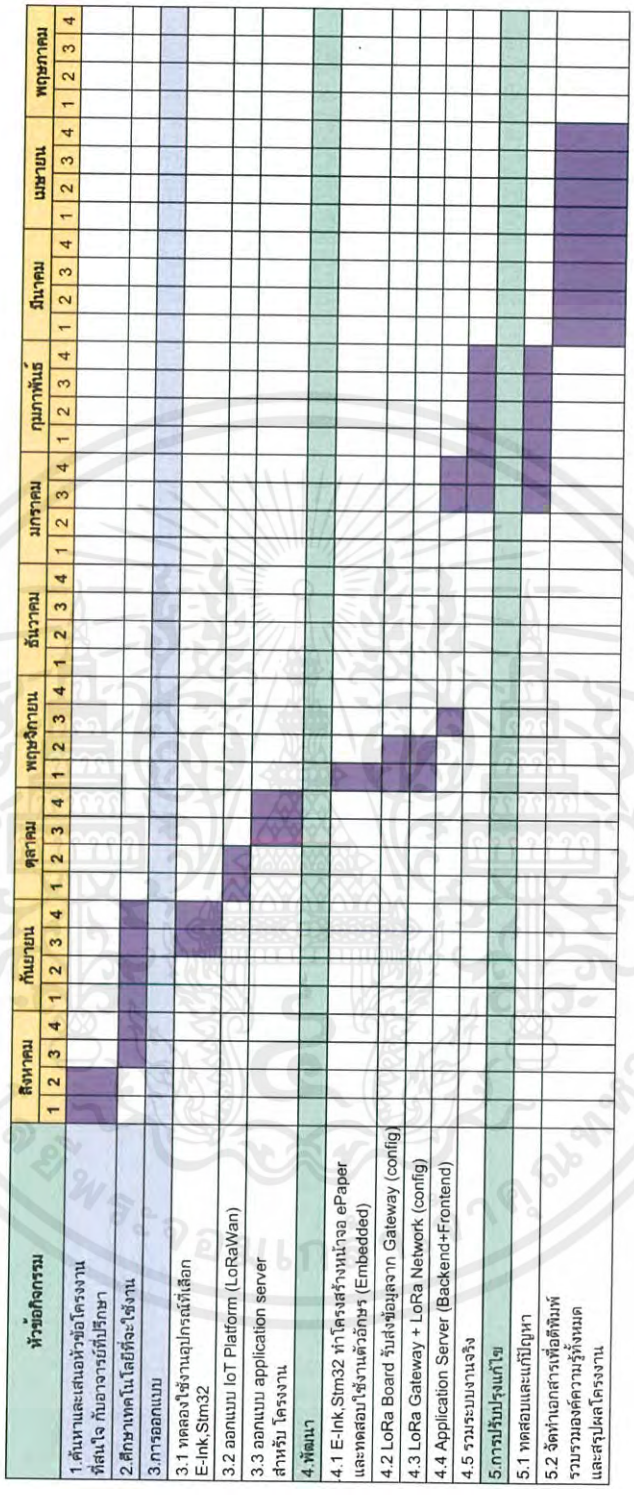
5) ในการจ่ายแรงดันให้ไมโครแคปซูลนั้น ไม่สามารถจ่ายแรงดันในรูปแบบ Gray Scale ได้

6) ไม่สามารถส่งข้อมูลผ่าน LoRaWAN ได้ทันที ต้องมีการกำหนดรอบสำหรับการส่งข้อมูล

7) Kerlink SPN รองรับอุปกรณ์สูงสุดที่ 1000 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ตารางการดำเนินงาน



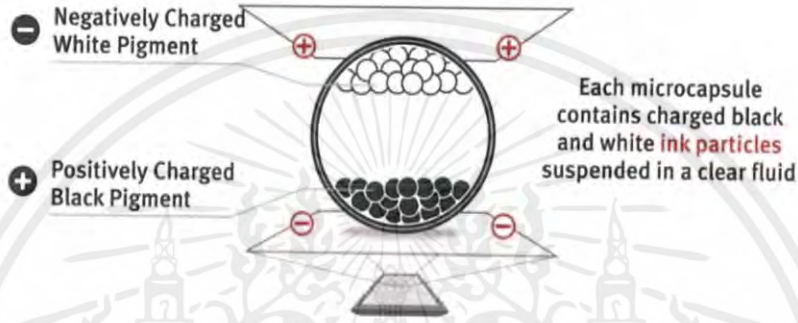
รูป 1.3 ตารางการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Electronic Paper

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป



รูป 2.1 องค์ประกอบและการทำงานของไมโครแคปซูล[3]

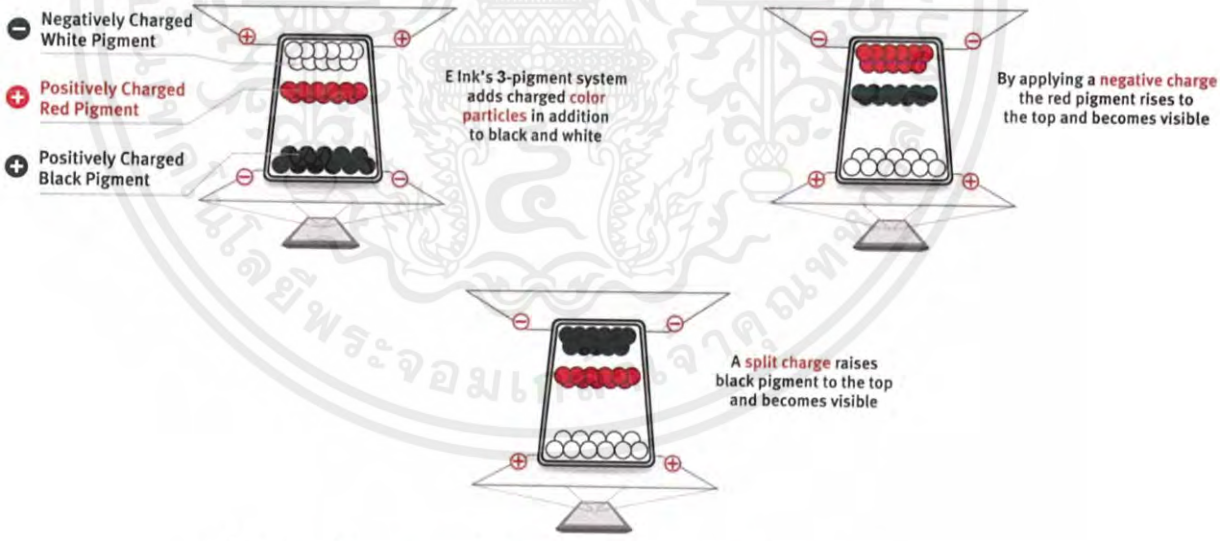
Electronic Paper หรือ E-Paper เป็นอุปกรณ์ในการแสดงผล โดยใช้เทคโนโลยีที่เลียนแบบลักษณะการใช้งานหมึกบนกระดาษ ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยไมโครแคปซูลทรงกลมจำนวนมากที่บรรจุเม็ดสี สีดำที่มีประจุบวกและสีขาวที่มีประจุลบซึ่งถูกยึดไว้ในชั้นผิวของพอลิเมอร์เหลว โดยจะมีขั้วไฟฟ้า 2 ชุดประกบอยู่ที่ผิวทำด้วยโลหะนำไฟฟ้าโปร่งแสง ในแต่ละพิกเซลจะมีไมโครแคปซูลเหล่านี้อยู่จำนวนมาก เมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปที่ขั้วไฟฟ้านั้นๆ ก็จะทำให้เม็ดสีที่มีประจุเดียวกับแรงดันไฟฟ้าถูกผลักออกไปและทำให้ภาพปรากฏเป็นสีที่ถูกดันออกไป เช่น ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าขั้วลบ จะทำให้เม็ดสีสีขาวถูกผลักไปฝั่งตรงข้ามก็จะทำให้เห็นภาพเป็นสีขาว ซึ่งเป็นระบบที่เรียกว่า Two Pigment Ink System ดังรูปที่ 2.1

[3] https://www.eink.com/electronic-ink.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.2 2.7inch e-Paper Module (B)[4]

ใน E-Paper รุ่น 2.7inch e-Paper Module (B) ดังรูปที่ 2.2 จะมีเม็ดสีสีแดงบรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลเพิ่มอีกสี เป็นระบบที่เรียกว่า Three Pigment Ink System ดังรูปที่ 2.3 โดยที่เม็ดสีแดงและดำนั้นจะมีประจุบวกอยู่ ซึ่งจะทำงานเหมือนกับระบบ 2 เม็ดสี แต่จะแตกต่างกันตรงที่ การจ่ายแรงดันให้กับสีแดงและดำ ซึ่งมีประจุบวกเหมือนกันนั้นจะต้องจ่ายแรงดันแยกระดับกัน และการแสดงข้อมูลบนหน้าจอ E-Paper รุ่นนี้แต่ละครั้ง จะใช้เวลาในการ refresh หน้าจอประมาณ 15 วินาที



รูป 2.3 องค์ประกอบของไมโครแคปซูลแบบ three pigment[5]

หน้าจอ E-Paper แสดงในรูปแบบของการสะท้อนแสงโดยรอบ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงภายในเหมือนกับจอแสดงผลรูปแบบอื่น เช่น จอ LED หรือ LCD แต่

[4] https://www.waveshare.com/wiki/2.7inch_e-Paper_HAT_(B)

[5] https://www.eink.com/electronic-ink.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

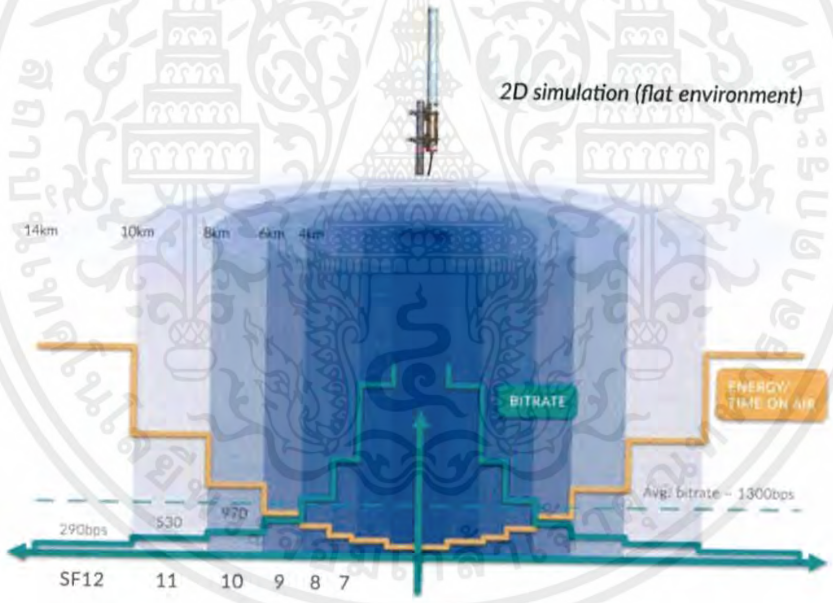
ก็จะไม่สามารถมองเห็นในที่มืดได้ นอกจากนี้หน้าจอ E-Paper ยังสามารถที่จะมองเห็นได้ในมุมมองที่กว้างถึง 180 องศา

2.1.2 การสื่อสารของอุปกรณ์

E-Paper จะสื่อสารกับ microcontroller โดยใช้ SPI (Serial Peripheral Interface) แต่จะแตกต่างจาก SPI โดยทั่วไป คือจะไม่มีขาสัญญาณข้อมูลจาก Slave มายัง Master (MISO) จะมีแค่ MOSI โดย microcontroller ทำหน้าที่เป็น master และ E-Paper ทำหน้าที่เป็น slave คอยรับข้อมูลจาก microcontroller มายังตัว E-Paper เนื่องจากอุปกรณ์มีจุดประสงค์ในการแสดงผลเพียงอย่างเดียว

2.2 LoRa

Long Range หรือ LoRa คือ เทคโนโลยีการสื่อสารโดยใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum technology ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งในประเทศไทยจะช่วงความถี่ที่ 920-925 MHz (AS923)



รูป 2.4 ความสามารถของการแปลงสัญญาณ(Modulation setting)[6]

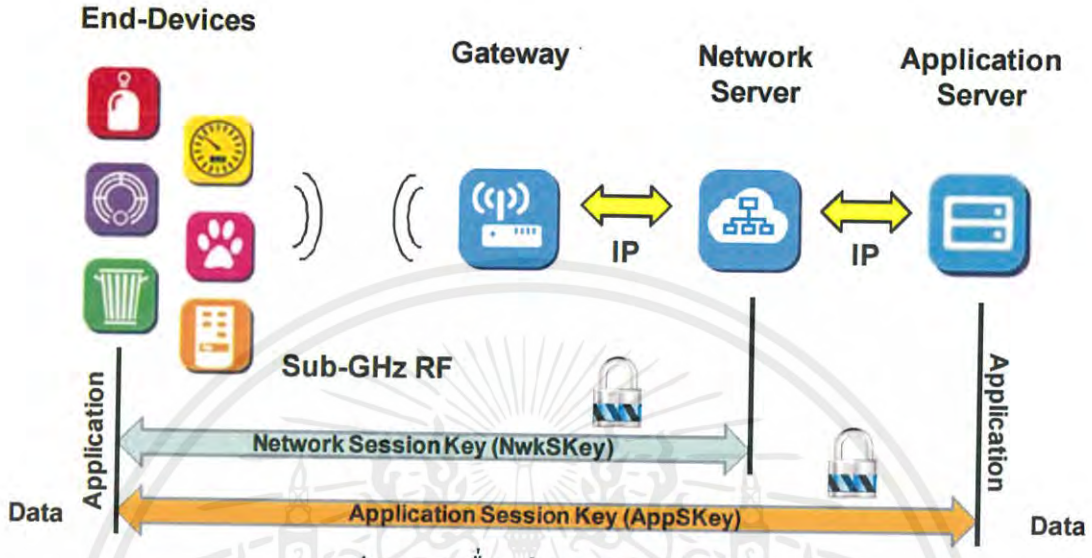
LoRa มีจุดเด่นที่สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกลและใช้พลังงานที่น้อย จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าอุปกรณ์ใดที่เข้าใกล้ Gateway ก็จะสามารถที่จะส่งข้อมูลด้วย Bitrate ที่สูงได้ การส่งข้อมูลก็จะเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการใช้พลังงานก็จะน้อยลงไปหากเทียบกับอุปกรณ์ที่อยู่ไกลจาก Gateway

[6] https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 LoRaWAN

LoRaWAN หรือ Long Range Wide Area Network คือ การนำเทคโนโลยี LoRa มาสร้างเป็นระบบเครือข่าย ดังรูป 2.5 โดยจะแบ่งส่วนประกอบในการเชื่อมต่อออกเป็น 4 ส่วน



รูป 2.5 การเชื่อมต่อของ LoRaWAN[7]

2.2.1.1 End-Device

End-Device คือ อุปกรณ์ที่จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับ Gateway โดยจะเชื่อมต่อผ่าน LoRa RF แต่หลังจาก Gateway เป็นต้นไปจะทำการเชื่อมต่อโดยใช้ IP Base

ก่อนที่ End-Device จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของ LoRaWAN จำเป็นจะต้องได้รับการ Activated จาก Network ก่อน โดยจะใช้ Device Address, Network Session Key และ Application Session Key ซึ่งการเชื่อมต่อเข้ากับ Network ของ End-Device จะมี 2 วิธี ได้แก่

- Over the Air Activation (OTAA) เป็นกระบวนการที่ต้องทำการ hand shaking ก่อน โดยขอ Join-Request ในการเชื่อมต่อไปยัง Server เพื่อขอ Session Key โดยในข้อมูล Join-Request ประกอบไปด้วย Globally Unique End-Device Identifier (DevEUI), Application Identifier (AppEUI) และ Application key (AppKey) จากนั้น Server จะส่ง Join-Accept กลับมาพร้อมกับ DevAddr, Network Session Key และ Application Session Key เพื่อให้ End-Device ใช้ในการสื่อสารใน LoRaWAN

- Activation By Rationalization (ABP) เป็นการฝัง key เข้าไปในอุปกรณ์ในตอน uploadโปรแกรม ส่งผลให้ อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบได้เลยโดยไม่ต้องทำการ hand shaking

---

[7] https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End-Device จะแบ่งออกเป็น 3 คลาส ตามลักษณะความต้องการในการเชื่อมต่อ ได้แก่

- Battery Powered (Class A) เป็น Class ที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด แต่มีข้อเสียคือ มี Latency ในการส่งข้อมูลนานที่สุด โดยอุปกรณ์จะเข้าสู่ sleep mode หลังจากที่มีการส่งข้อมูลและกลับมารับข้อมูลภายในช่วงเวลาที่กำหนด Class A หากอยากส่งข้อมูลกลับไปหาตัวอุปกรณ์จะต้องรอให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลมาก่อน จึงเหมาะกับ อุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นพลังงานหลัก
- Low Latency (Class B) การส่งข้อมูลสามารถกำหนดรอบในการส่งจาก Periodic beacon จาก gateway ได้ โดยในการกำหนดความเร็วและรอบในการส่งข้อมูลจะกำหนดจากฝั่ง Server ทำให้ Class B นั้นมี Latency ที่สามารถกำหนดได้ แต่ก็จะใช้พลังงานสูงกว่า Class A จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่ต้องรับคำสั่งส่งกลับจาก Server
- No Latency (Class C) เป็น Class ที่มี Latency ในการรับข้อมูลต่ำสุด เพราะอุปกรณ์แทบจะไม่มีการ sleep โดยที่จะเปิด RX slot เพื่อรอรับข้อมูลจาก gateway ตลอดเวลา ทำให้การรับส่งข้อมูลแทบจะทันเวลา และ Server สามารถส่งข้อมูลไปที่ End-device ได้ตลอดเวลา แต่แลกกับการใช้พลังงานของ End-device ที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับแบบอื่น จึงเหมาะกับอุปกรณ์ที่ต่อกับแหล่งจ่าย

2.2.1.2 Concentrator/Gateway

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่าง End-Device และตัว Network Server โดยที่ End-Device จะใช้ LoRa ในการติดต่อกับ Gateway ในขณะที่ Gateway จะใช้ WiFi, Ethernet, Cellular ในการติดต่อกับ Network Server และมี Concentrator ทำหน้าที่เป็น ตัวรวมสัญญาณคล้ายกับ Multiplexer ก่อนทำการส่งต่อไปยังปลายทาง

Gateway ทุกตัวที่อยู่ในระยะของอุปกรณ์ จะได้รับข้อมูลของอุปกรณ์และส่งต่อให้กับ Network Server และ Network Server จะทำการเลือกข้อมูลที่ซ้ำมาเพียงข้อมูลเดียวโดยเลือกตัวที่มีสัญญาณดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.6 Gateway ขนาดต่างๆ[8]

โดยทั่วไปแล้ว Gateway 1 ตัว สามารถรองรับอุปกรณ์ได้ประมาณนับพันชิ้น ซึ่ง Gateway นั้นจะมี LoRa concentrator ทำให้สามารถรับ LoRa packet ได้

Gateway มีหลายขนาด ดังรูปที่ 2.6 แต่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

- Gateway ที่ทำงานบน firmware ขนาดเล็ก ข้อดีคือมีราคาถูกและใช้งานง่าย มีแค่ ซอฟต์แวร์ในการส่งต่อข้อมูลเท่านั้นที่ทำงาน
- Gateway ที่ทำงานเป็นระบบปฏิบัติการ โดยมีซอฟต์แวร์ในการส่งต่อข้อมูลทำงานเป็นเบื้องหลัง และมีอิสระในการจัดการตัว Gateway และติดตั้งซอฟต์แวร์เอง

2.2.1.3 Network Server

มีหน้าที่จัดการเรื่อง Authenticates ข้อมูล ของ End-Devices ที่ถูกส่งมา ถ้าข้อมูลที่ถูกส่งผ่านการ Authenticates จาก Network server แล้วข้อมูลนั้นก็จะถูกประมวลผล

Network Server จะเชื่อมต่อกับ Application Server ผ่าน Standard IP และ Network Server ยังสามารถลงบนเครื่องเซิฟเวอร์เครื่องเดียวกับ Application Server ได้

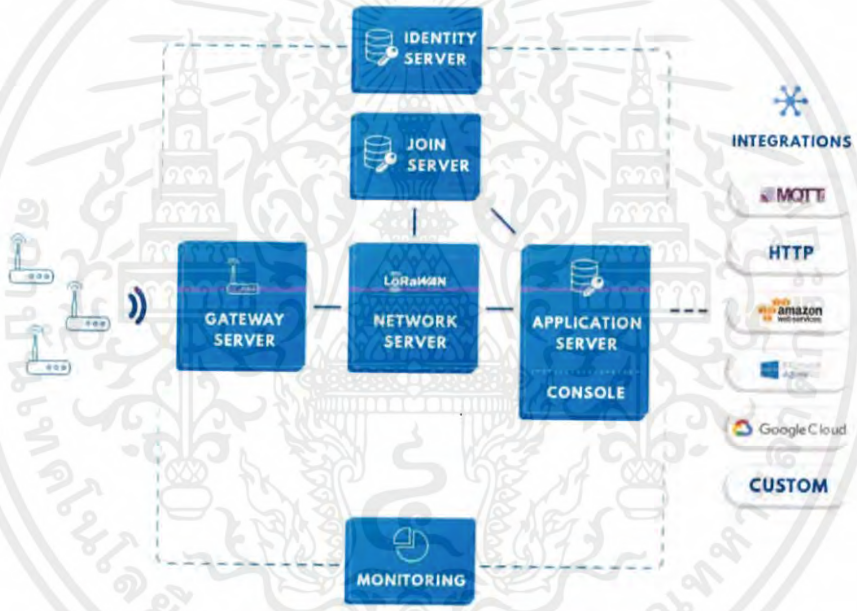
---

[8] https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network Server สามารถแบ่งประเภทตามการออกแบบระบบเครือข่าย LoRa ได้ดังนี้

- Private Network ใช้ Network Server ที่ติดตั้งเองเพื่อใช้โครงข่ายแบบส่วนตัว ซึ่งเหมาะกับเครือข่ายขนาดเล็กหรือกลาง
- Centralized Public Network เป็นรูปแบบที่ผู้ให้บริการเป็นผู้จัดการระบบ Network
- Distributed/Cooperative Public network ไม่มีใครเป็นเจ้าของ Network Server แต่ใช้ Internet Model เช่น The Things Network, LoRaServer.io, LORIOT และ ThingPark เป็นต้น ซึ่งหนึ่งใน Internet Model ของผู้ให้บริการ Network Server ที่ได้รับความนิยม คือ The Things Network ดังรูปที่ 2.7



รูป 2.7 LoRaWAN Network Model by The Things Network

2.2.1.4 Application Server

มีหน้าที่ถอดข้อมูลของ End-Device ที่ได้รับมาจาก Network Server และทำการประมวลผลเพื่อนำไปใช้ส่วนอื่นต่อไป และหาก Application server จะทำการส่งข้อมูลไปที่ End-Device จำเป็นจะต้องรอให้ End-Device ตื่นขึ้นมาก่อนจึงจะส่งข้อมูลไปได้ โดยมีตัวอย่างของ Application Server คือ Cayenne และ ThingsBoard เป็นต้น

2.2.2 หลักเกณฑ์การใช้งานย่านความถี่ 920-925 MHz ในประเทศไทย

หลังจากที่สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ได้ประกาศให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920-925 MHz เพื่อรองรับเทคโนโลยี IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

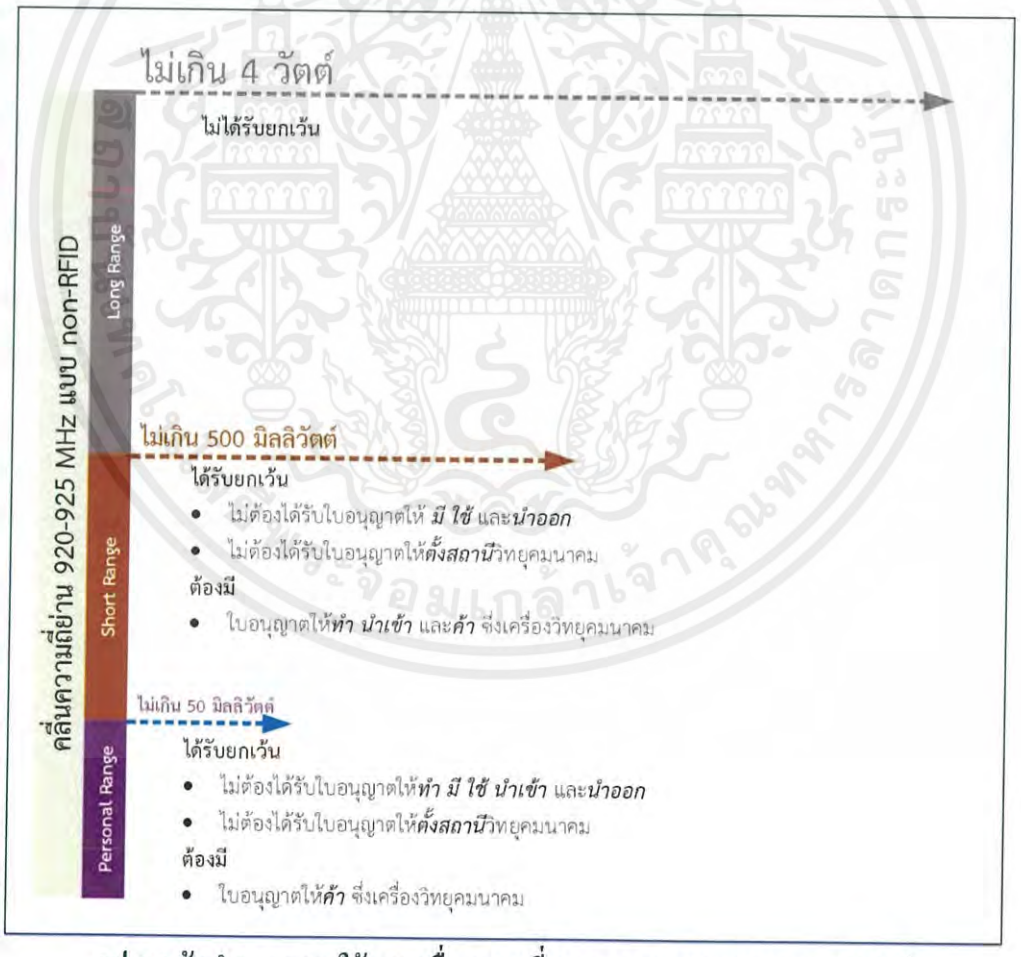
ซึ่ง LPWAN จะถูกจัดให้อยู่ในส่วนของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภทสื่อสารข้อมูลทั่วไป ที่ไม่ใช่ RFID (Non-RFID) ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

1) ให้ใช้คลื่นความถี่ 920-925 เมกะเฮิรตซ์

2) ถ้ามีกำลังส่งไม่เกิน 500 มิลลิวัตต์ ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้มีใช้และนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคมและใบอนุญาตให้ตั้งสถานีวิทยุคมนาคม แต่ไม่ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้นำเข้า และค้าซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม

3) ถ้ามีกำลังส่งสูงกว่า 500 มิลลิวัตต์จะต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง และการใช้คลื่นความถี่ดังกล่าว จะต้องได้รับอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ ตามมาตรา 48 แห่งพระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่ และ กำกับการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2553 และจะต้องได้รับ ใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมแบบที่สาม

4) ไม่ได้รับสิทธิคุ้มครองการรบกวน



รูป 2.8 ข้อกำหนดการใช้งานคลื่นความถี่ 920-925 MHz แบบ non-RFID[9]

[9] http://flyingmorning.com/th/articles/105008-การใช้คลื่นความถี่-920-925mhz-ความถี่-lorawan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 LoRaWAN Parameter for AS923 Thailand

2.2.3.1 Duty Cycle

Duty Cycle คือ อัตราส่วนของเวลาในการส่งข้อมูลต่อเวลาในการส่งข้อมูลครั้งต่อไป ซึ่งมาตรฐาน AS923 กำหนดให้ Duty Cycle คือ 1%

Dwell Time คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล หรือที่เรียกว่า Time on Air โดยมี limit อยู่ที่ 400 ms หมายความว่า หากเราใช้เวลาในการส่งข้อมูล 400 ms และมี duty cycle 1% จะไม่สามารถส่งข้อมูลจนกระทั่งครบ 40 sec

2.2.3.2 การตั้งค่า Data Rate (DR) ให้กับอุปกรณ์

ใช้ตารางที่ 2.1 ในการ config Data Rate ตาม Spread Factor(SF) ที่ต้องการกับตัว End-Device

ตาราง 2.1 การตั้งค่า Data Rate ให้กับอุปกรณ์

Data Rate	Configuration
0	SF12/125 kHz
1	SF11/125 kHz
2	SF10/125 kHz
3	SF9/125 kHz
4	SF8/125 kHz
5	SF7/125 kHz
6	SF7/250 kHz

2.2.3.3 Maximum Payload size

ตามข้อกำหนดของ AS923 Thailand ได้กำหนดของขนาดสูงสุดของ payload ตามตารางที่ 2.2 โดย DwellTime = 0 จะหมายถึง ไม่มี Limit ของ DwellTime และ DwellTime = 1 หมายถึง จำกัด DwellTime อยู่ที่ 400ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

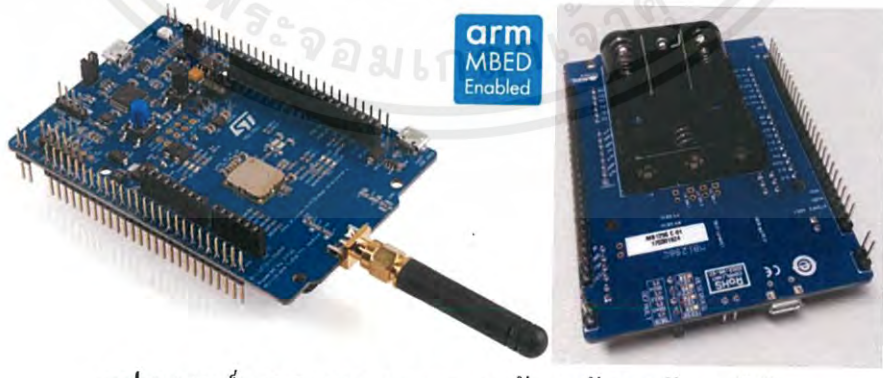
ตาราง 2.2 Maximum Payload size

Data Rate	Uplink MAC Payload Size (M)		Downlink MAC Payload Size (M)	
	UplinkDwellTime e = 0	UplinkDwellTime e = 1	DownlinkDwellTime e = 0	DownlinkDwellTime e = 0
0	59	N/A	59	N/A
1	59	N/A	59	N/A
2	59	19	59	19
3	123	61	123	61
4	230	133	230	133
5	230	250	230	250
6	230	250	230	250
7	230	250	230	250
8:15	RFU		RFU	

2.2.3.4 Receive Windows

ปกติแล้ว LoRaWAN จะมี 2 slot ในการรับข้อมูล โดยที่ Rx1 จะมี data rate ซึ่งขึ้นอยู่กับ Tx โดยจะมีการคำนวณ data rate ของ Tx มาเกี่ยวข้องด้วย และ Rx2 จะมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ DR2(SF10/125KHz)

2.3 B-L072Z-LRWAN1



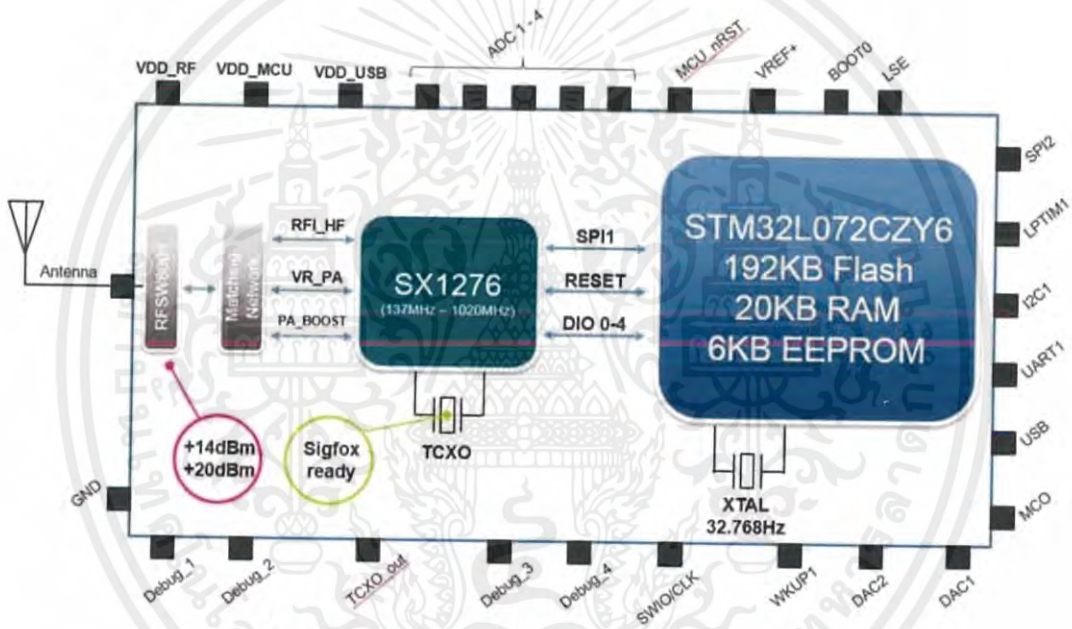
รูป 2.9 บอร์ด B-L072Z-LRWAN1 ด้านหน้าและด้านหลัง[10]

[10] https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l072z-lrwan1.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B-L072Z-LRWAN1 เป็นชุดบอร์ดที่ผลิตโดยบริษัท STMicroelectronics หนึ่งในผู้ผลิตสินค้าเซมิคอนดักเตอร์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีโมดูล CMWX1ZZABZ-091 (Murata) ซึ่งประกอบไปด้วย SX1276 LoRa Chipset ที่มีกำลังส่งคลื่นวิทยุอยู่ที่ +20dBm-100 mW และ STM32L072CZ microcontrollers ดังรูปที่ 2.10 เพื่อให้ง่ายต่อการทดลอง และตัวชิพยังทำงานในรูปแบบ The ultra-low-power มีการเชื่อมต่อไฟโดยใช้ USB 2.0 หรือจะเลือกใช้งานรางถ่าน สำหรับใส่ถ่าน AAA จำนวน 3 ก้อน เพื่อเป็นการจ่ายไฟให้กับบอร์ดแทนการจ่ายไฟด้วยสาย USB ดังรูปที่ 2.9 ตัวบอร์ดใช้ชิพประมวลผล Arm Cortex-M0+

B-L072Z-LRWAN1 รองรับเทคโนโลยี LoRaWAN ในคลาส A (Battery Powered) และคลาส C (No Latency)



รูป 2.10 Block Diagram ของ B-L072Z-LRWAN1[11]

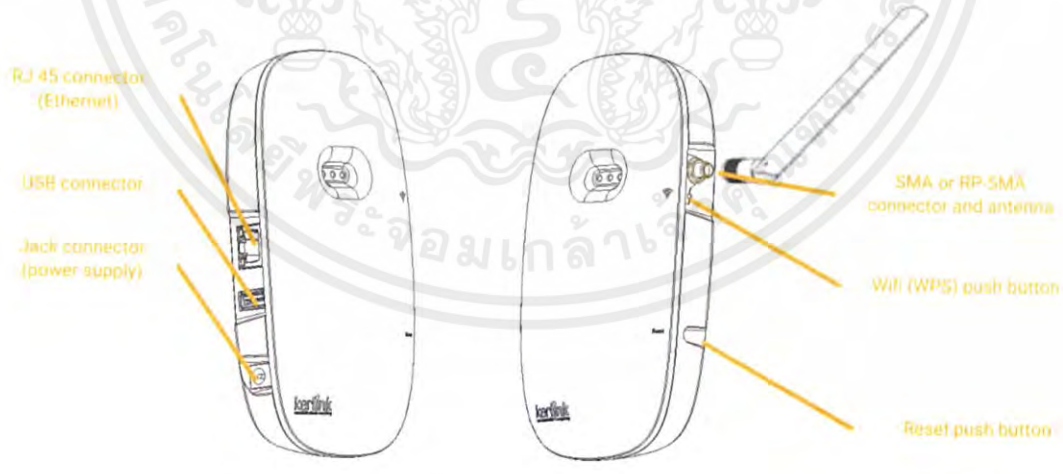
[11] https://th.mouser.com/new/stmicroelectronics/stmicro-stm32-lorawan-discovery-board/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Wirnet iFemtoCell

เป็นอุปกรณ์ LoRaWAN Gateway ซึ่งทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานรับส่งข้อมูลระหว่าง End-Device และ Network Server ซึ่งใน iFemtoCell นั้น มีระบบ SPN(Small Private Network) ที่มีส่วนช่วยในการลด Latency ระหว่าง Gateway และ Network Server อีกด้วย

รูป 2.11 ภาพอุปกรณ์ Gateway รุ่น iFemtoCell(ด้านหน้า)[12]



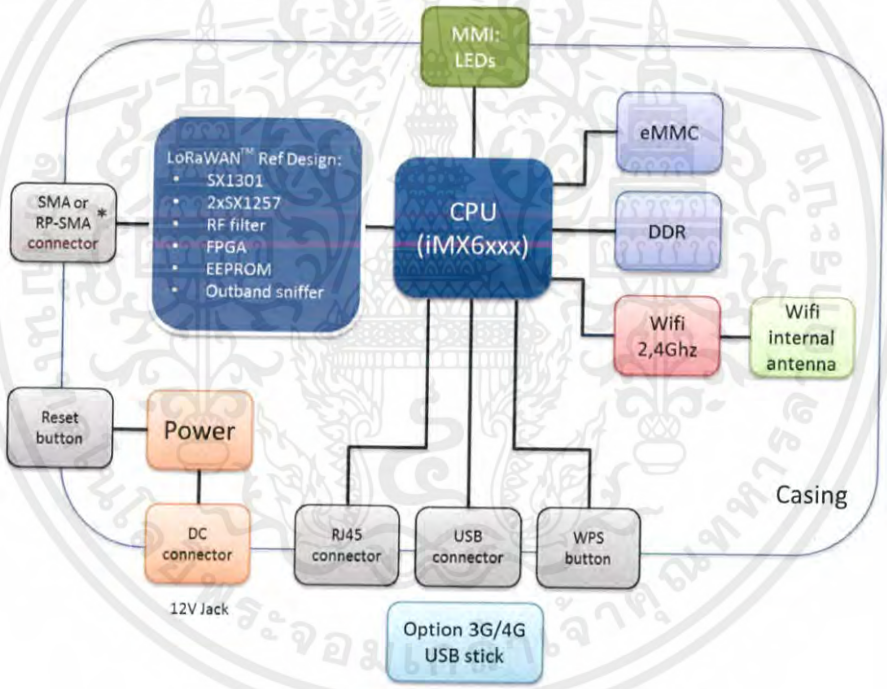
รูป 2.12 ภาพอุปกรณ์ Gateway รุ่น iFemtoCell(ด้านข้าง)[13]

[12] https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/kerlink-iFemtoCell/#connect-to-the-things-network

[13] https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/kerlink-iFemtoCell/#connect-to-the-things-network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

iFemtoCell นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก สามารถเชื่อมต่อ WiFi หรือ Ethernet ได้ ในการใช้งานจะต้องจ่ายไฟขนาด 12 V โดย iFemtoCell ใช้หน่วยประมวลผลพื้นฐาน ARM Cortex A9 core (Up to 800MHz) มีหน่วยความจำ DDRAM 256MB และมีหน่วยความจำ Flash แบบ eMMc ขนาด 8 GB และมีส่วนในการติดต่อสื่อสารในรูปแบบ LoRa ซึ่งใช้ chip SX1301 1 ตัว และ SX1257 อีก 2 ตัว ดังรูปที่ 2.13 ในการสื่อสาร ที่รองรับความถี่ 863-873MHz, 902-928MHz, 915-928MHz โดยสามารถ upgrade software ผ่านทาง USB และมีหน้า Web Interface ในการ config gateway นอกจากนี้ iFemtoCell นั้นยังใช้ระบบปฏิบัติการ Yocto/Poky 2.1 base on linux ซึ่งมี software LoRa packet Forwarder ที่ใช้ในการส่งต่อข้อมูล ไปยัง Network Server โดยปกติแล้ว Gateway จะมีระยะการรับส่งข้อมูลแบบ line-of-sight ของ LoRa อยู่ที่ประมาณ 15 กิโลเมตรและในย่านชุมชนประมาณ 2 กิโลเมตร โดยรองรับ End-Device ได้ถึง 1 พันชิ้น ต่อ Gateway 1 ตัว

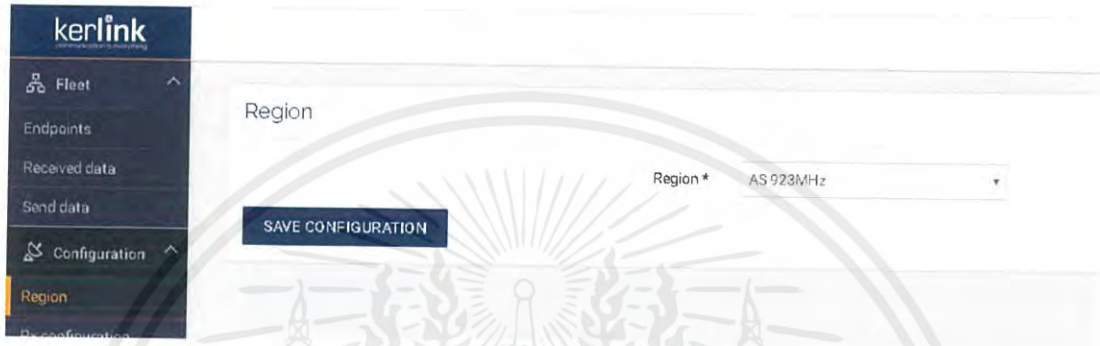


รูป 2.13 Block Diagram ของ iFemtoCell[14]

[14] https://www.the-iot-marketplace.com/media/documents/DataSheet_Wirnet_iFemtoCell.pdf?fbclid=IwAR2w43nPNkrhCZnCn-kFZR6V7Gilc1v48ZN8GEccnYTTUhMyijh_dbWjMvc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kerlink SPN (Network Server) เป็น Software Network Server ที่ถูกติดตั้งและทำหน้าที่เป็น SPN ของตัว Gateway รุ่น iFemtoCell ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 ซึ่ง SPN เป็นโครงข่ายส่วนตัวที่เหมาะกับเครือข่ายขนาดเล็กหรือกลาง นอกจากนี้ Kerlink SPN ยังมีหน้า Web UI สามารถตั้งค่า gateway ดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 เป็นต้น หรือจัดการ register device ที่จะเข้าใช้งานเครือข่ายนี้ได้ อีกทั้งการที่ใช้งาน SPN นั้นยังสามารถลด Latency ได้ เนื่องจากในกระบวนการส่งข้อมูลต่อไปยัง Network Server สามารถส่งภายในเครือข่ายส่วนตัวได้ทันที



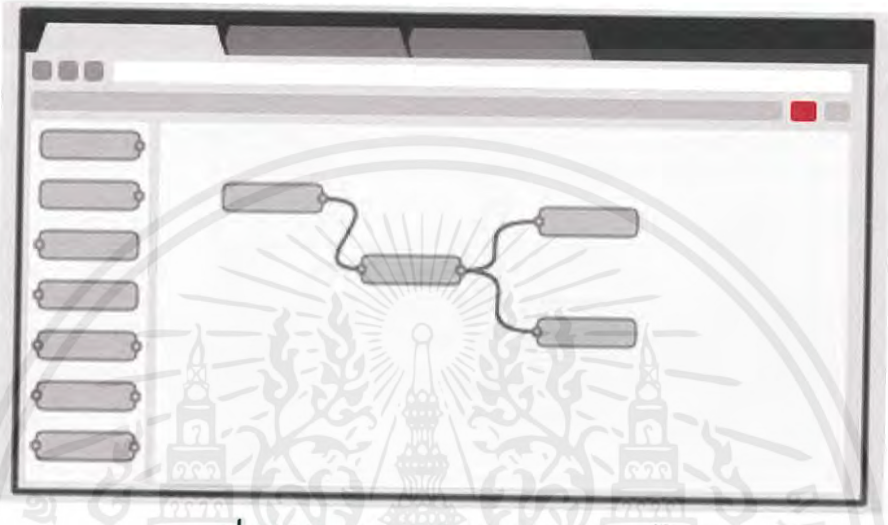
รูป 2.14 การตั้งค่า region ใน SPN

รูป 2.15 การตั้งค่า Rx Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Node-RED

Node-RED คือ เครื่องมือที่ช่วยเหลือในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เข้ากับ APIs (Application Programming Interface) ซึ่งเป็นการพัฒนาโปรแกรมแบบ Flow-Based Programming ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนภาษา Node.js ที่มีหน้า UI ให้ใช้งานผ่าน Web Browser ดังรูปที่ 2.16 ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างง่ายดาย



รูป 2.16 Template UI ของ Node-RED[15]

นอกจาก Node-RED จะสามารทำการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์กับ APIs ได้ ยังสามารถที่จะเชื่อมต่อ service อื่น ๆ ได้เช่นกัน เช่น ทำการเชื่อมต่อ Database หรือ http เป็นต้น

เนื่องจากมีลักษณะการทำงานในรูปแบบ Flow-Based Programming จึงทำให้ไม่จำเป็นจะต้องเขียน code เพียงแค่เลือก node มาวางแล้วเชื่อมต่อก็สามารถควบคุม I/O ได้เลย โดย Node-RED มี node ให้ใช้งานอย่างหลากหลาย อีกทั้งยังสามารถสร้างฟังก์ชัน JavaScript โดยใช้ Text Editor ที่มาพร้อมกับ Node-RED เพื่อตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้ได้มากขึ้นตามความต้องการ และสามารถบันทึกและนำไปใช้งานกับงานอื่นต่อไปได้

2.6 Vue.js

Vue.js คือ framework สำหรับใช้สร้าง User Interfaces ทำงานบนพื้นฐานของภาษา JavaScript ซึ่งออกแบบมาสำหรับสร้างแอปพลิเคชันตั้งแต่เริ่มต้นแล้วค่อยเพิ่มเติมส่วนอื่น ๆ มาเรื่อย ๆ จึงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยการใช้งานหลัก ๆ จะเน้น library ที่เป็น view layer ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ในการพัฒนาเว็บ นอกจากจะสามารถใช้งานได้ง่ายแล้ว Vue.js ยังมีข้อดีอื่น ๆ อีก ดังนี้

---

[15] https://nodered.org/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 มีขนาดที่เล็กมาก

JavaScript Framework ที่ดีมักจะขึ้นอยู่กับขนาดของมันยิ่งมีขนาดเล็กมักจะเป็นที่นิยมในการใช้งาน ซึ่ง Vue.js มีขนาดอยู่ที่ 18-21 KB ทำให้ใช้เวลาไม่นานในการดาวน์โหลดและใช้งาน

2.6.2 สามารถเข้าใจและใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันได้ง่าย

ผู้ใช้งานสามารถที่จะเพิ่ม Vue.js เข้าไปที่งานเว็บของตัวเองได้ เพราะว่ามีโครงสร้างที่เข้าใจง่าย และนอกจากมีขนาดที่เล็กยังมี templates ขนาดใหญ่ที่สามารถใช้งานและประหยัดเวลาได้เป็นอย่างมาก

2.5.3 มีความยืดหยุ่น

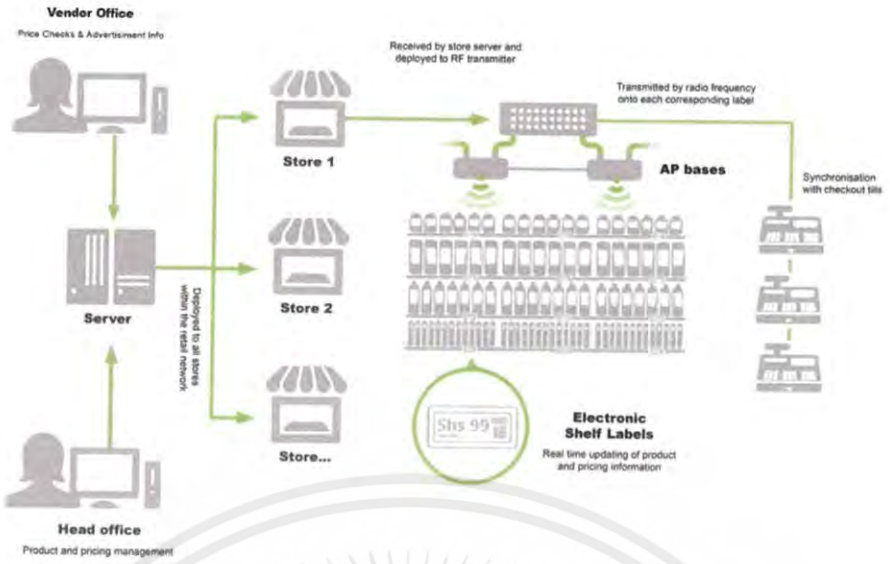
ข้อดีเด่น ๆ อีกอย่างของ Vue.js คือ ช่วยให้ผู้ใช้งานเขียน template ของตัวเองในไฟล์ Html, JavaScript โดยใช้ virtual nodes ความยืดหยุ่นนี้ทำให้นักพัฒนาไม่ว่าจะเป็น React.js, Angular.js และ JavaScript Framework ใหม่ๆสามารถที่จะเข้าใจได้ง่ายขึ้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 A Prototype for real-time price and advertisement display on shelves in retail stores

จากข้อมูลงานวิจัยหัวข้อ A Prototype for real-time price and advertisement display on shelves in retail stores นี้เป็นแนวคิดต้นแบบ ป้ายแสดงผลราคาและโฆษณาโปรโมชั่นสินค้าแบบทันเวลาบนชั้นวางสินค้าในร้านค้า ดังรูปที่ 2.17 โดยมีแนวคิดที่จะใช้ Electronic Paper รูปแบบประหยัดพลังงานแทนป้ายกระดาษแบบเดิม รวมถึงการใช้ระบบการสื่อสารแบบไร้สายในย่านในการแสดงข้อมูลสินค้าหรือโฆษณาโปรโมชั่นแบบทันเวลาบนป้าย โดยควบคุมจากระบบส่วนกลางและเจ้าของร้านค้ายังสามารถแก้ไขข้อมูลสินค้าได้ ผ่านทาง UI ของ Web ที่ทำงานอยู่บนเครื่อง Server ที่ใช้ Processor รุ่น Intel Core i3, Disk space 5GB, RAM 8GB และมีระบบปฏิบัติการ Windows Server 2012 และใช้ Internet Information Server (IIS) Webserver โดยที่ใช้ฐานข้อมูลเป็น SQLSERVER อีกทั้งยังสามารถแจ้งเตือนเมื่อป้ายแสดงผลมีปัญหาและออกเอกสาร Report เมื่อต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.17 Conceptual Framework for the Proposal Prototype[16]

ในงานวิจัยนี้ยังเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ใช้ โดยมีขอบเขตในประเทศเคนย่า และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ เช่น ร้านค้าไหนที่ตอบโจทย์หรือสนใจในแนวคิดงานวิจัย บทบาทในร้านค้า ข้อมูลที่แสดงบนป้ายราคา ที่มาของราคา เป็นต้น

2.7.2 Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN

จากการศึกษางานวิจัยชิ้นนี้ได้กล่าวว่าประสิทธิภาพของพลังงานเป็นหัวใจสำคัญที่จะบ่งบอกอายุการใช้งานของ Sensor Node ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว Sensor Node จะได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ซึ่งมีอายุการใช้งานจำกัด และการใช้งาน IoT ส่วนใหญ่ จำเป็นที่จะต้องมี Sensor Node ที่ทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือและเป็นระยะเวลานาน

ในการออกแบบ Sensor Node นั้นจะต้องให้ความสำคัญกับการออกแบบการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับการทำงานในแต่ละรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของ Sensor Node และสื่อสารได้ไกล เทคโนโลยี Low Power Wide Area Network หรือ LPWAN จึงได้รับความสนใจขึ้นมา

ในงานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงรูปแบบการใช้พลังงานที่อยู่บนพื้นฐานของ LoRa และ LoRaWAN ซึ่งจะช่วยประเมินการใช้พลังงานของแต่ละ Sensor Node เนื่องจาก Wireless Sensor Nodes สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ตรวจสอบความปลอดภัยของสิ่งอำนวยความสะดวก การตรวจสอบสภาพแวดล้อม การตรวจสอบเหตุการณ์เป็นต้น ซึ่งตัว Sensor Node มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และโดยทั่วไปแล้ว

---

[16] https://su-plus.strathmore.edu/bitstream/handle/11071/5662/A%20Prototype%20for%20real-time%20price%20and%20advertisement%20display%20on%20shelves%20in%20retail%20stores.pdf?sequence=3&isAllowed=y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Node เหล่านี้ ทำงานในสภาพแวดล้อมที่อาจจะรุนแรงหรือไม่สามารถเข้าถึงได้ ด้วยเหตุผลเหล่านี้ ตัว Sensor Node เองจึงควรทำงานได้ในเวลาที่ยาวนานโดยไม่มีการแทรกแซงของมนุษย์

การสร้างแบบจำลองของการใช้พลังงานเป็นข้อพิจารณาสำคัญในการออกแบบการสื่อสารของตัว Sensor เพื่อใช้งานกับเป้าหมายรูปแบบงานที่เฉพาะเจาะจง การสื่อสารของ Sensor ควรจะคำนึงถึง การทำงานชอง Sensor, การประมวลผลข้อมูลของ Sensor และการส่งข้อมูลไปยัง Access point ซึ่งแต่ละการทำงานที่กล่าวมาจะต้องใช้พลังงานตามเวลาที่กำหนด ดังนั้น แบบจำลองการใช้พลังงานของ Sensor Node จึงมีความสำคัญในการประเมินการอายุการใช้งานของ Sensor Node และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ Sensor Node ได้อีกด้วย

แบบจำลองพลังงานนี้อยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี LoRa และ LoRaWAN ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานต่ำและระยะไกลจึงถูกผลักดันให้ LoRa ขึ้นสู่อันดับต้นๆ ของเทคโนโลยี LPWAN เรื่องจากการปรับแต่งที่เป็นเอกลักษณ์ ทำให้ LoRa เป็นเทคโนโลยีอเนกประสงค์ที่สามารถปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมและประเภทของการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

ในบทความนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ LoRaWAN ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย LoRa Alliance เพื่อให้บริการด้าน IoT โดยลักษณะเฉพาะของ LoRaWAN นั้นมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการกำหนดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ของ Sensor Node โดยการปรับพารามิเตอร์หลักๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอแบบจำลองการใช้พลังงานโดยการใช้ LoRa modulation และ LoRaWAN protocol โดยแบบจำลองรุ่นนี้มีการประเมินผลโดยใช้โหมด LoRaWAN ในรูปแบบที่ต่างกัน และยังศึกษาผลกระทบของการปรับพารามิเตอร์ LoRaWAN เช่น Acknowledged, Spreading Factor, Coding Rate, Payload Size and Communication Range ที่มีผลต่อการใช้พลังงานของ Sensor Node

ข้อสรุปของงานวิจัยนี้พบว่าการใช้ LoRaWAN Class A ที่มีการรับข้อมูล Acknowledgement นั้นจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และการทำแบบจำลองครั้งนี้ยังศึกษาผลกระทบที่เกิดจาก Hardware และ Software โดยแสดงผลเชิงตัวเลข ไม่ว่าจะเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับ Spreading Factor, Coding Rate, Payload Size และ Bandwidth ล้วนมีผลต่อการใช้พลังงาน อีกทั้งความถี่การประมวลผลของ Microcontroller ก็มีผลกับอายุการใช้งาน หากยิ่งมีความถี่มาก ก็จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ลดลง

ในบทความนี้ยังได้มีการทดลองนำแบบจำลองไปทดสอบใช้งานจริงโดยประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบเสาไฟฟ้าเครือข่ายไฟฟ้าแรงสูงและสามารถประเมินอายุการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

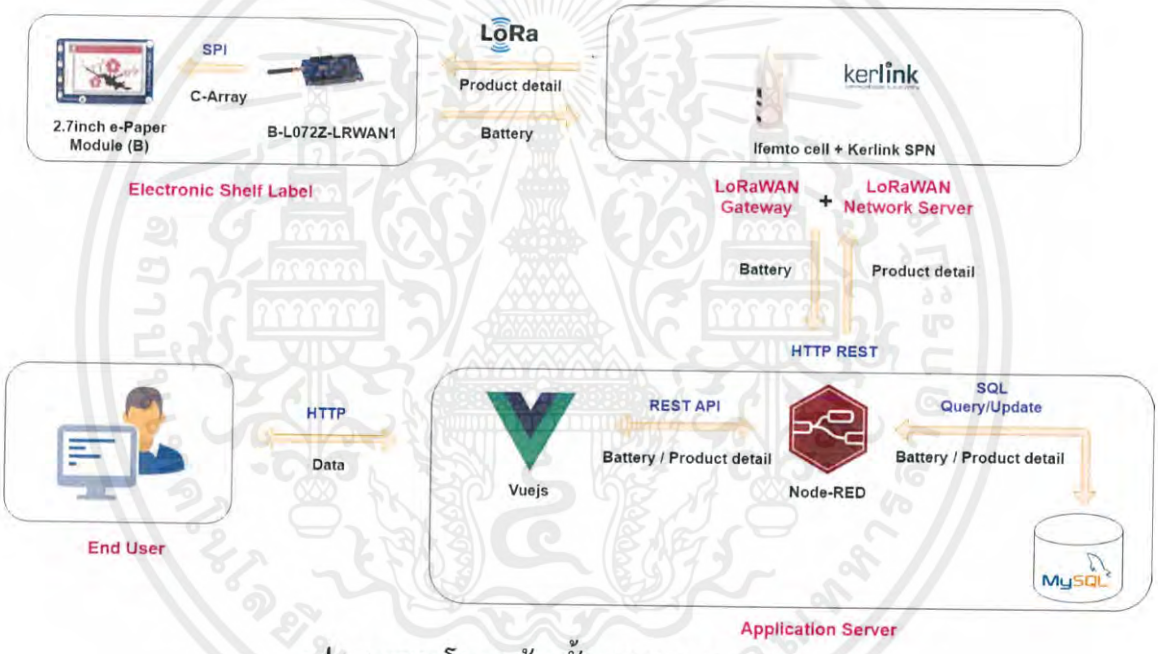
บทที่ 3
การออกแบบและพัฒนา

3.1 ภาพรวมการทำงานภายในระบบ

ในการออกแบบและพัฒนาโครงงาน ได้มีการแบ่งระบบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูล(Application Server)
2) ส่วนการรับส่งข้อมูลทางเครือข่าย(LoRaWAN Gateway และ LoRaWAN Network Server)
3) ส่วนประมวลผลและแสดงผล(Electronic Shelf Label)

โดยแต่ละส่วนได้มีแนวทางในการออกแบบและพัฒนาดังรูปที่ 3.1



รูป 3.1 แสดงโครงสร้างทั้งหมดของระบบงาน

3.1.1 Specification

3.1.1.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูล

1) พัฒนา Web Application บนแพลตฟอร์มของ Vue.js และ Node-RED
2) สามารใช้งานการสแกน Barcode และ QR Code ได้
3) สามารถเลือกหรือแก้ไขข้อมูลที่จะแสดงผลบน E-Paper Display ได้
4) สามารถสร้าง ลบ และแก้ไขข้อมูลของร้านค้าหรือผู้ใช้งานได้
5) สามารถกำหนดได้ว่าจะให้ร้านค้าใด ใช้งาน E-Paper Display ใดได้บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) สามารถเก็บข้อมูลร้านค้า, ผู้ใช้งาน, อุปกรณ์ และสินค้าลงในฐานข้อมูลได้

7) สามารถประมวลผลข้อมูล uplink จากฝั่ง Network Server ได้

8) Vue.js และ Node-RED สามารถสื่อสารผ่าน REST API

9) สามารถส่งข้อมูล downlink ไปให้ Network Server ได้

3.1.1.3 ส่วนการรับส่งข้อมูลทางเครือข่าย

1) ใช้ iFemtoCell เป็น Gateway ในการสื่อสารระหว่าง End-Device และ Network Server

2) ใช้ SPN Kerlink เป็น Software ในการทำ private network server

3) Gateway สามารถรับข้อมูล uplink จาก End-Device ที่ลงทะเบียนใน Network Server ได้

4) Network Server สามารถส่งข้อมูล downlink ไปยัง Queue ใน Gateway เพื่อรอการส่งกลับไปหา End-Device ในขณะส่ง uplink มาให้ Gateway

5) Network Server สามารถส่งต่อข้อมูล uplink ไปยัง Application Server ได้

6) Network Server สามารถรับข้อมูล downlink จาก Application Server ได้

7) Downlink payload มีขนาดสูงสุด 222 byte ต่อ 1 packet

3.1.1.4 ส่วนประมวลและแสดงผล

1) สามารถรับข้อมูลที่ถูกส่งมาในรูปของคลื่นวิทยุและนำมาประมวลผลผ่านบอร์ด B-L072Z-LRWAN1

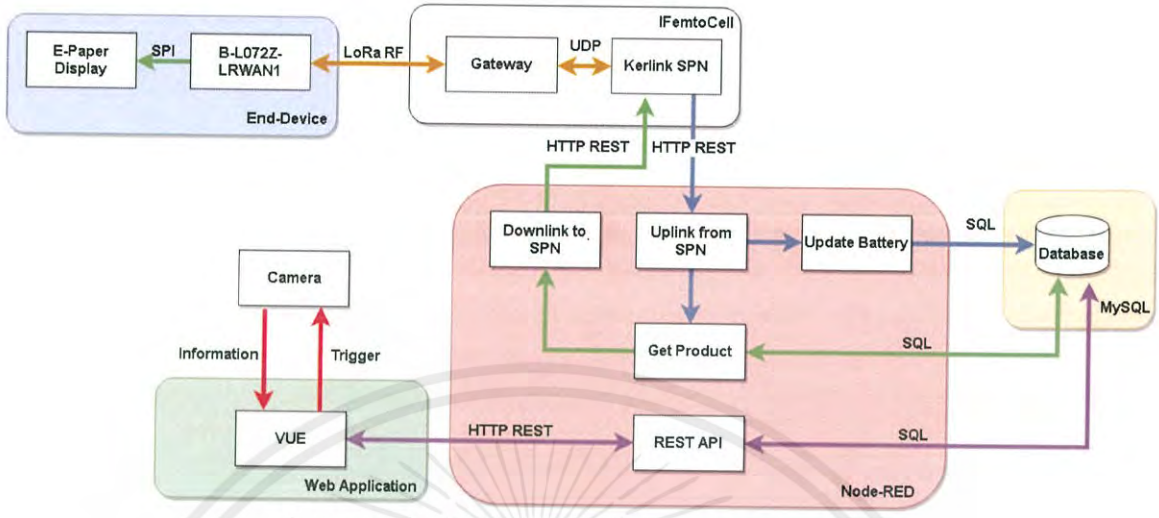
2) สามารถส่งสถานะของแบตเตอรี่กลับไปในรูปของคลื่นวิทยุได้

3) สามารถแสดงผลข้อมูลบน 2.7inch e-Paper Module(tri-color)

4) ทุกครั้งที่มีเริ่มต้นการจ่ายไฟให้ End-Device สามารถดึงภาพ QR Code ที่เก็บค่าของ Device ID ขึ้นมาแสดงได้

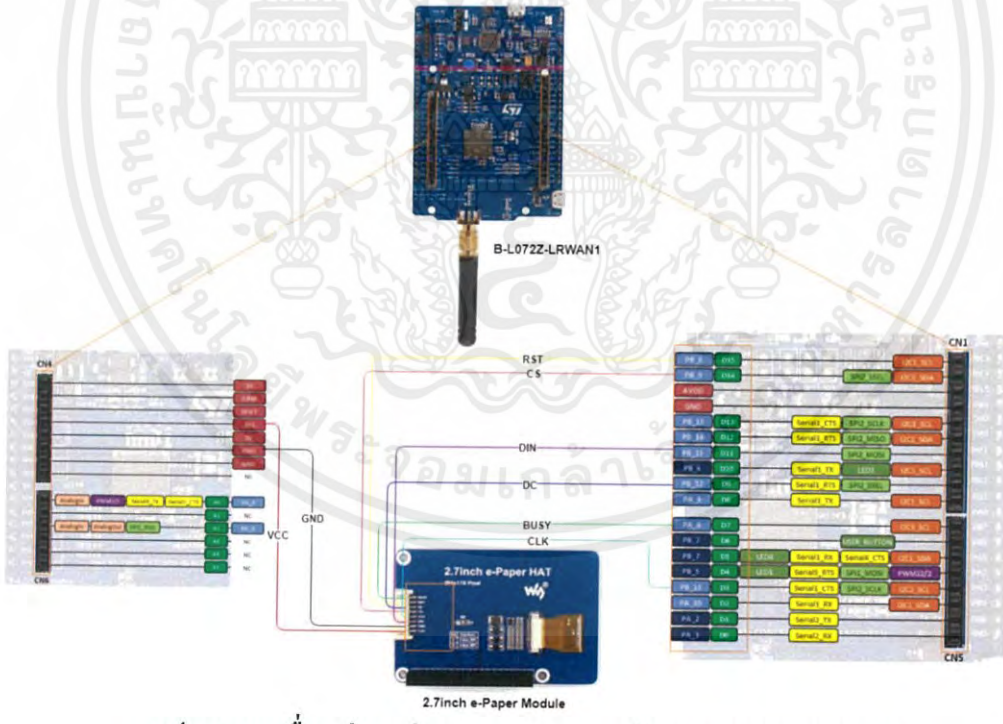
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Architecture Diagram



รูป 3.2 แสดงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบงาน

3.3 Wiring Diagram



รูป 3.3 การเชื่อมต่อขาต่างๆ ของ E-Paper กับ B-L072Z-LRWAN1

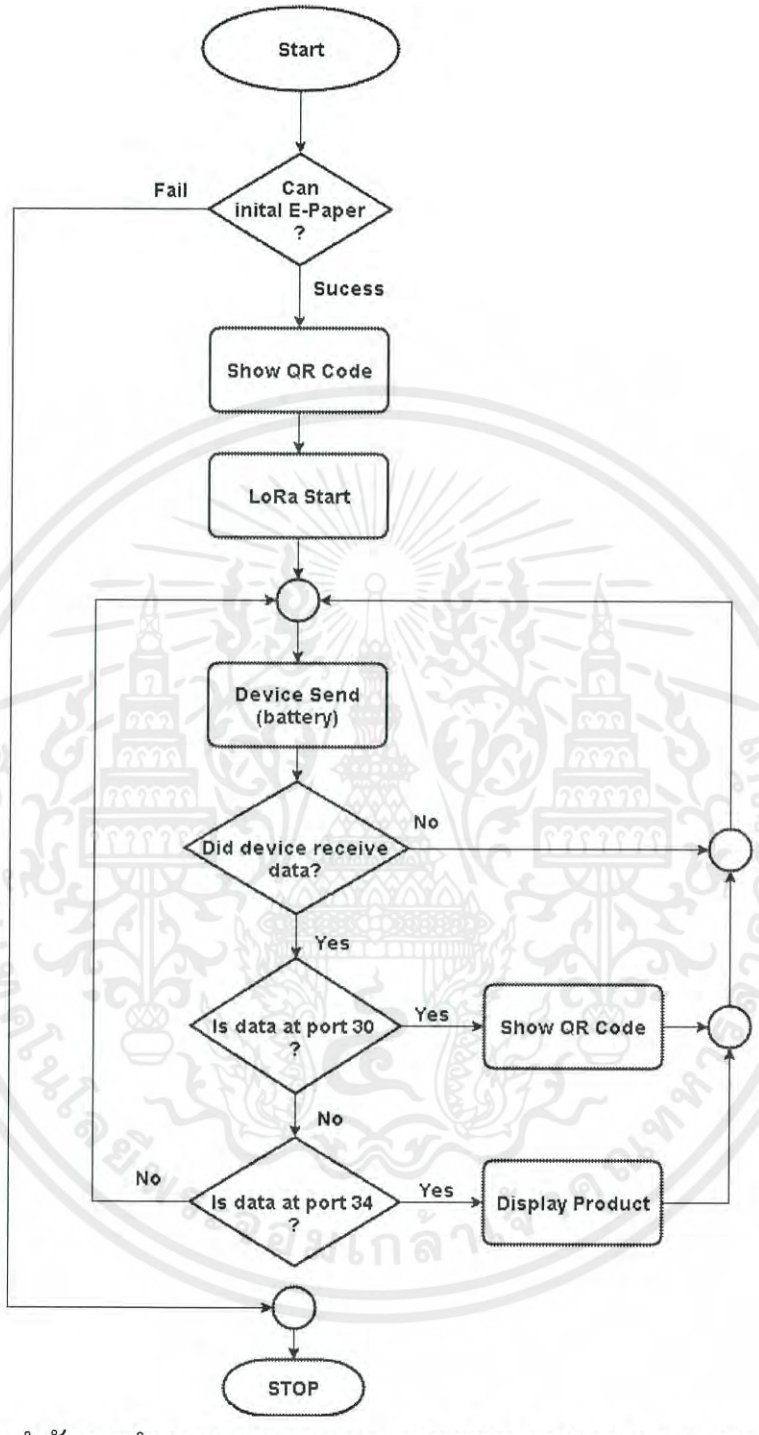
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 การเชื่อมต่อขาของ E-Paper กับ Microcontroller

2.7inch e-Paper Waveshare	B-L072Z-LRWAN1
BUSY	PA8
RST	PB8
DC	PB12
CS	PB9
CLK	PB13 (D3)
DIN	PB15
GND	GND
3.3V	+3v3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

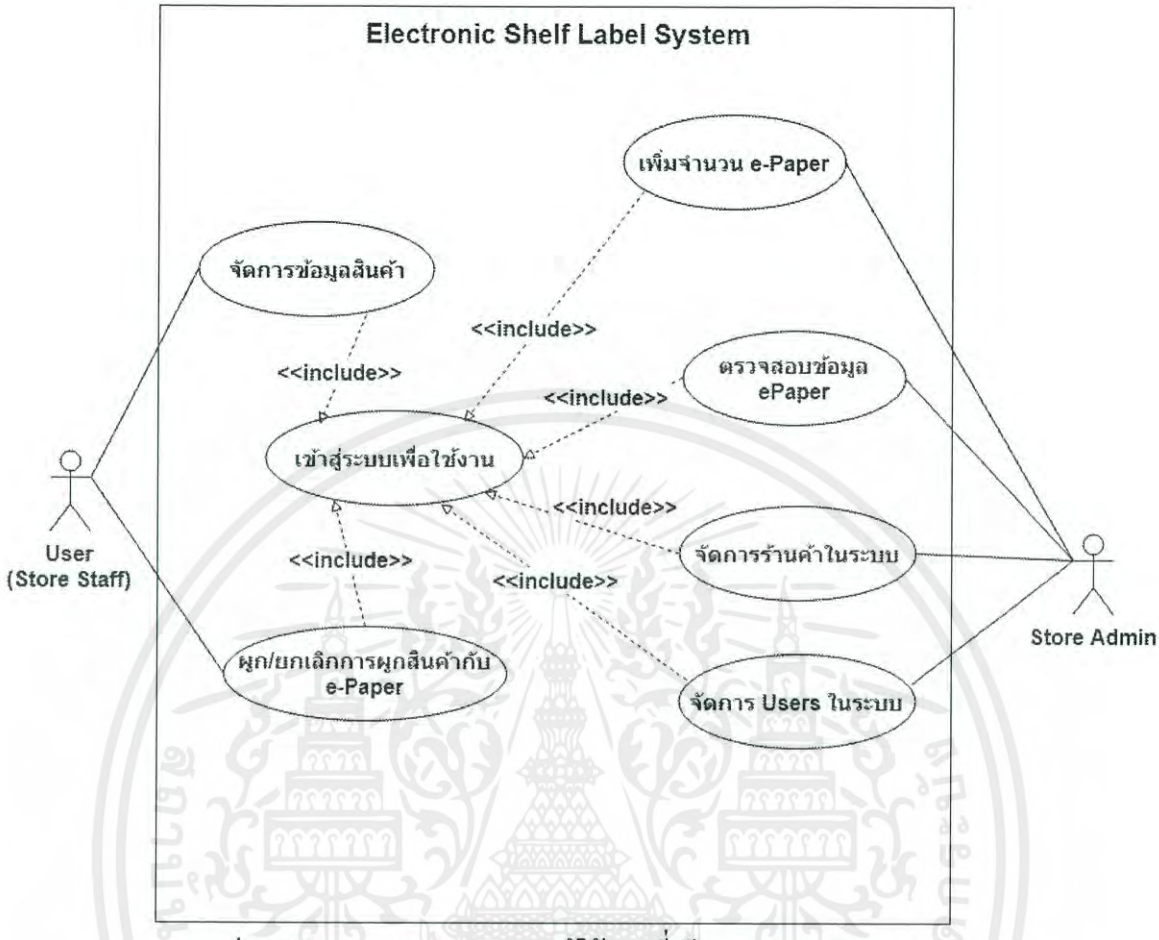
3.4 Hardware Flowchart (B-L072Z-LRWAN1)



รูป 3.4 ลำดับการทำงานและแสดงผลของ B-L072Z-LRWAN1 และ E-Paper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 Use case Diagram



รูป 3.5 Use case Diagram ของผู้ใช้งานที่เป็น user และ admin

ตาราง 3.2 Use case การเพิ่มจำนวน E-Paper

ID	UC1
Title	เพิ่มจำนวน E-Paper
Description	เพิ่มจำนวน E-Paper ในระบบผ่าน Store Admin
Actor(s)	Store Admin
Pre-conditions	Store admin ทำการล็อคอินเข้าสู่ระบบ
Post-conditions	จำนวน E-Paper ของร้านค้าในระบบ Application Server เพิ่มขึ้น
Main success scenario	1.เลือกร้านค้า ที่ต้องการจะเพิ่ม E-paper ให้ 2.เลือกเมนูสำหรับเพิ่มข้อมูล E-Paper กดปุ่มเพิ่ม E-Paper ใหม่และกรอกข้อมูลจากนั้นกดยืนยันการเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 Use case การตรวจสอบข้อมูล E-Paper

ID	UC2
Title	ตรวจสอบข้อมูล E-Paper
Description	สแกนเพื่อตรวจสอบว่า E-Paper มี deviceID อะไรและเป็นของร้านค้าไหน
Actor(s)	Store Admin
Pre-conditions	Store admin ทำการล็อคอินเข้าสู่ระบบ
Post-conditions	มีข้อมูล deviceID และข้อมูลร้านค้าที่เป็นเจ้าของ E-Paper แสดงให้เห็น
Main success scenario	1.กดปุ่มตรวจสอบ E-Paper 3.ทำการสแกน QR Code ของ E-Paper

ตาราง 3.4 Use case การจัดการร้านค้าในระบบ

ID	UC3
Title	จัดการร้านค้าในระบบ
Description	สามารถเพิ่ม/แก้ไข/ลบร้านค้าในระบบได้
Actor(s)	Store Admin
Pre-conditions	Store admin ทำการล็อคอินเข้าสู่ระบบ
Post-conditions	ร้านค้าถูก เพิ่ม/แก้ไข/ลบ ในระบบ
Main success scenario	1.กรณีเพิ่มร้านค้าใหม่ให้กดปุ่ม เพิ่ม และกรอกข้อมูลของร้านค้ากดยืนยันการเพิ่ม 3.ในกรณีของการแก้ไขข้อมูล กดเลือกร้านค้าที่ต้องการแก้ไขและกดปุ่มแก้ไข จากนั้นกรอกข้อมูลที่ต้องการใหม่แล้วกดยืนยันการแก้ไข 4.ในกรณีลบร้านค้า กดเลือกร้านค้าที่ต้องการลบและกดปุ่มแก้ไข จากนั้นกดปุ่มยืนยันการลบ

ตาราง 3.5 Use case การจัดการ Users ในระบบ

ID	UC4
Title	จัดการ User ในระบบ
Description	สามารถสมัคร/แก้ไข/ลบผู้ใช้งานในระบบของร้านค้าได้
Actor(s)	Store Admin
Pre-conditions	Store admin ทำการล็อคอินเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID	UC4
Post-conditions	ผู้ใช้งานถูก เพิ่ม/แก้ไข/ลบ ในระบบของร้านค้า
Main success scenario	1.เลือกร้านค้าที่ต้องการ และเลือกเมนูจัดการผู้ใช้งาน 2.กรณีเพิ่มผู้ใช้ใหม่ให้กดปุ่ม เพิ่ม และกรอกข้อมูลผู้ใช้ที่สมัครสมาชิกใหม่ จากนั้นกดยืนยันการสมัคร และระบบจะส่งรหัสผ่านสำหรับเข้าใช้งานกลับมา 3.ในกรณีของการแก้ไขข้อมูล กดปุ่มแก้ไขของ User ที่ต้องการแก้ไขแล้วข้อมูลที่ต้องการใหม่จากนั้นกดยืนยันการแก้ไข 4.ในกรณีลบผู้ใช้ กดปุ่มแก้ไขของผู้ใช้ที่ต้องการลบ แล้วกดปุ่มยืนยันการลบ

ตาราง 3.6 Use case การจัดการข้อมูลสินค้า

ID	UC5
Title	จัดการข้อมูลสินค้า
Description	สามารถเพิ่ม/ลบ/แก้ไขข้อมูลสินค้าได้
Actor(s)	User
Pre-conditions	เข้าสู่ระบบเพื่อใช้งาน
Post-conditions	สินค้าถูก เพิ่ม/แก้ไข/ลบ ในระบบ
Main success scenario	1.กดปุ่มเพิ่มสินค้าและทำการสแกน Barcode สินค้าผ่านกล้องในกรณีที่สินค้าไม่มีในระบบจะเป็นการเพิ่มสินค้าเข้าสู่ระบบก่อน จากนั้นตรวจสอบข้อมูลแล้วกดยืนยัน 2.ในกรณีที่มีข้อมูลสินค้าอยู่แล้ว หลังจากสแกน Barcode ของสินค้า จะมีข้อมูลสินค้าขึ้นมาโดยสามารถแก้ไขก่อนกดยืนยันได้ 3.ในการแก้ไขข้อมูลสินค้า ทำการเลือกสินค้าที่จะแก้ไข กดปุ่มสำหรับแก้ไข ทำการกรอกข้อมูลแล้วกดยืนยัน 4.ในการลบสินค้า ทำการกดปุ่มแก้ไขสินค้าที่เลือก แล้วกดปุ่มยืนยันการลบ

ตาราง 3.7 Use case การผูกและยกเลิกการผูกสินค้ากับ E-Paper

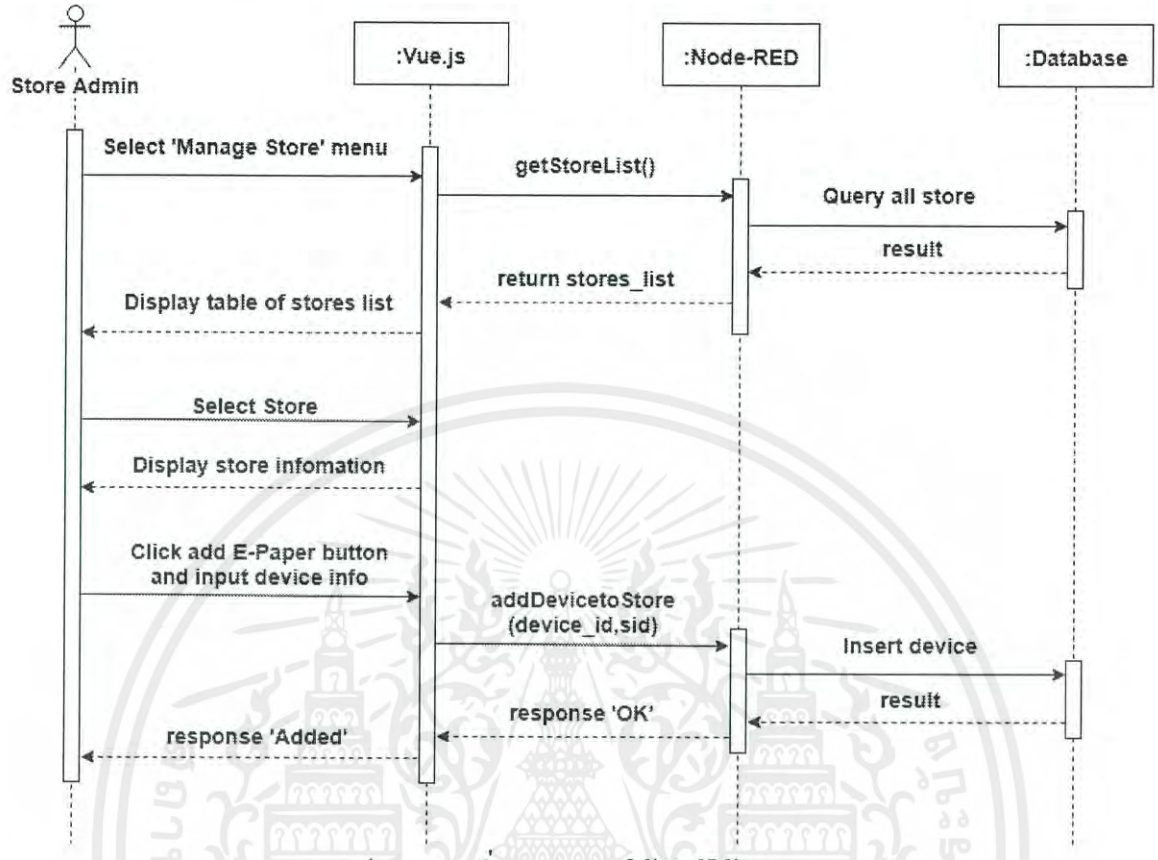
ID	UC6
Title	ผูก/ยกเลิกการผูกสินค้ากับ e-Paper
Description	สามารถทำการผูกสินค้ากับ e-Paper โดยผ่านการสแกน Barcode ของสินค้าและ QR Code ของ e-Paper และสามารถยกเลิกการผูกสินค้ากับ e-Paper ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

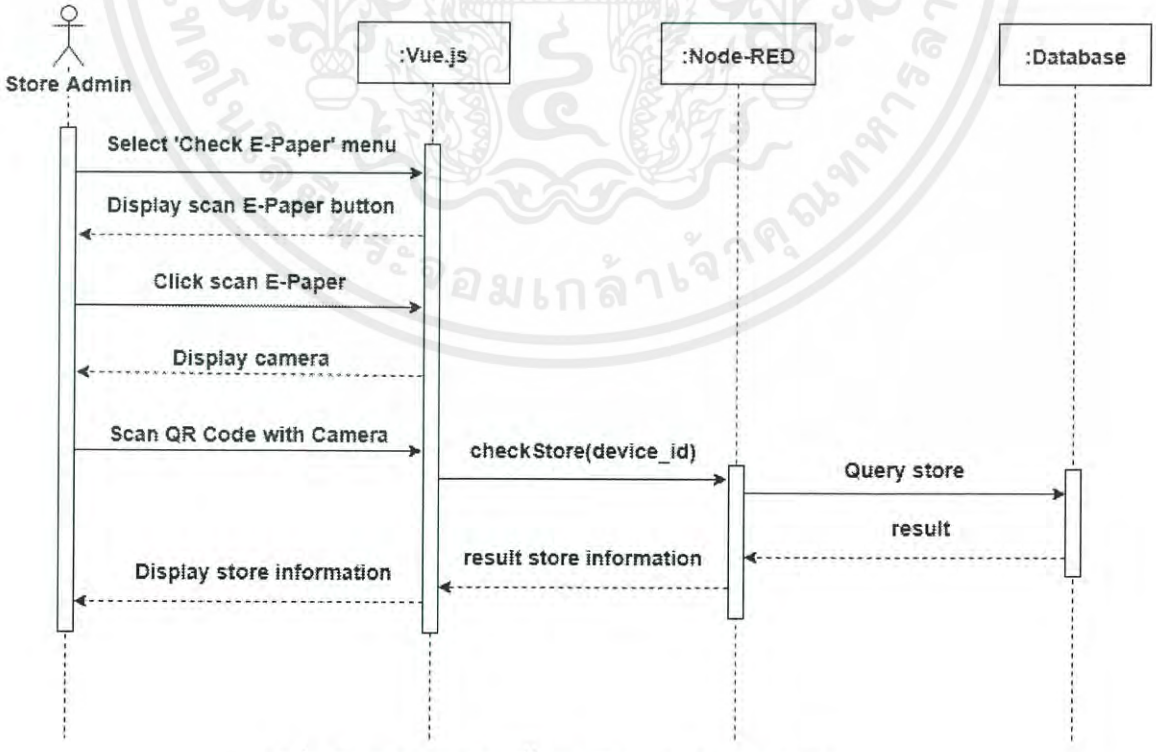
ID	UC6
Actor(s)	User
Pre-conditions	เข้าสู่ระบบเพื่อใช้งาน
Post-conditions	สินค้าจะถูกผูกหรือยกเลิกการผูกกับ e-Paper ที่ต้องการ
Main success scenario	1.เลือกสินค้าที่จะผูกโดยทำการสแกน Barcode สินค้าผ่านกล้องในกรณีที่สินค้าไม่มีในระบบจะเป็นการเพิ่มสินค้าเข้าสู่ระบบก่อน จากนั้นตรวจสอบข้อมูลแล้วกดยืนยัน 2.ในกรณีที่มีข้อมูลสินค้าอยู่แล้ว หลังจากสแกน Barcode ของสินค้า จะมีข้อมูลสินค้าขึ้นมาโดยสามารถแก้ไขก่อนกดยืนยันได้ 3.เลือก e-Paper ที่จะผูกเข้ากับสินค้าโดยการสแกน QR Code จากนั้นตรวจสอบข้อมูลและกดยืนยัน 4.ในการยกเลิกการผูก กดปุ่มแก้ไขสินค้าที่ต้องการ และกดปุ่มสำหรับลบ deviceID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Sequence Diagram

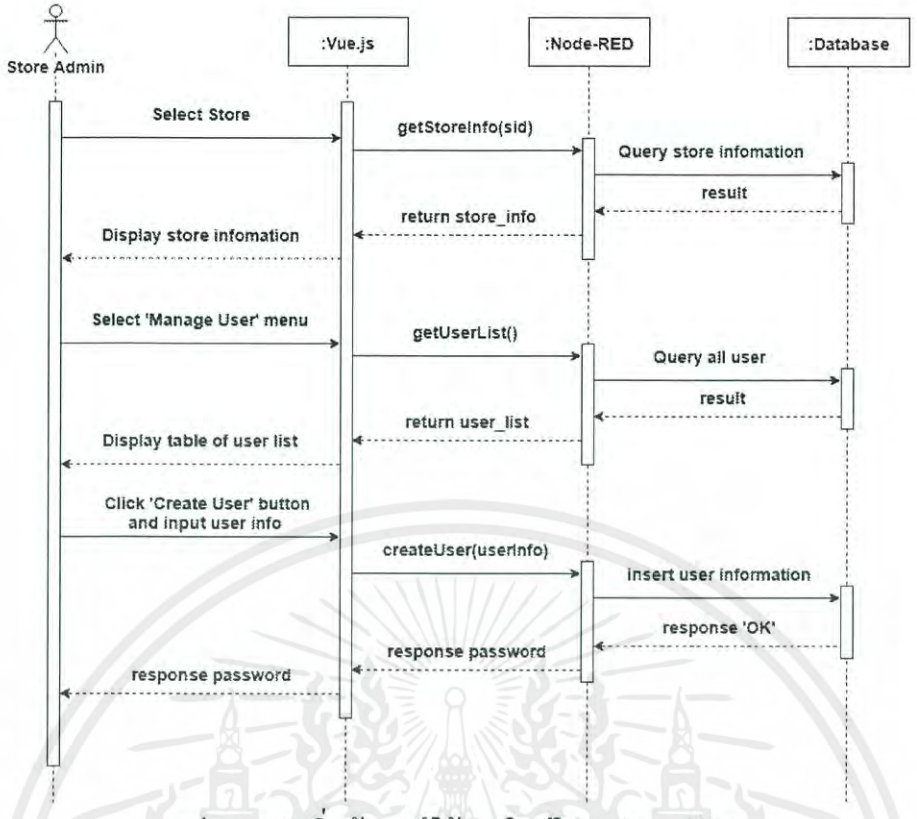


รูป 3.6 การเพิ่ม E-Paper ให้กับผู้ใช้งาน

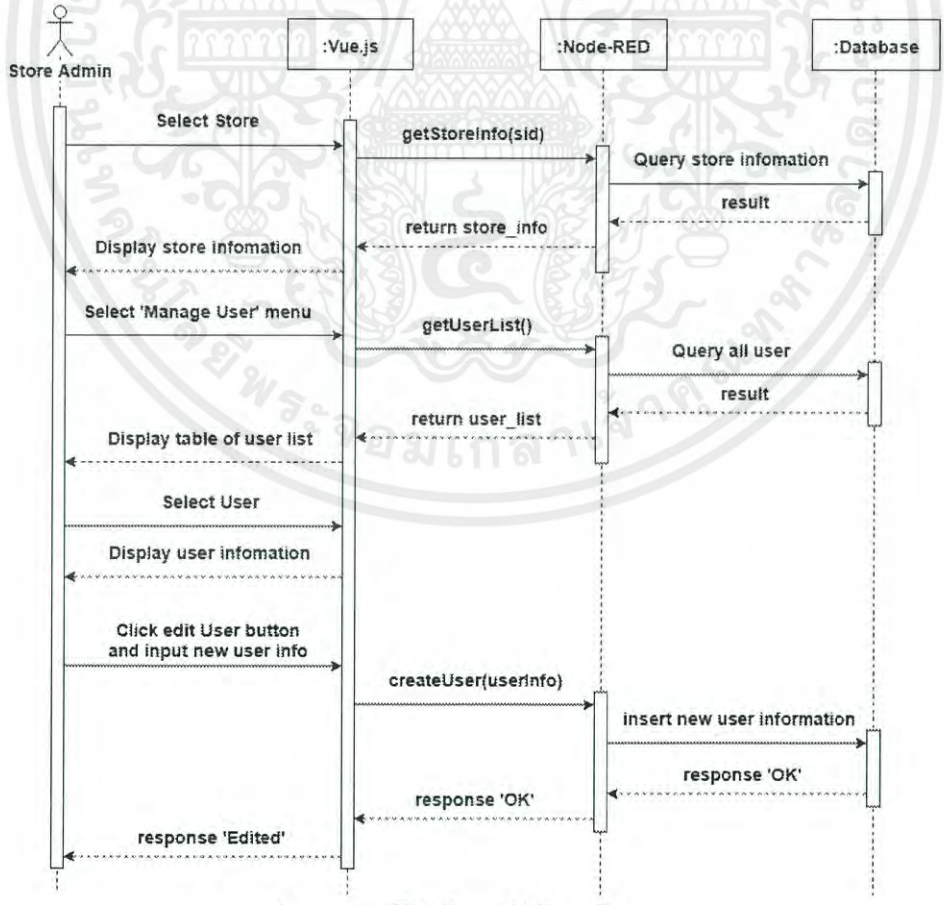


รูป 3.7 การตรวจสอบข้อมูล E-Paper ของ Admin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

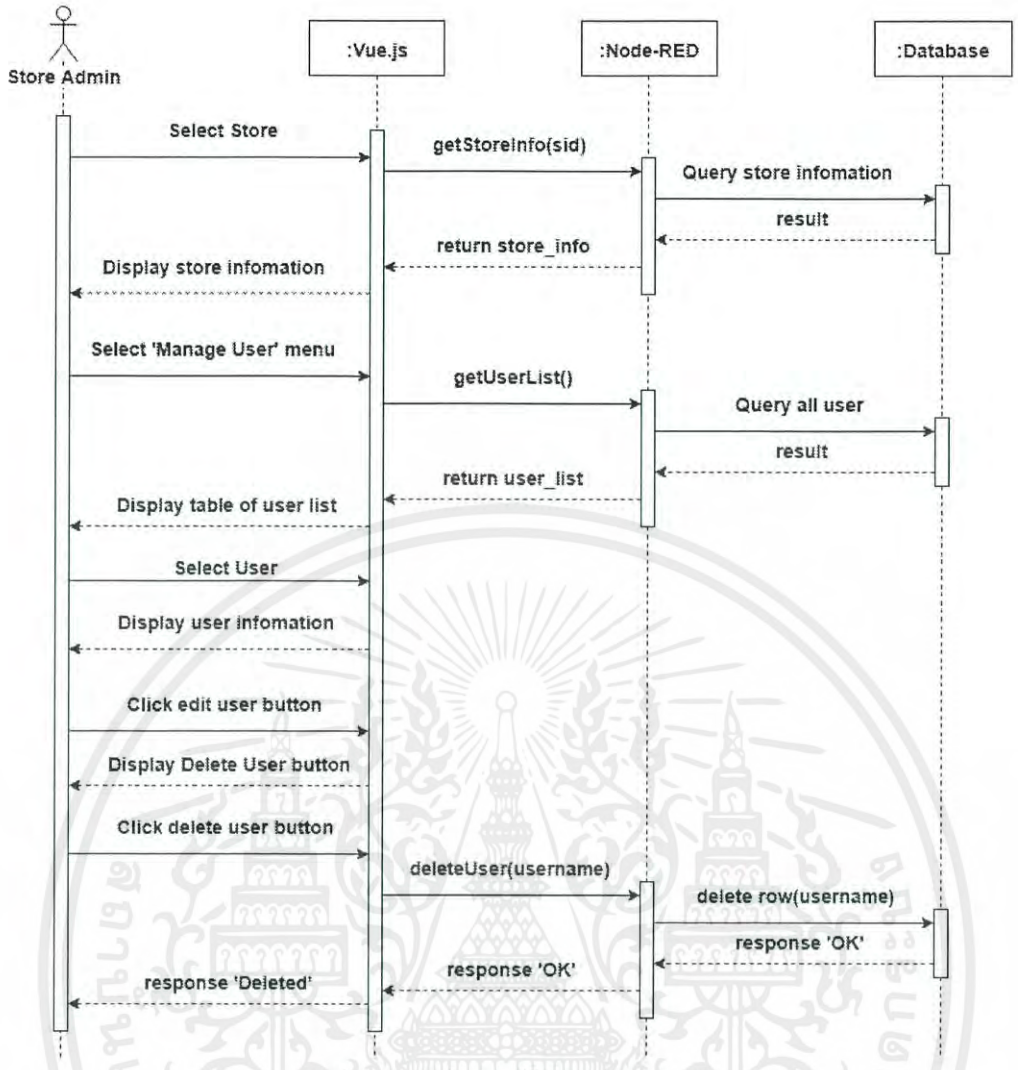


รูป 3.8 การเพิ่มข้อมูลผู้ใช้งานใหม่ในระบบ(สมัคร)



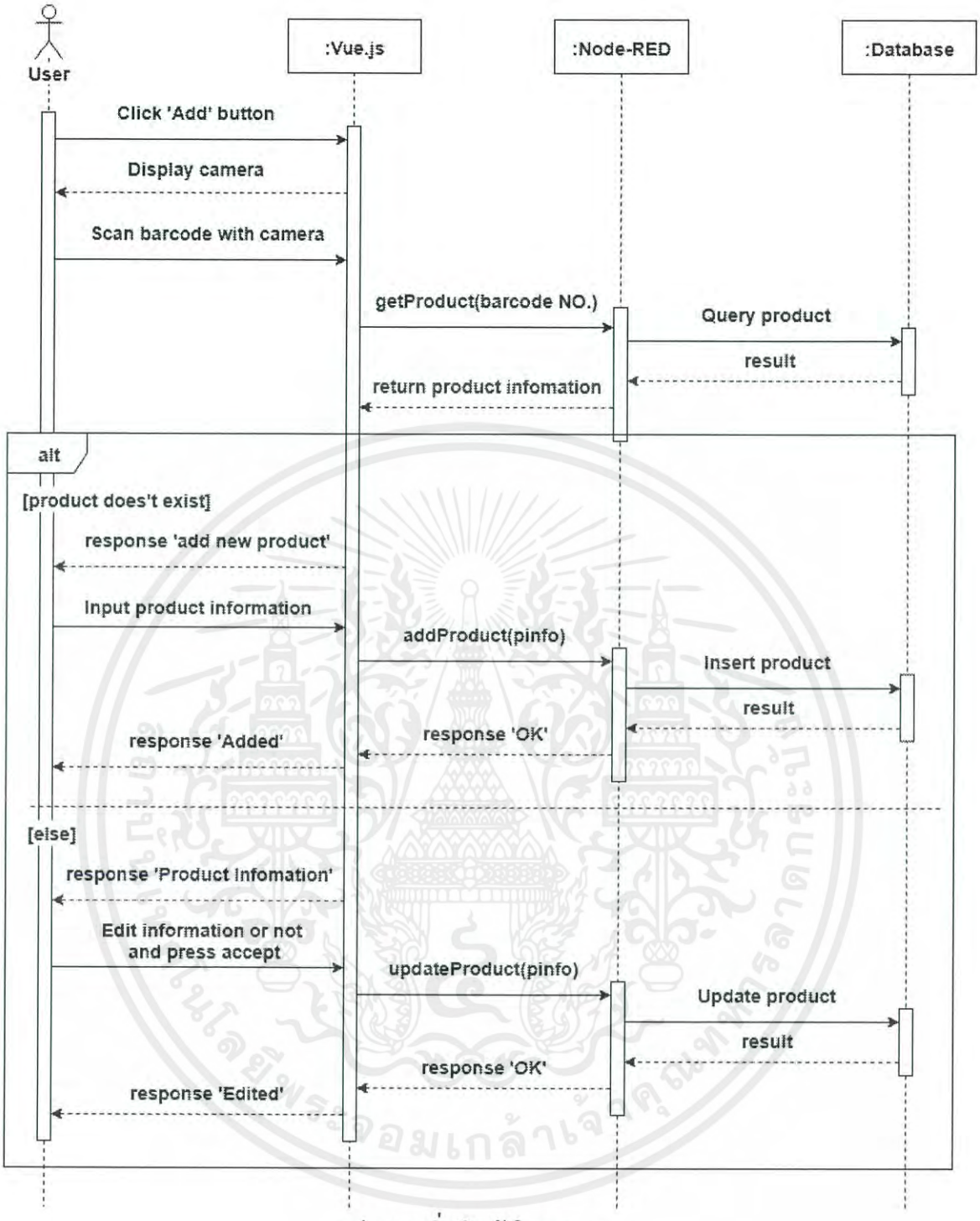
รูป 3.9 การแก้ไขข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



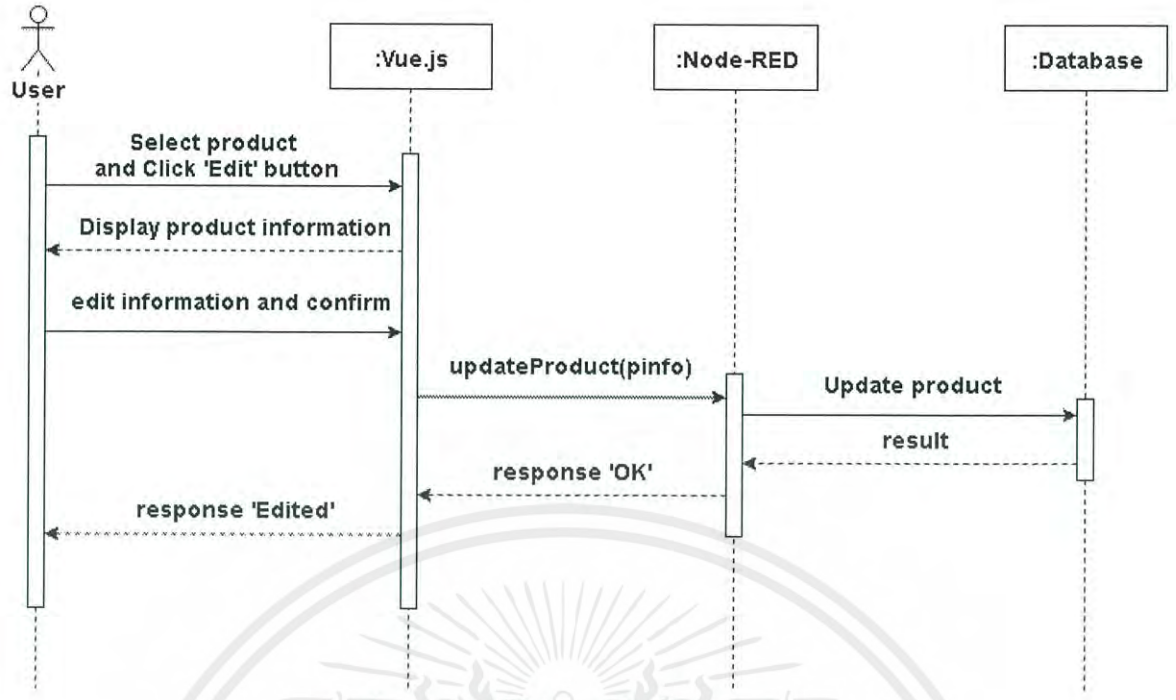
รูป 3.10 ลบข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

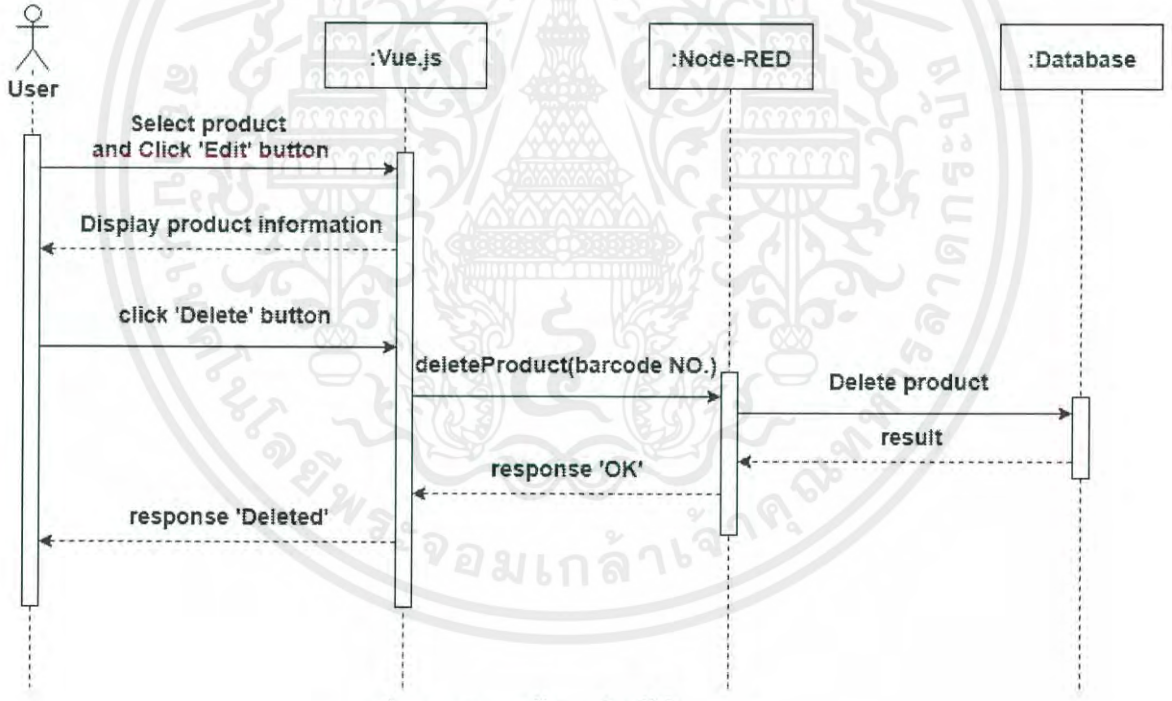


รูป 3.11 เพิ่มสินค้าในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

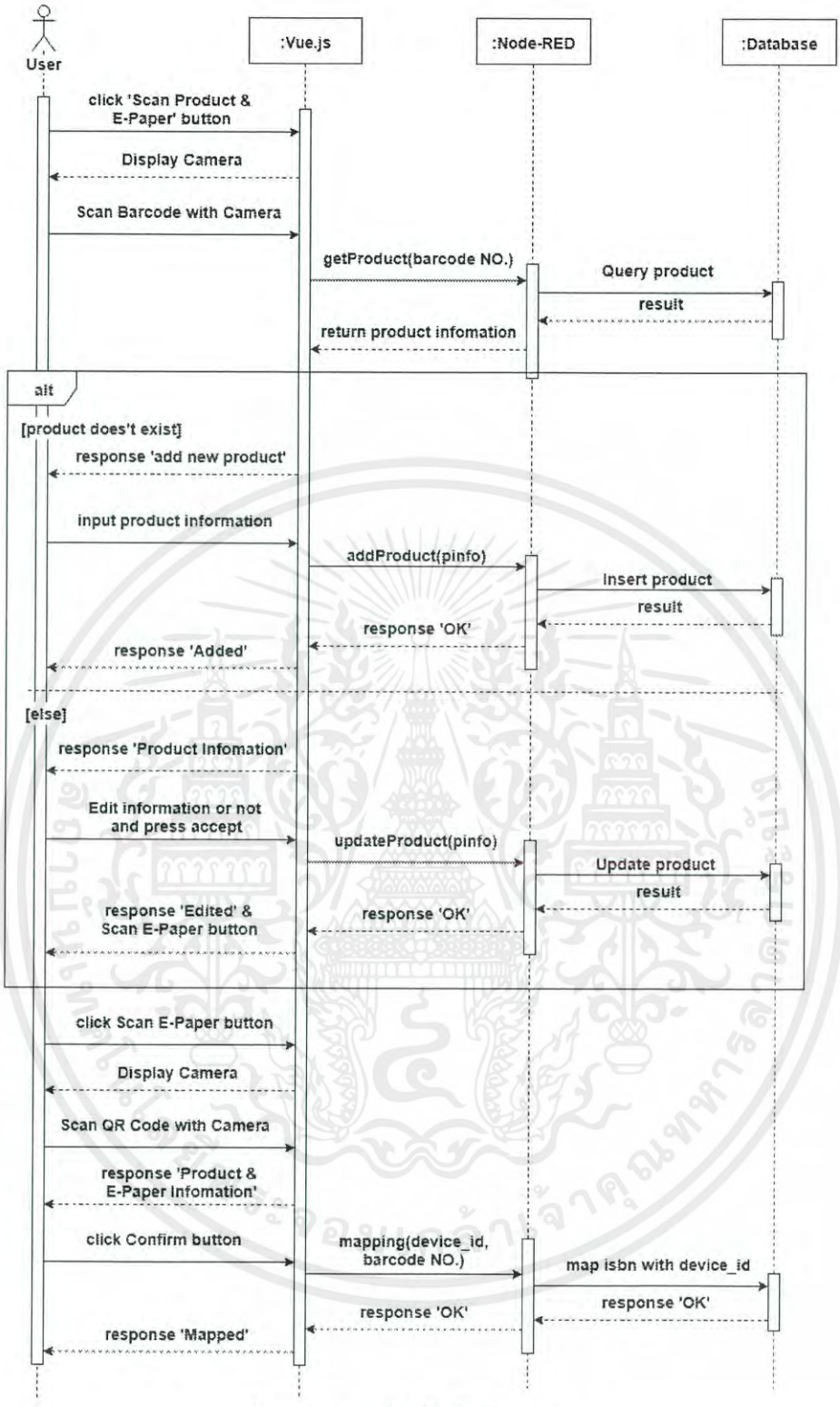


รูป 3.12 การแก้ไขข้อมูลสินค้าในระบบ



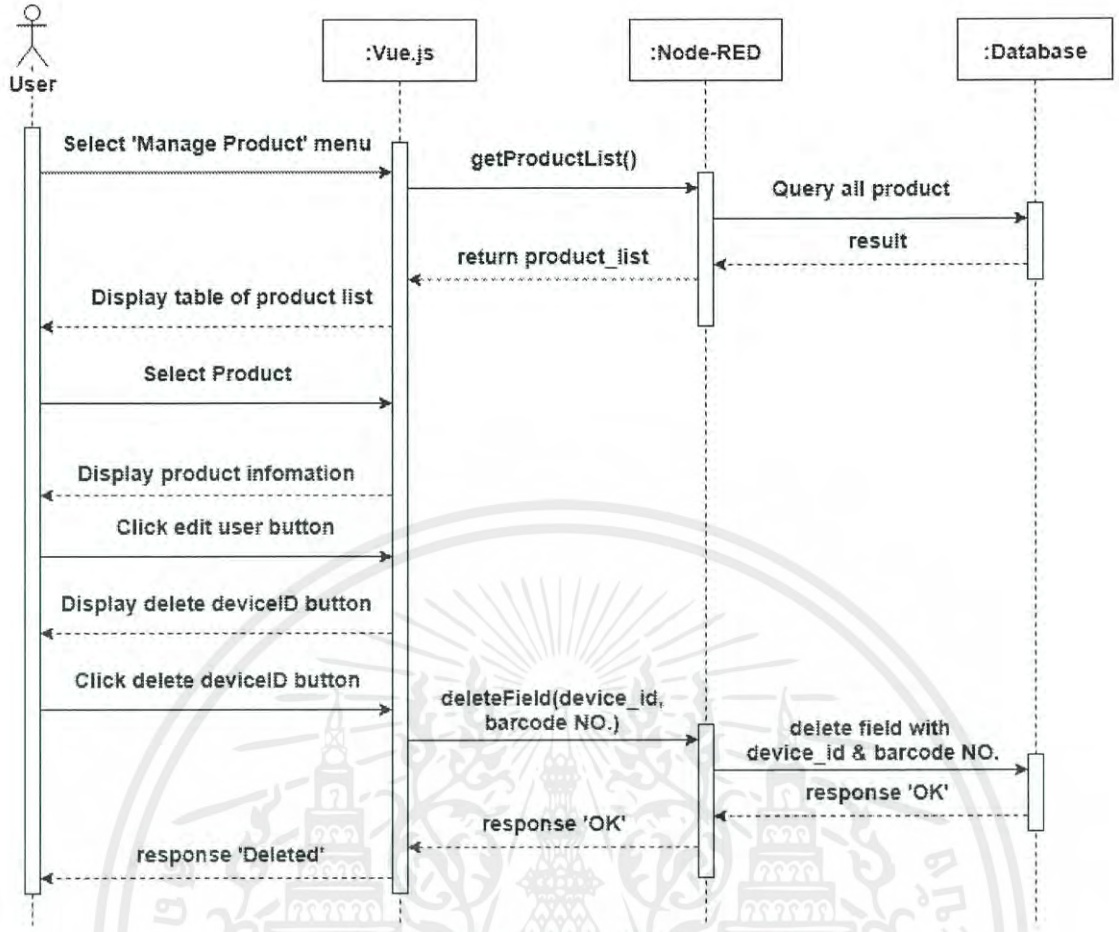
รูป 3.13การลบข้อมูลสินค้าในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.14 การผูกสินค้าเข้ากับ E-Paper

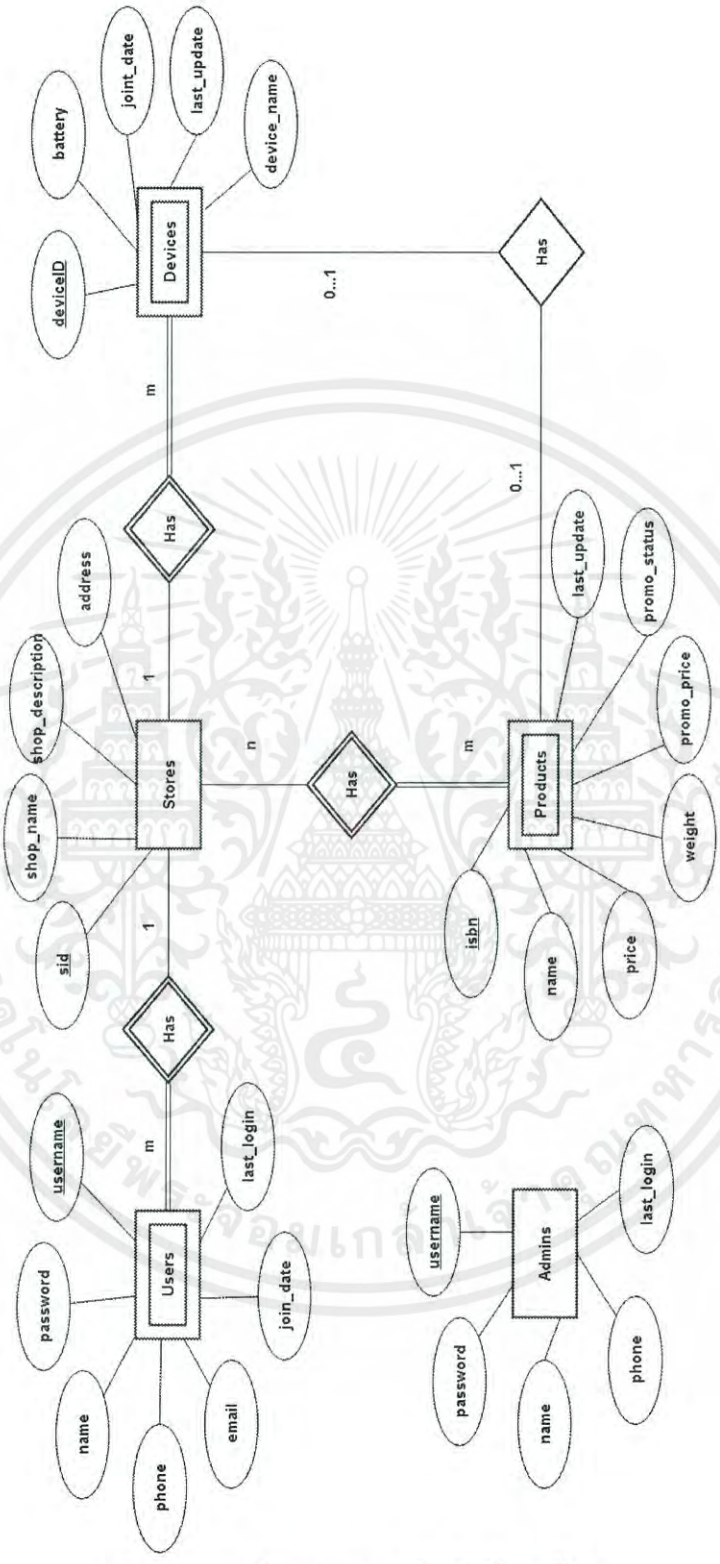
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 ยกเลิกการผูกสินค้ากับ E-Paper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

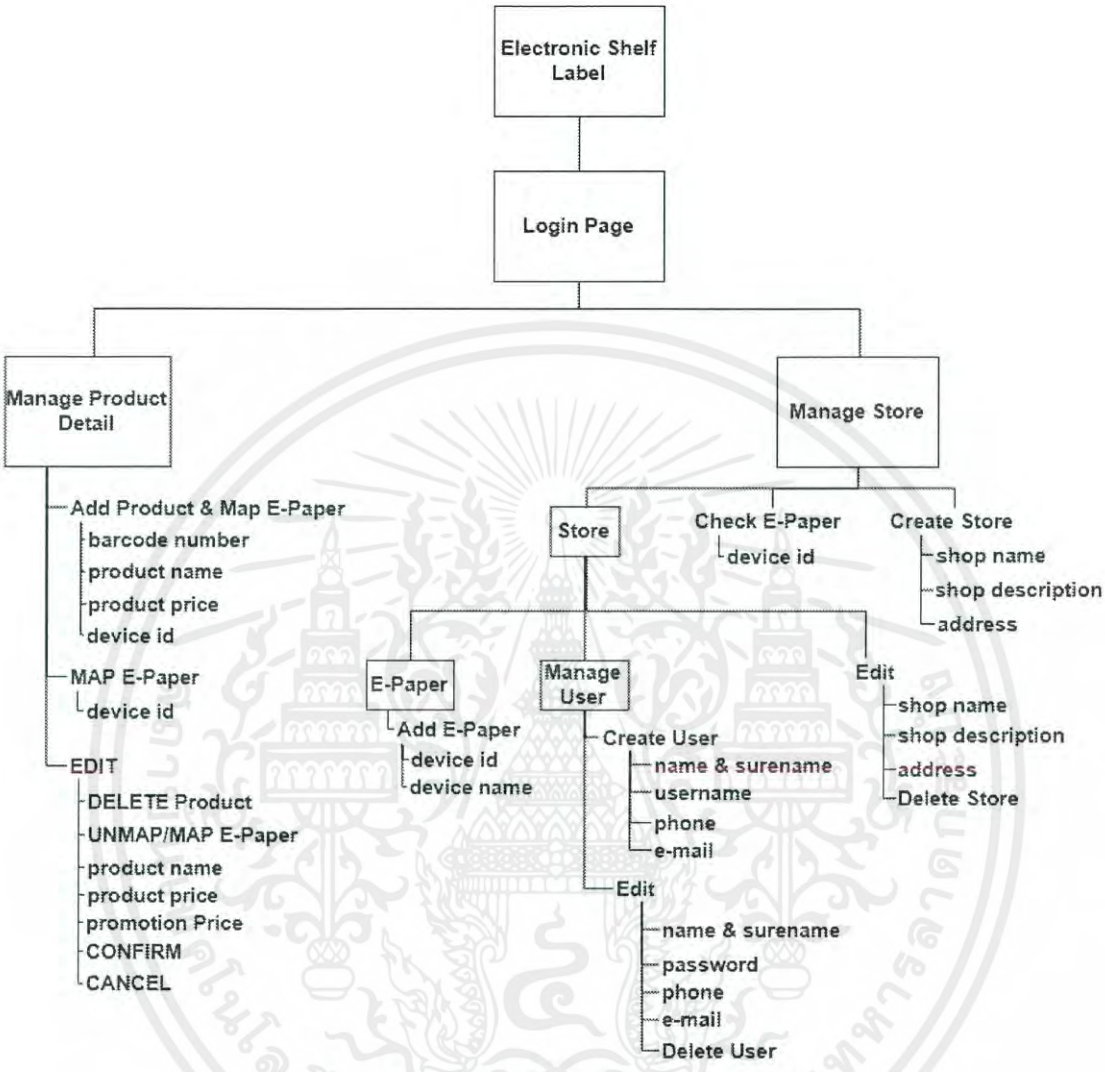
3.7 ER Diagram



รูป 3.16 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 Web Application Sitemap



รูป 3.17 แผนผังการใช้งาน Web Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง

ในการทดลองระบบป้ายแสดงสินค้าแบบทันเวลา ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) การตั้งค่าการใช้งาน
   - การตั้งค่าการใช้งาน pin ของ E-Paper Display
   - การตั้งค่า Microcontroller(B-L072Z-LRWAN1)
   - การลงทะเบียน End-Device เพื่อใช้งาน LoRaWAN
   - การตั้งค่าสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่าง Node-RED และ SPN
2) การทดสอบการทำงานของระบบ
   - ทดสอบใช้งาน Web Application
   - ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง Node-RED และ SPN
   - ทดสอบการแสดงผลข้อมูลของ End-Device

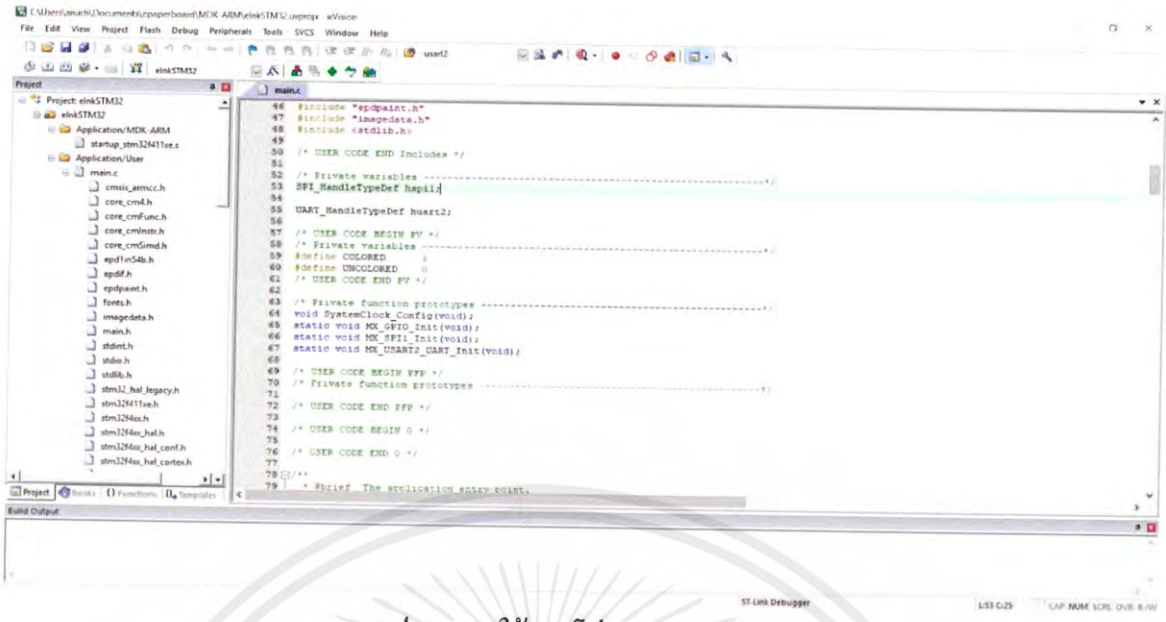
4.1 การตั้งค่าการใช้งาน

การตั้งค่าจะใช้งาน End-Device เพียง 1 ชุด ซึ่งจะมีการตั้งค่าตั้งแต่ ฝั่ง End-Device จนถึง Network Server

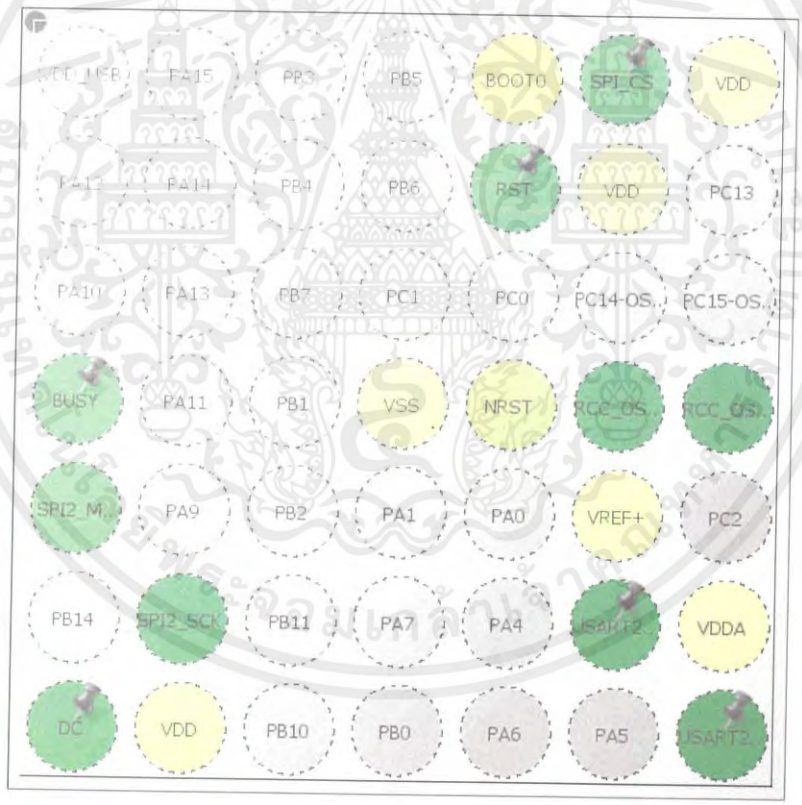
4.1.1 การตั้งค่าการใช้งาน pin ของ E-Paper Display

ทำการแก้ไข Code บนโปรแกรม Keil ดังรูปที่ 4.1 และแก้ไขขาเชื่อมต่อต่างๆ บน STM32CubeMX ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.1 การใช้งานโปรแกรม Keil



STM32L072CZYx
WLCSP49 (Top view)

รูป 4.2 การตั้งค่าขาในโปรแกรม STM32CubeMX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

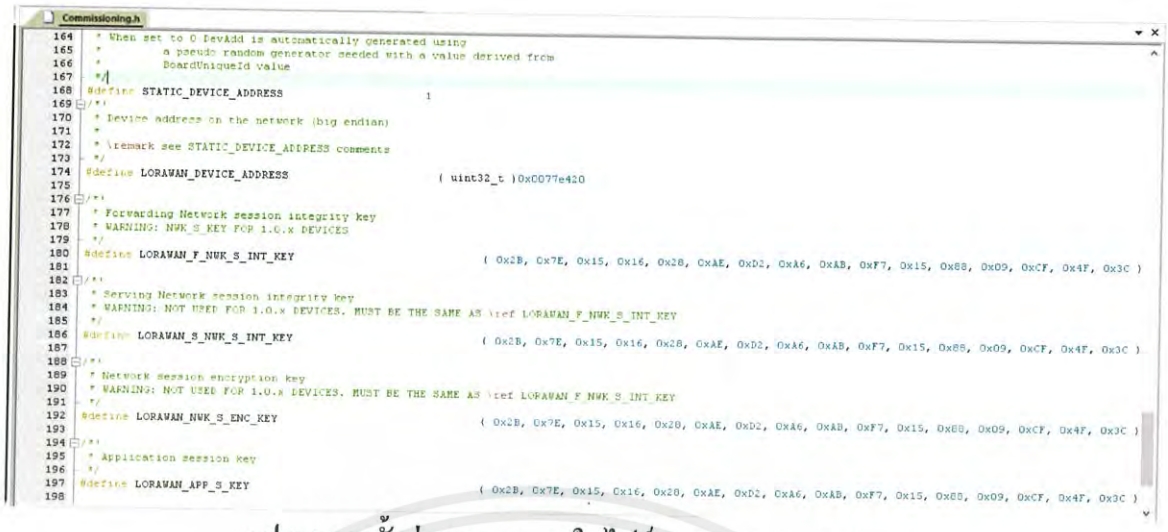
4.1.2 การตั้งค่า Microcontroller(B-L072Z-LRWAN1)

จะมีการตั้งสำหรับการใช้งาน LoRaWAN โดยจะทำการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 ในไฟล์ Commissioning.h ของ Project LoRaWAN ดังรูปที่ 4.3

ตาราง 4.1 การตั้งค่าสำหรับการใช้งาน LoRaWAN

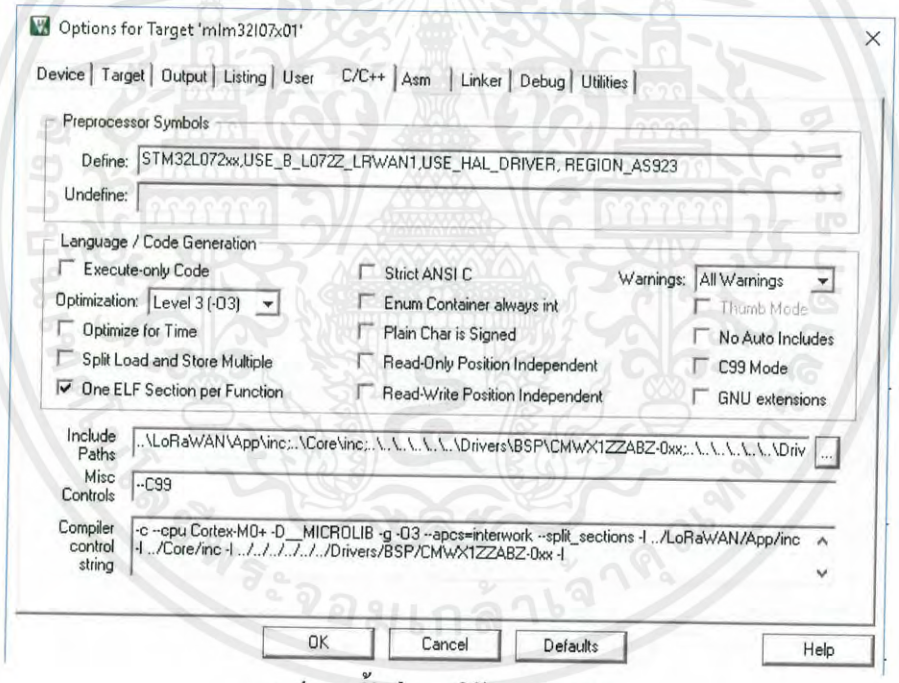
Parameter	Value
OVER_THE_AIR_ACTIVATION	0
STATIC_DEVICE_EUI	0
STATIC_DEVICE_ADDRESS	1
LORAWAN_DEVICE_ADDRESS	(uint32_t)0x0077e420
LORAWAN_F_NWK_S_INT_KEY (Network Session Key ใช้สำหรับ MAC v1.1)	{0x2B, 0x7E, 0x15, 0x16, 0x28, 0xAE, 0xD2, 0xA6, 0xAB, 0xF7, 0x15, 0x88, 0x09, 0xCF, 0x4F, 0x3C}
LORAWAN_S_NWK_S_INT_KEY (Network Session Key ใช้สำหรับ MAC v1.1)	{0x2B, 0x7E, 0x15, 0x16, 0x28, 0xAE, 0xD2, 0xA6, 0xAB, 0xF7, 0x15, 0x88, 0x09, 0xCF, 0x4F, 0x3C}
LORAWAN_NWK_S_ENC_KEY (Network Session Key ใช้สำหรับ MAC v1.1)	{0x2B, 0x7E, 0x15, 0x16, 0x28, 0xAE, 0xD2, 0xA6, 0xAB, 0xF7, 0x15, 0x88, 0x09, 0xCF, 0x4F, 0x3C}
LORAWAN_APP_S_KEY (Application Session Key)	{0x2B, 0x7E, 0x15, 0x16, 0x28, 0xAE, 0xD2, 0xA6, 0xAB, 0xF7, 0x15, 0x88, 0x09, 0xCF, 0x4F, 0x3C}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.3 การตั้งค่า Parameter ในไฟล์ Commissioning.h

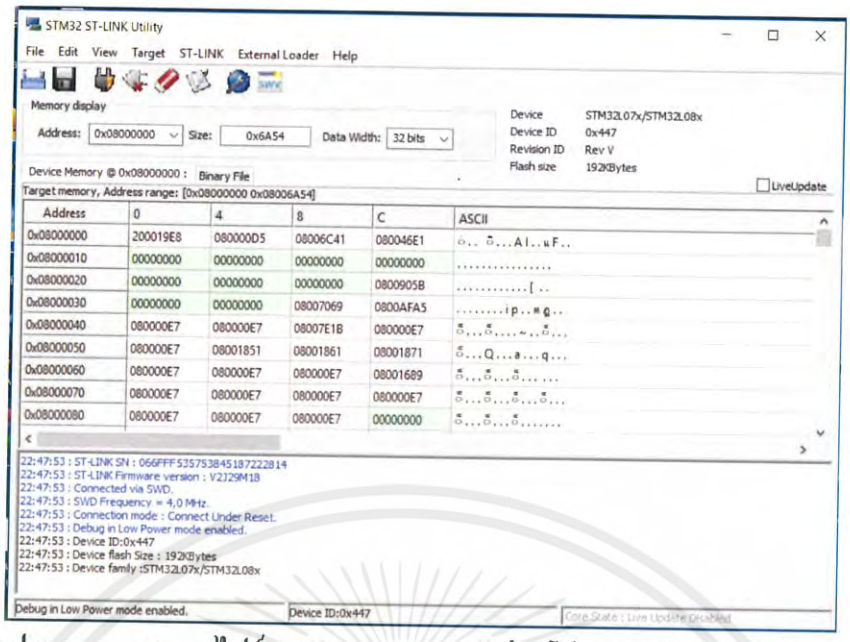
ตั้งค่า define ของ project ก่อนทำการ compile โดยใช้ REGION_AS923 ดังรูปที่ 4.4



รูป 4.4 ตั้งค่าการใช้งาน AS923

Upload ข้อมูลไฟล์นามสกุล .hex ที่ได้จากการ compile ลงบน microcontroller ผ่านโปรแกรม ST-Link Utility ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.5 การ upload ไฟล์ลง microcontroller ผ่านโปรแกรม ST-Link Utility

4.1.3 การลงทะเบียน End-Device เพื่อใช้งาน LoRaWAN

ทำการลงทะเบียน End-Device กับ Network Server(SPN) ดังรูปที่ 4.6 เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายได้ โดยการกรอกข้อมูล DevAdd, NwkSKey, AppSKey และตั้งค่า Class A ให้ตรงกับตัว End-Device ดังตารางที่ 4.2

รูป 4.6 การลงทะเบียนให้ End-Device สามารถสื่อสารกับ LoRaWAN นี้ได้

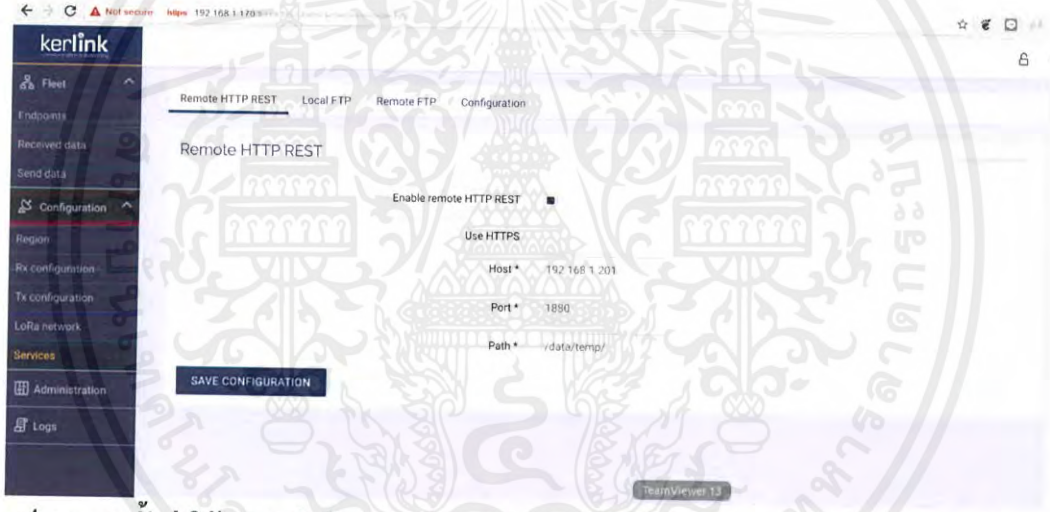
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สำหรับการลงทะเบียน

Parameter	Value
Class	A
Type	ABP
Device address	0077E420
Network session key	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3C
Application session key	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3C

4.1.4 การตั้งค่าสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่าง Node-RED และ SPN

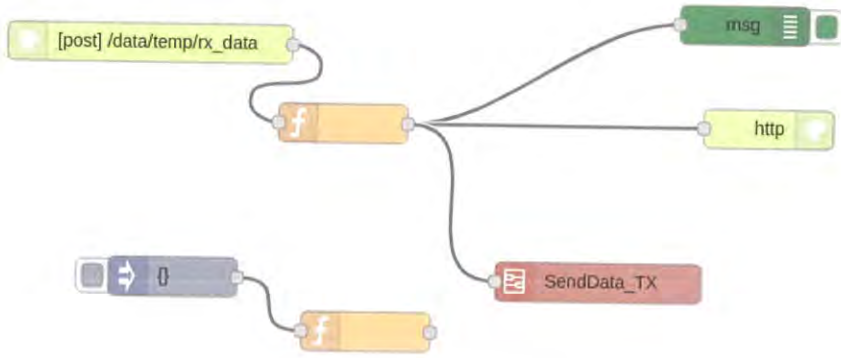
เปิดระบบ remote HTTP REST ของ SPN เพื่อทำการ forward packet ไปยัง Node-RED โดยใส่ค่า config ไปยัง Node-RED ดังรูปที่ 4.7



รูป 4.7 การตั้งค่าให้ SPN ส่งข้อมูลของ End-Device ต่อไปยัง Node-RED ผ่าน HTTP REST

ทางด้าน Node-RED เปิดรับ HTTP Request เพื่อรับข้อมูลที่ส่งมาจาก SPN ผ่าน Post Method ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8 เชื่อมต่อ Node ให้สามารถรับข้อมูลจาก SPN ได้ และนำมาประมวลผลต่อ

สร้าง Node ให้ใช้ HTTP Request ไปยัง SPN เพื่อทำการขอส่งข้อมูลไปยัง Queue ของ Gateway เพื่อทำการส่งไปยัง End-Device ดังรูปที่ 4.9

รูป 4.9 Function Node ที่ใช้ในการประมวลผลการส่งข้อมูลกลับไปยัง SPN

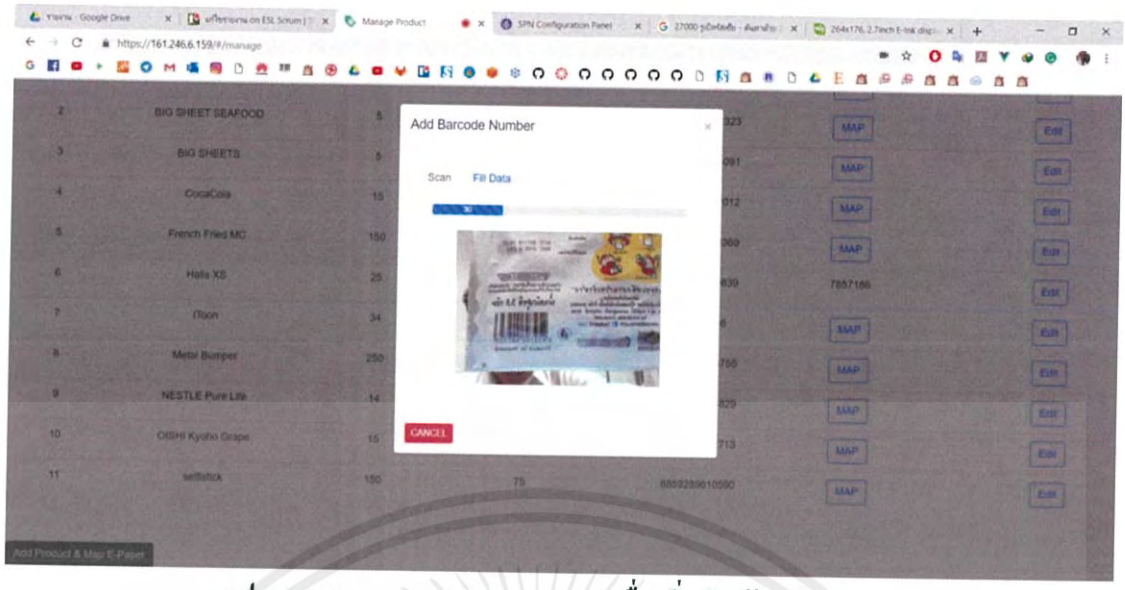
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานจะเริ่มจาก การใช้งาน Web Application ไปจนถึงการแสดงผลของ End-Device ทั้งที่รับข้อมูลมาจาก Application Server และข้อมูลที่อยู่ภายใน Microcontroller

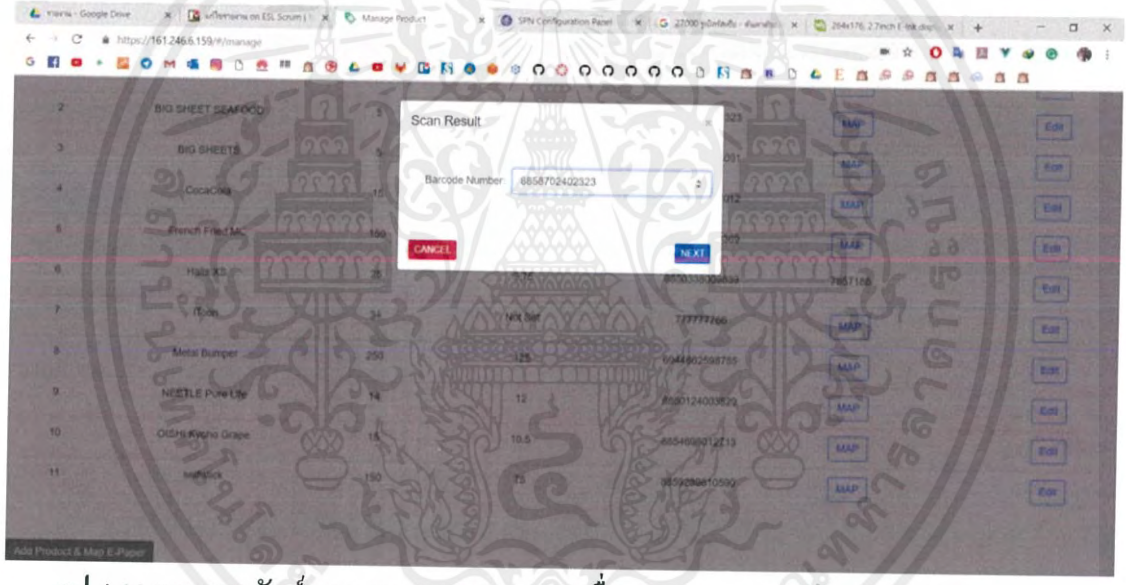
4.2.1 ทดสอบใช้งาน Web Application

ทดลองสร้าง Web Application ด้วย Vue.js และทดสอบโดยการใช้งาน API(RESTful API) ที่สร้างจาก Node-RED โดยทำการทดสอบ API ในขั้นตอนของการสแกน Barcode เพื่อเพิ่มสินค้าลงในระบบ ดังรูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11 และหากมีสินค้าชิ้นนั้นในระบบอยู่แล้ว จะเป็นการแสดงหน้าสำหรับการแก้ไขข้อมูล ดังรูปที่ 4.12 หากไม่มีจะเป็นการเพิ่มสินค้าใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

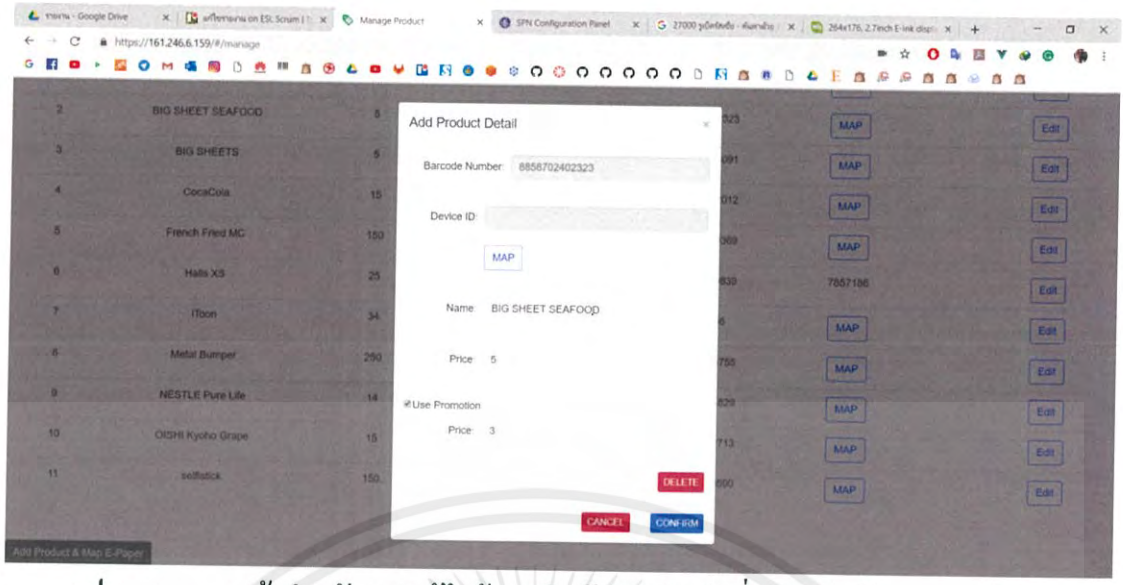


รูป 4.10 แสดงการสแกน Barcode เพื่อเพิ่มสินค้าลงในระบบ



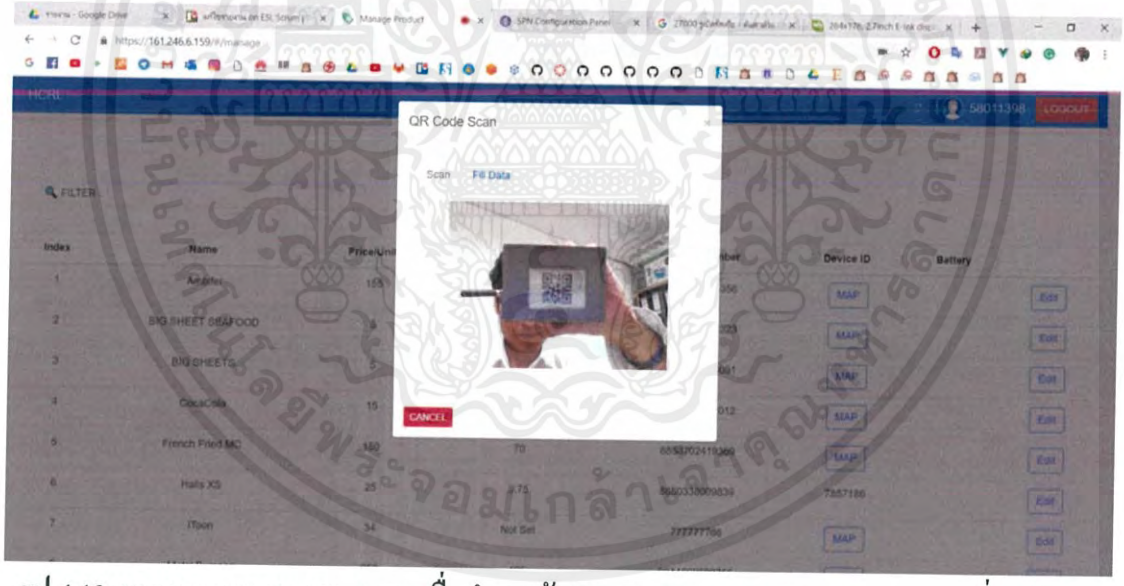
รูป 4.11 แสดงผลลัพธ์จากการสแกน Barcode เพื่อตรวจสอบและแก้ไข Barcode Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



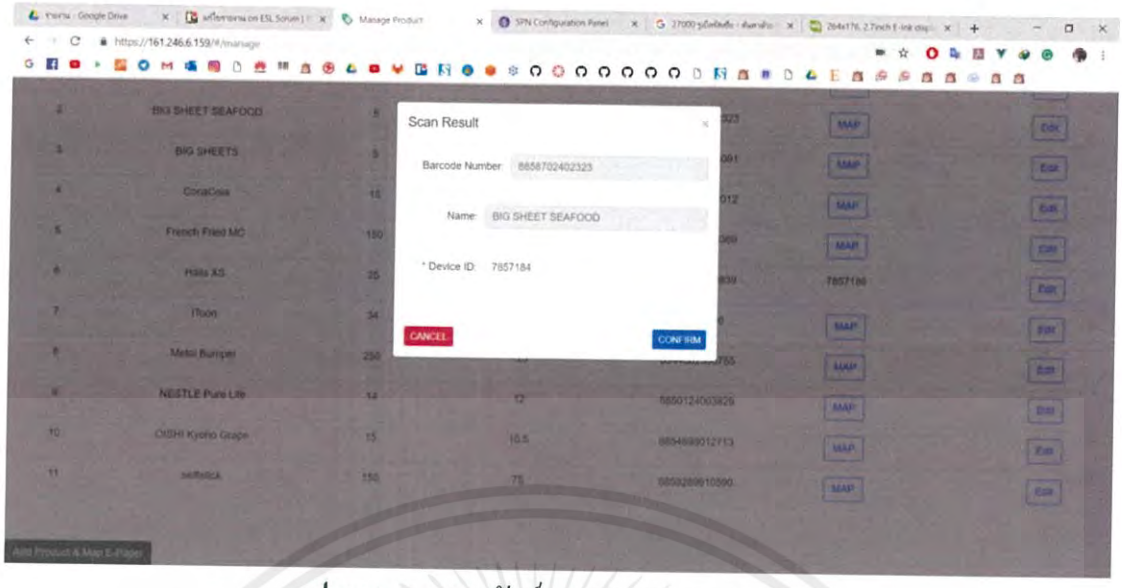
รูป 4.12 แสดงหน้าสำหรับการแก้ไขข้อมูลสินค้า หากสินค้าที่สแกนมีอยู่ในระบบอยู่แล้ว

API สำหรับการผูกสินค้าเข้ากับ E-Paper Display ด้วยวิธีการสแกน QR Code ดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.15

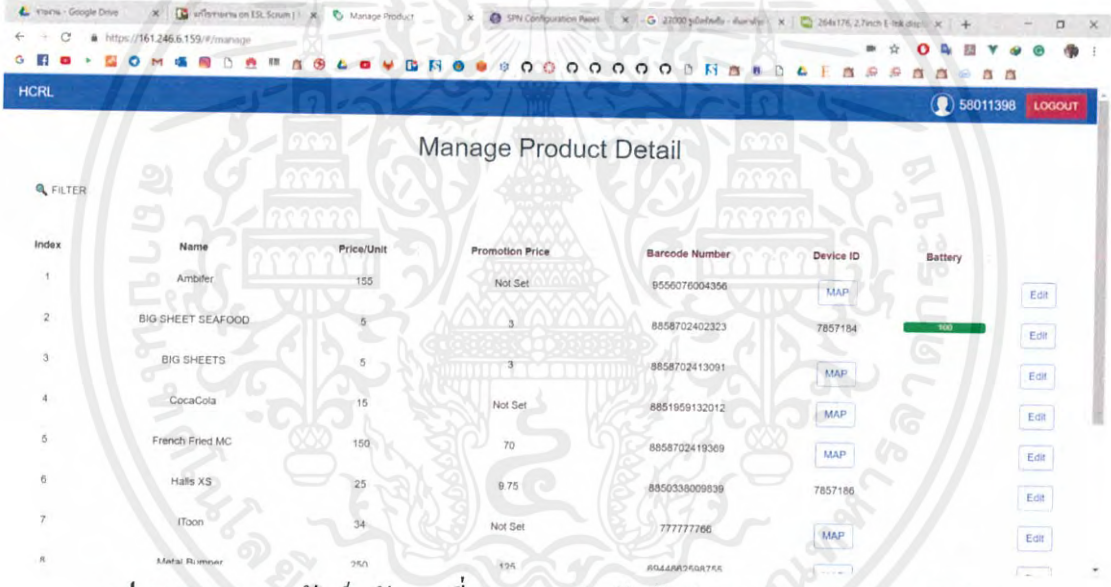


รูป 4.13 แสดงการสแกน QR Code เพื่อทำการค้นหาหมายเลขของ E-Paper Display ที่จะทำการผูกเข้ากับสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.14 แสดงผลลัพธ์จากการสแกน QR Code



รูป 4.15 แสดงผลลัพธ์หลังจากที่ทำการผูกสินค้าเข้ากับ E-Paper Display สำเร็จ

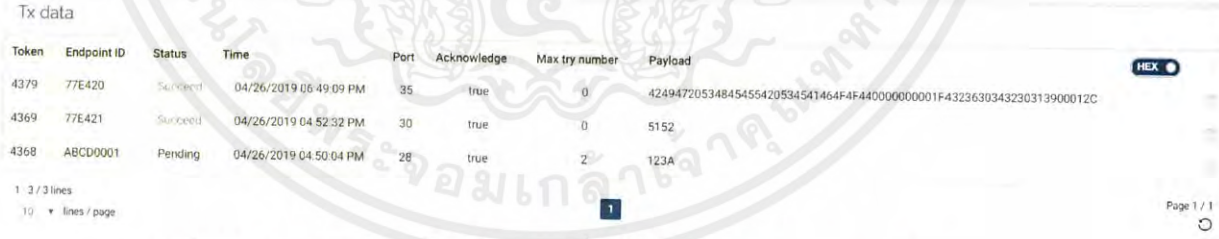
4.2.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง Node-RED และ SPN

การทดสอบการรับข้อมูลจาก SPN ผ่าน REMOTE HTTP REST และนำมาแสดงผลใน Node-RED ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.16 ค่าที่อ่านได้จากการส่งต่อข้อมูลของ SPN มายัง Node-RED

หลังจากที่ Node-RED ได้รับข้อมูลจาก SPN แล้วก็จะทำการเรียกใช้งาน HTTP Request เพื่อส่งข้อมูล product กลับไป เมื่อ End-Device ส่งข้อมูลมาในรอบถัดไป และใน Queue ของ SPN จะพบข้อมูลที่จะส่งกลับไปหา End-Device ดังรูปที่ 4.17



รูป 4.17 ตาราง Queue ในหน้า SPN ที่ได้รับข้อมูลมาจาก Node-RED

4.2.3 ทดสอบการแสดงผลข้อมูลของ End-Device

เมื่อทำการเชื่อมต่อ Microcontroller ด้วย Tera Term ผ่านทาง Serial Port หลังจากที่มีการตั้งค่าการใช้งาน LoRaWAN แล้ว จะได้รับข้อมูล log การเชื่อมต่อ Network Server ของตัว End-Device ดังรูปที่ 4.18 และเมื่อรับข้อมูลจาก Gateway ก็จะแสดงผลข้อมูลดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LoRa Start...
VERSION: 44211200
ABP
DevEui= 34-31-37-32-57-36-85-0D
DevAdd=  0077E420
NwkSKey= 2B 7E 15 16 28 AE D2 A6 AB F7 15 88 09 CF 4F 3C
AppSKey= 2B 7E 15 16 28 AE D2 A6 AB F7 15 88 09 CF 4F 3C
```

รูป 4.18 ข้อมูลต่าง ๆ ของ Device ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับ LoRaWAN

```
29s872: PHY txDone
31s183: PHY rxDone
PACKET RECEIVED ON PORT 35
Name : BIG SHEET SEAFOOD
Price : 5.000000
Date : 28/03/2019
Promotion : 3.000000
E-paper Initializing...
Initial success
Goto Sleep mode...
```

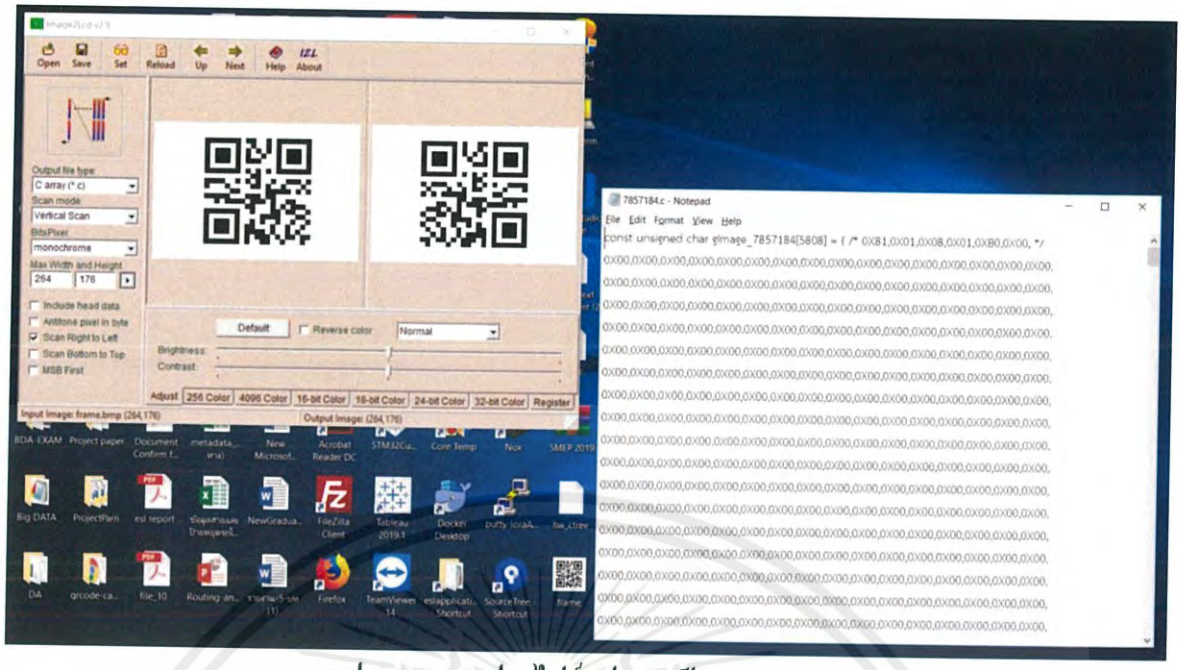
รูป 4.19 ข้อมูลการรับส่งข้อมูลของ End-Device ที่อ่านได้จาก Tera Term

เมื่อ microcontroller ได้รับข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Gateway และทำการประมวลผลเป็นไปตามเงื่อนไขของการแสดงผลข้อมูลสินค้า ก็จะนำข้อมูลนั้นไปแสดงผลบน E-Paper Display ดังรูปที่ 4.20 ฝั่งขวา

รูป 4.20 ภาพที่ได้จากการนำข้อมูลจาก LoRaWAN มาแสดงผลบน E-Paper Display

ในการแสดงผลข้อมูลบน E-Paper Display ในกรณีของการแสดงผลไฟล์ bitmap จะต้องมีการแปลงไฟล์ให้กลายเป็น array of char โดยใช้โปรแกรม Image2LCD จากนั้นนำข้อมูลอาเรย์ที่ได้ ดังรูปที่ 4.21 ไปใช้งานใน code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.21 การแปลงไฟล์รูปภาพเป็น array

หลังจากที่มีการนำข้อมูลอาเรย์ของรูปภาพ upload ลงบน microcontroller ที่เชื่อมต่อกับ E-Paper Display แล้วก็จะสามารถแสดงผลตามข้อมูลที่ใส่ลงไปได้ ดังรูปที่ 4.22

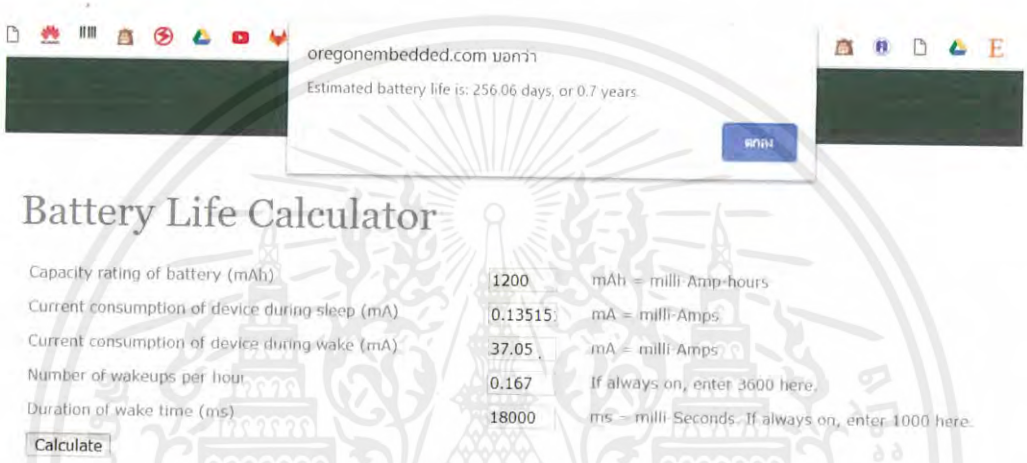
รูป 4.22 นำ QR Code มาแสดงบนจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน LoRaWAN

4.3.1 การใช้พลังงานเบื้องต้น

จากการคำนวณการใช้พลังงานเบื้องต้นบนเว็บไซต์ดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากไม่สามารถทำการวัดค่าการใช้พลังงานของ Microcontroller เองได้ เพราะบอร์ดที่ใช้งานไม่มีขาสำหรับใช้ในการวัดพลังงาน จึงต้องนำข้อมูลที่หาได้เบื้องต้นของบอร์ดและจากทฤษฎีมาใช้ในการคำนวณ โดยจะใช้ ข้อมูลการ Sleep ของบอร์ดจากที่มีผู้ใช้งานอื่นๆได้ทำการวัดมาจะมีค่าอยู่ที่ 0.13 mA และนำมาเทียบกับข้อมูล Sleep ตามทฤษฎีมีค่าอยู่ที่ 0.29uA ดังตารางที่ 4.3



รูป 4.23 เว็บไซต์สำหรับคำนวณอายุการใช้งานแบตเตอรี่[17]

ตาราง 4.3 ข้อมูลสำหรับคำนวณการใช้พลังงานเบื้องต้น

B-L072Z-LRWAN1	Sleep	0.13 mA หรือ 0.29uA
	Wakeup + Send data	6.05 mA + 23 mA
E-Paper Display 2.7inch(b)	Sleep	0.005151 mA
	Wakeup	8 mA
Duty Cycle	6 Hours	

จากการคำนวณผลปรากฏว่า

1) จากการนำข้อมูลที่ผู้อื่นได้วัดมา อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 256.06 วัน หรือประมาณ 0.7 ปี
2) จากการนำข้อมูลตามทฤษฎีมาใช้ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 1168.44 วันหรือประมาณ 3.2 ปี

[17] https://oregonembedded.com/batterycalc.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย

ในการคำนวณหาระยะเวลา จะใช้ความแตกต่างของเวลาระหว่าง Frame ข้อมูลที่ได้รับและไม่ได้รับข้อมูลสินค้า โดยเริ่มวัดเวลาหลังจากการส่ง Tx Windows และหลังได้รับ Rx Windows ดังสมการที่ 4.1

$$Time\ On\ Air = \left(T_{Rxdone_i} - T_{Txdone_i}\right) - \left(T_{Rxtimeout_j} - T_{Txdone_j}\right) \quad (4.1)$$

T_{Rxdone_i} = เวลาที่ได้รับข้อมูลสินค้า ณ Frame i

T_{Txdone_i} = เวลาหลังจากการส่งข้อมูล ณ Frame i

$T_{Rxtimeout_j}$ = เวลาที่ไม่ได้รับข้อมูลสินค้า ณ Frame j

T_{Txdone_j} = เวลาหลังจากการส่งข้อมูล ณ Frame j

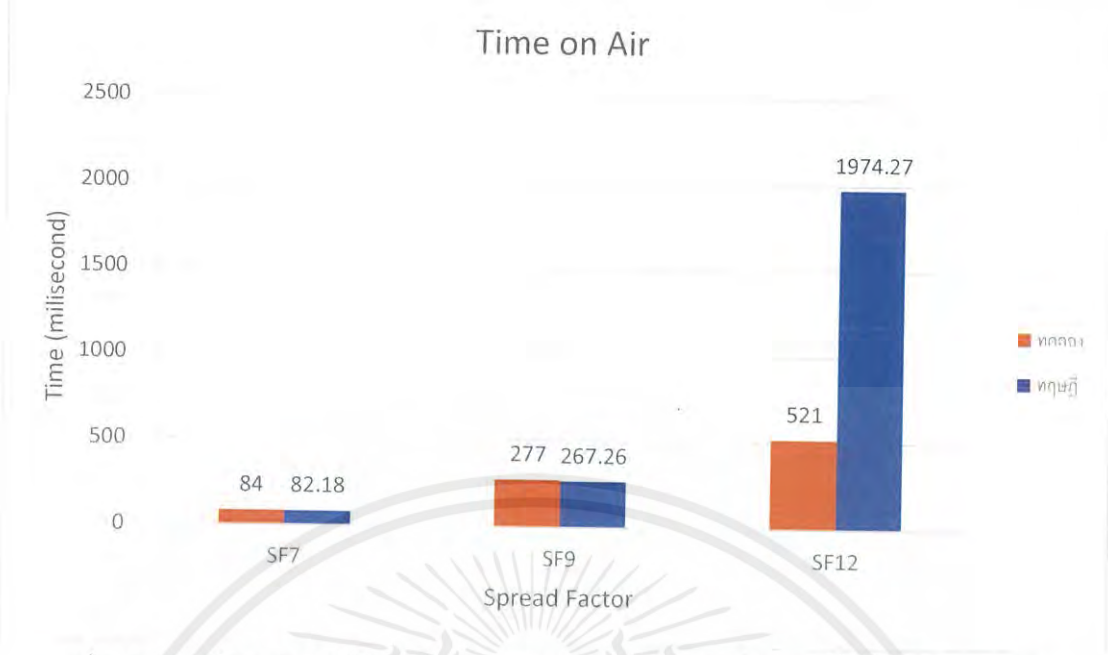
โดยตัวอย่างข้อมูลที่จะใช้คำนวณสามารถดูได้จากรูปที่ 4.23 ซึ่งการวิเคราะห์จากข้อมูลที่วัดได้จริงทั้งหมดจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คำนวณตามทฤษฎีของ LoRaWAN

```
29s681: Sending...
29s755: PHY txDone
30s770: PHY rxTimeOut
31s817: PHY rxTimeOut
59s682: Sending...
59s756: PHY txDone
60s855: PHY rxDone
60s861: PACKET RECEIVED ON PORT 34
```

รูป 4.24 เวลาของการรับส่งข้อมูลที่ Spread Factor 7 และ Payload size 37

ซึ่งผลจากการคำนวณจะแสดงดังรูปที่ 4.24 โดยจะใช้ข้อมูลที่ Payload size เท่ากับ 37 และปรับเปลี่ยน Spread Factor เป็น 7, 9 และ 12 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Time on Air ตามทฤษฎีและค่าที่ได้จากการทดลอง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีความใกล้เคียงกับทฤษฎี ยกเว้นระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลของ Spread Factor 12 มีการใช้ Time on Air น้อยกว่า อาจเป็นเพราะว่า ในการส่งข้อมูล Downlink นั้นไม่ได้ใช้ Spread Factor ตัวเดียวกับข้อมูล Uplink เนื่องจากข้อมูล Downlink ที่ได้รับมาจาก Rx Windows 2 ซึ่งมีค่า default อยู่ที่ Spread Factor 10

4.3.3 อัตราการส่งข้อมูล

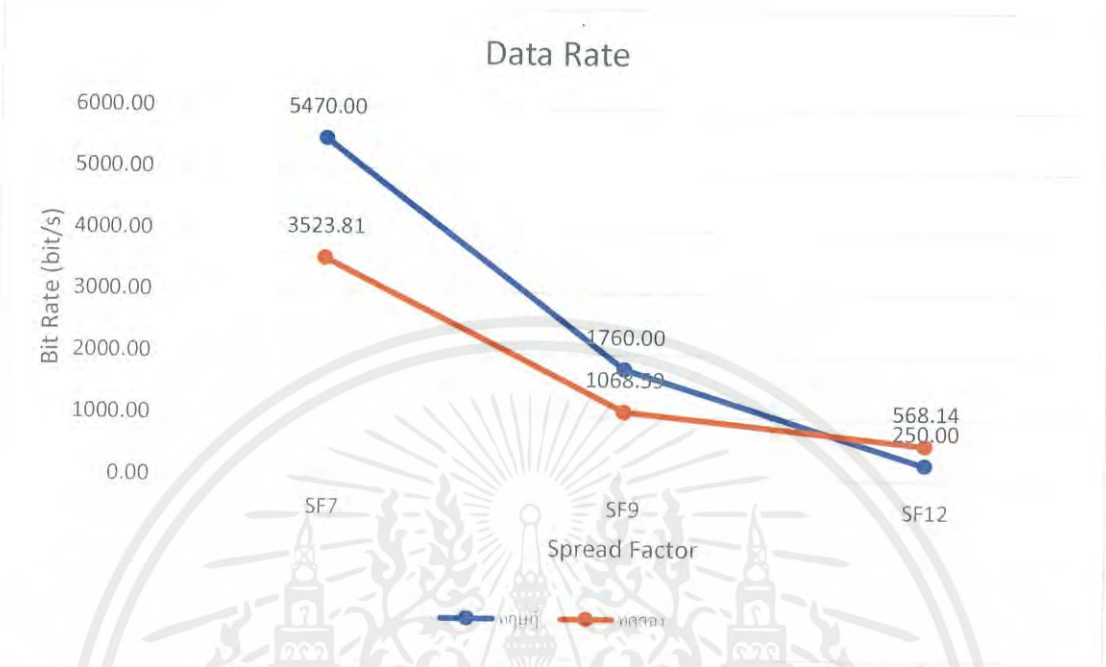
ในการคำนวณหาอัตราการส่งข้อมูล(Data Rate) จะใช้ข้อมูล Time on Air และ Payload size จากหัวข้อที่ 4.3.1 มาคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการส่งข้อมูลตามทฤษฎีของ LoRaWAN ดังตารางที่ 4.4

ตาราง 4.4 ตารางแสดงอัตราการส่งข้อมูลในคลื่นความถี่ย่าน AS923

Data Rate	Spread Factor	Bit Rate (bit/s)
0	12	250
1	11	440
2	10	980
3	9	1760
4	8	3125
5	7	5470

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะแสดงผลการคำนวณ Data Rate ของข้อมูลที่วัดได้จริงเปรียบเทียบกับ Data Rate ตามทฤษฎีของ SF7, SF9 และ SF12 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.25



รูป 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลที่วัดได้

จากที่มีการใช้ Spread Factor 10 ในการส่งข้อมูล Downlink กลับมา ส่งผลให้ Data Rate ที่คำนวณได้ไม่สอดคล้องกับ Spread Factor 12

4.4 วิเคราะห์ต้นทุนในการใช้งานอุปกรณ์

ในการใช้งานป้ายแสดงราคาสินค้าแบบอัตโนมัติ 1 ชุด จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับใช้ประมวลผล ที่สามารถประมวลผลข้อมูลและรับส่งสัญญาณในย่าน LoRa ได้ และจะต้องมีอุปกรณ์ในการแสดงข้อมูลสินค้าซึ่งผู้จัดทำได้เลือกใช้งานจอแสดงผล E-Paper 3 สี ขนาด 2.7 นิ้ว โดยจะมีราคาดังนี้

- CMWX1ZZABZ-091 LoRa® module (Murata) ราคา 214 บาท
- 2.7inch e-Paper Module (B) ราคา 660 บาท

เมื่อคิดราคารวมกันจะเท่ากับ 874 บาท ซึ่งมีราคาที่สูงกว่ายี่ห้อ Suny ของจีนที่ได้ทำระบบ Electronic Shelf Label ขนาดหน้าจอ 2.13 นิ้ว ราคา 302 บาท โดยมีขนาดหน้าจอใกล้เคียงกับที่ผู้จัดทำได้ออกแบบมามากที่สุด สาเหตุที่ยี่ห้อ Suny มีราคาถูกกว่าอาจเป็นเพราะได้มีการจัดทำแต่ละชิ้นส่วนเอง และผลิตออกมาเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้มีราคาถูกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ระบบของโครงงานได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

5.1.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูล (Node-RED และ Vue.js)

1) สามารถรับข้อมูลอุปกรณ์ที่ถูกส่งมาจาก Kerlink SPN ได้

2) สามารถนำข้อมูล Battery ที่ได้จากอุปกรณ์ไปเก็บลงฐานข้อมูลได้

3) สามารถนำข้อมูลสินค้าที่อยู่ในฐานข้อมูลส่งกลับไปยัง Kerlink SPN ได้

4) สามารถติดต่อกับส่วนติดต่อผู้ใช้งานเพื่อที่จะแก้ไขข้อมูลสินค้าในฐานข้อมูลสำหรับแสดงผลบน E-Paper Display ได้

5) ผู้ใช้งานทั้งที่เป็น User ร้านค้าและ Store Admin สามารถใช้งานกล้องในการสแกน QR Code ของ E-Paper ในส่วนของ Admin เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ภายใน E-Paper และในส่วนของ User เพื่อการผูก E-Paper เข้ากับสินค้า หรือการสแกนเพื่อเก็บข้อมูลสินค้าผ่าน Barcode เพียงอย่างเดียว

6) User ของร้านค้าสามารถจัดการข้อมูลสินค้า เช่น การเพิ่มข้อมูลสินค้า การแก้ไขและการลบข้อมูลสินค้า หรือแม้แต่การยกเลิกการผูกของสินค้ากับ E-Paper

7) Store Admin สามารถที่จะจัดการข้อมูลของ User ในระบบ เช่น การสมัคร user ใหม่ การแก้ไขข้อมูล และการลบผู้ใช้งาน รวมถึงการแก้ไขข้อมูลร้านค้า เพิ่ม E-Paper ให้ร้านค้าได้

5.1.2 ส่วนการรับส่งข้อมูลทางเครือข่าย (iFemtoCell และ Kerlink SPN)

1) สามารถรับข้อมูลของอุปกรณ์ที่ส่งมาด้วย LoRa RF ได้

2) สามารถลงทะเบียนอุปกรณ์ให้สามารถสื่อสารผ่าน LoRaWAN นี้ได้

3) สามารถส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ให้กับส่วนจัดการข้อมูลได้

4) สามารถรับข้อมูลที่จะส่งต่อให้อุปกรณ์จากส่วนการจัดการข้อมูลได้

5) สามารถส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ผ่าน LoRa RF ได้

5.1.3 ส่วนประมวลและแสดงผล (E-Paper Display และ B-L072Z-LRWAN1)

1) สามารถแสดงรูป QR Code บน E-Paper Display ที่มีข้อมูลหมายเลขอุปกรณ์ได้

2) สามารถนำข้อมูลสินค้าจากเครือข่าย LoRa มาแสดงผลบน E-Paper Display ได้

3) สามารถนำข้อมูล Battery ของ B-L072Z-LRWAN1 ส่งไปทางเครือข่าย LoRa ได้

4) B-L072Z-LRWAN1 สามารถตั้งเวลารับส่งข้อมูลตามรอบที่กำหนดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูล (Node-RED และ Vue.js)

1) ต้องทำ self-sign certificate สำหรับเปิดใช้งานกล้องถ่ายรูปบน browser ผ่าน HTTPS ที่เป็นเครือข่ายส่วนตัว

2) ประสิทธิภาพการอ่าน Barcode ขึ้นอยู่กับความละเอียดของกล้องที่ใช้, ความคมชัดของตัว Barcode และการพัฒนาเป็น Web Application จึงไม่สามารถดึงประสิทธิภาพสูงสุดของกล้องออกมาใช้งานได้

5.2.2 ส่วนการรับส่งข้อมูลทางเครือข่าย (iFemtoCell และ Kerlink SPN)

1) ปริมาณข้อมูลของ payload ในการส่งข้อมูลแต่ละครั้งสามารถส่งได้ในขนาดสูงสุดที่จำกัดอยู่ที่ 222 byte

2) ไม่สามารถจัดการ downlink queue ผ่าน Application layer ของ SPN ได้

5.2.3 ส่วนประมวลและแสดงผล (E-Paper Display และ B-L072Z-LRWAN1)

1) การใช้งานแสดงผลตัวอักษรยังมีข้อจำกัดในเรื่องของภาษาที่ใช้งาน เนื่องจากการส่งข้อมูลภาษาไทยในเครือข่ายต้องใช้ปริมาณ payload สูง จึงยังคงใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสาร

2) ในการที่จะเปลี่ยนข้อมูลหน้าจอ E-Paper Display รุ่น 2.7inch e-Paper Module(B) แต่ละครั้งจำเป็นต้องมีการ refresh หน้าแสดงผลใหม่ทั้งหน้าไม่สามารถเปลี่ยนข้อมูลเฉพาะจุดได้

3) เนื่องจากการแสดงผลหน้าจอ 3 สี จึงต้องแยกแสดงผลสีดำและสีแดง ส่งผลให้ต้องมีชุดข้อมูล Array หน้าจอ 2 ชุด ทำให้ต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำของ Microcontroller เพิ่มขึ้น

4) ไม่สามารถแสดงผลรูปภาพที่มีลักษณะเป็น Gray Scale ได้

5) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ของ B-L072Z-LRWAN1 มีความจุขนาดเล็ก จึงจำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลรูปภาพไว้ใน EEPROM

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

5.3.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการจัดการข้อมูล (Node-RED และ Vue.js)

1) บีบอัดหรือเข้ารหัสข้อมูลที่ใช้ส่ง เพื่อลดขนาดและเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล

2) พัฒนาเป็น Mobile Application เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน

5.3.2 ส่วนประมวลและแสดงผล (E-Paper Display และ B-L072Z-LRWAN1)

1) ทดลองใช้งานการแสดงผลภาษาไทย

2) พัฒนาตัว Microcontroller ให้เหลือเฉพาะส่วนที่ใช้งานจริงๆ

3) พัฒนาในระดับ City Scale เช่น ตารางบอกรอบรถ, ป้ายโฆษณาต่างๆ หรือป้ายจราจร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

The LoRa Alliance.October 2017. **LoRaWAN Specification, V1.1**

Nzomo, D. K. 2017. "A Prototype for real-time price and advertisement display on shelves in retail stores." Thesis, Strathmore University.

Bouguera T. 2018. **Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN.** [Online].Available : https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6068831.

Waveshare. **2.7inch e-Paper HAT (B).** [Online].Available : https://www.waveshare.com/wiki/2.7inch_e-Paper_HAT_(B).

Kritsada Arjchariyaphat. 2561. **LoRA, LoRaWAN คืออะไร มารู้จักกันดีกว่า.** [Online].Available : https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca.

E Ink. **Electronic Ink.** [Online].Available : https://www.eink.com/electronic-ink.html.

.2560. **ความถี่ 920-925 MHz ถูกประกาศให้ใช้ได้แล้ว.** [Online].Available : http://flyingmorning.com/th/articles/105008-การใช้คลื่นความถี่-920-925mhz-ความถี่-lorawan.

STMicroelectronics.**B-L072Z-LRWAN1.** [Online].Available : https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l072z-lrwan1.html.

TTN. **Gateways.** [Online].Available : https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways.

Node-RED. **Node-RED Cookbook.** [Online].Available : https://cookbook.nodered.org.

Arm MBED. **DISCO-L072CZ-LRWAN1.** [Online].Available : https://os.mbed.com/platforms/ST-Discovery-LRWAN1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kerlink. **Wirenet iFemtoCell Datasheet.** [Online].Available : https://www.the-iot-marketplace.com/media/documents/DataSheet_Wirnet_iFemtoCell.pdf?fbclid=IwAR2w43nPNkrhCZnCn-kFZR6V7Gilc1v48ZN8GEccnYTTUhMyijh_dbWjMvc.

Khanistha Prasansuk.2561. **IoT on LoRa Based Applications.** [Online].Available : http://www.tesa.or.th/mood5/mod/forum/discuss.php?d=2188.

Silicon Laboratories Inc., Austin, TX. **Key Priorities for Sub-GHz Wireless Deployment.** [Online].Available : https://www.silabs.com/documents/public/white-papers/Key-Priorities-for-Sub-GHz-Wireless-Deployments.pdf.

Supachai Vorapojpisut.2561. **การใช้ STM32CubeMX โดยรวมเข้ากับไลบรารี I-CUBE-LRWAN.** [Online].Available : https://www.facebook.com/vsupacha.engrtu/posts/1888046167956756.

Proximity Costa Rica.2017. **What is Vue.js and What are its Advantages.** [Online].Available : https://hackernoon.com/what-is-vue-js-and-what-are-its-advantages-4071b7c7993d.

Semtech. **Semtech SX1276.** [Online].Available : https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/SX1276.

Vue.js. **What is Vue.js?.** [Online].Available : https://vuejs.org/v2/guide.

Warat Wongmaneekit.2018. **ทำไมผมถึงเลือก Vue.js ทั้งที่คนอื่นๆใช้ React กัน.** [Online].Available : https://medium.com/skooldio/ทำไมผมถึงเลือก-vue-js-ทั้งที่คนอื่นๆใช้-React-กัน-4020ffe8a186.

LoRaTools. **Calculate the air time of your LoRa frame.** [Online].Available : https://www.loratools.nl/#/airtime.

ST Community. **Current consumption STM32L (Sleep mode).** [Online].Available : https://community.st.com/s/question/0D50X00009XkWvcSAF/current-consumption-stm32l-sleep-mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OREGON EMBEDDED. **Battery Life Calculator.** [Online].Available : https://oregonembedded.com/batterycalc.htm.

Alibaba. **Suny E-ink ESL Supermarket System Electronic Shelf Price Label Display.** [Online].Available : https://www.alibaba.com/product-detail/Suny-E-ink-ESL-Supermarket-System_62029665661.html?spm=a2700.wholesale.maylikever.8.3cfd4382wXzwuD&fbclid=IwAR3P921m3TVyXBtCC4O-szJls7R6ssh0H_Kx0R3DU7qpFP98YhJyShKMOiY.

MOUSER ELECTRONICS. **STM32L072CZT6TR.** [Online].Available : https://th.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/STM32L072CZT6TR?qs=sGAEpiMZZMuoKKEcg8mMKJ29ob8kKavQYxjKD6orSyiWaAJoR%252BmR5Q%3D%3D.

MOUSER ELECTRONICS. **SX1276IMLTRT.** [Online].Available : https://th.mouser.com/ProductDetail/Semtech/SX1276IMLTRT?qs=%2Fha2pyFadujWmLjdtmIcmCh8s3xIGdwHXhsJfdH6JSo%3D.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้