ระบบตรวจจับการหกล้มและเฝ้าติดตามคนไข้โดยใช้เทคโนโลยี BLE

Fall Detection and Patient Surveillance using BLE

ณัฐพันธุ์ เครือติ๊บ

นนทวัชร์ พลานา

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับการหกล้มและเฝ้าติดตามคนไข้โดยใช้เทคโนโลยี BLE

นายณัฐพันธุ์	เครือติ๊บ	60015020
นายนนทวัชร์	พลานา	60015029
ผศ.วัจนพงศ์	เกษมศิริ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ธนา	หงษ์สุวรรณ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ตรวจจับการหกล้ม และเฝ้าติดตามคนไข้โดยใช้เทคโนโลยี BLE มีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยเหลือผู้ป่วย ที่ไม่มีคนดูแลผู้ป่วยตลอดเวลา ซึ่งระบบตรวจจับพฤติกรรม ท่าทาง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้สูงอายุ ผู้พิการ และผู้ที่ต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิด โดยนำเอาเซนเซอร์วัดความเร่ง มาพัฒนาเป็นอุกปกรณ์สำหรับสวมใส่ที่ข้อมือของผู้ป่วย เพื่อมาตรวจจับพฤติกรรมท่าทางในการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน การวิ่ง การนั่ง การนอน เป็นต้น

ระบบสามารตรวจจับตำแหน่งผู้ที่สวมใส่อุปกรณ์ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ ร่วมกับระบบสมองกลฝั่งตัว โดยสำรวจพื้นที่สำหรับการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งโนดอ้างอิง เพื่อเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้จากการส่งสัญญาณบีคอนของอุปกรณ์สวมใส่นำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล เมื่อมีการหกล้ม จะนำเอาค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้จากโนดอ้างอิงบริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์สวมใส่ทั้งหมดมาคำนวณ และนำไปเปรียบเทียบกับค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งของข้อมูลที่เก็บไว้ มาระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานอุปกรณ์ระบบจะนำตำแหน่ง พร้อมกับข้อความแจ้งเตือนไปยังเว็ปแอปพลิเคชั่น และอุปกรณ์สวมใส่จะแจ้งเตือนในรูปแบบเสียงที่ดังพอให้ผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงสามารถช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว

ในการพัฒนาระบบการตรวจจับหกล้ม และเฝ้าติดตามผู้ป่วย จากการทดสอบความถูกต้องของการตรวจจับพฤติกรรมท่าทาง แบ่งออกเป็นท่าละ 20 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยของทุกท่าทาง คิดเป็นร้อยละ 82 เปอร์เซ็น ปัญหาที่พบในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่ง ค่าสัญญาณรบกวนสูงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันที แนวทางการแก้ปัญหาปรับปรุงให้ระบบระบุตำแหน่งมีความเสถียร และพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fall Detection and Patient Surveillance using BLE

Mr. Nattapan	Krueatib	60015020
Mr. Nontawach	Phlana	60015029
Asst. Prof. Watjanapon	Kasemsiri	Advisor
Asst. Prof. Thana	Hongsuwan	Co-Advisor

Academic Year 2562

ABSTRACT

BLE technology aims to help patients. that the system detects the behavior of the patient at all times. to pose It can be applied to the elderly, disabled and those who need close care. The accelerator sensor has been developed as a wearable device on the patient's wrist to detect behavior. Daily life-friendly gestures such as walking, running, sitting Sleep, etc.

The system can detect the position of the wearer with the application of low-power Bluetooth technology in combination with the built-in mechanical system, exploring the area for determining the appropriate position in the reference note installation. To store the signal strength measured by transmitting the beacons of the wearable device to the database. When a fall occurs, the signal strength measured in the near-place reference to all wearables is calculated and compared to the signal strength in each location of the stored data. To locate the user of the device, the system will take the location with the notification to the application site, and the wearable will alert you in a loud enough sound format for those nearby to help quickly.

To develop a spill detection system and monitor patients. The correctness of the posture detection test was divided into 20 postures, with an average of 82 percent of all gestures. Problems found in the development of positioning systems High noise value makes it not immediately available. The solution improves the positioning system to be stable and available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ. วัจนพงศ์ เกษมศิริ และ ผศ. ธนา หงษ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทาง ให้ข้อคิดเห็น และสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปรัชญานิพนธ์

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ เกี่ยวกับการเลือกคำ และเกี่ยวกับ ปรัชญานิพนธ์ฉบับนี้

ณัฐพันธุ์ เครือติ๊บ

นนทวัชร์ พลานา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาระบบตรวจจับการหกล้ม 3

2.2 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6

2.3 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาการแสดงผลตำแหน่ง 7

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

บทที่ 3 การออกแบบ และพัฒนา 12

3.1 โครงสร้างของระบบ 12

3.2 อุปกรณ์ และระบบหลัก 13

3.3 Use Case Diagram 16

3.4 Architecture Diagram 17

3.5 ER Diagram 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 21
4.1 ผลการพัฒนาเว็ปแอปพลิเคชัน 21
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของ Create account 26
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับการหกล้มของอุปกรณ์สวมใส่ 30

บทที่ 5 สรุปผลการทำงาน 34
4.1 ปัญหาและอุปสรรค 34
4.2 สรุปผลการทดลอง 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติของ ESP32 2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ Accelerometer ใน MPU9250 4

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลทางเทคนิคของ Gyroscope ใน MPU9250 4

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลคุณสมบัติของ M5Stack 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

รูปที่ 2.1 Module ESP-WROOM-32 (ซ้าย) และบอร์ดพัฒนา DOIT ESP32 DEVKIT V1 (ขวา) ... 3

รูปที่ 2.2 บอร์ดพัฒนา M5Stack Grey ... 5

รูปที่ 2.3 การทำงานของ Generic Access Profile ... 6

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการสื่อสารในแบบ GATT ... 7

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ HTML5 ... 7

รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ CSS ... 8

รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ JavaScript ... 8

รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ React ... 9

รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ Redux ... 9

รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ Bootstrap ... 10

รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ Firebase ... 10

รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ Node.js ... 11

รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ Express.js ... 11

รูปที่ 3.1 System Diagram ... 12

รูปที่ 3.2 Flow Chart การทำงานของอุปกรณ์สวมใส่ ... 13

รูปที่ 3.3 Flow Chart การทำงานของโหนดอ้างอิง ... 14

รูปที่ 3.4 Use Case Diagram ของระบบ ... 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 Architecture Diagram 17
รูปที่ 3.6 ER Diagram 17
รูปที่ 3.7 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Users 18
รูปที่ 3.8 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Monitoring 19
รูปที่ 3.9 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Patients 19
รูปที่ 3.10 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Locations 20
รูปที่ 4.1 ฐานข้อมูล User ทั้งหมด 21
รูปที่ 4.2 ฐานข้อมูล E-mail ผู้ใช้งานทั้งหมด 22
รูปที่ 4.3 หน้าเข้าสู่ระบบของเว็ปแอปพลิเคชั่น 22
รูปที่ 4.4 หน้า Create account เว็ปแอปพลิเคชั่น 23
รูปที่ 4.5 ฐานข้อมูล User ได้มีการเพิ่มผู้ใช้งานใหม่เข้ามา 23
รูปที่ 4.6 ฐานข้อมูล E-mail ได้มีการเพิ่มผู้ใช้งานใหม่เข้ามา 24
รูปที่ 4.7 กรอก Email และ Password เพื่อเข้าสู่ระบบ 24
รูปที่ 4.8 เลือก Location 25
รูปที่ 4.9 ทำการออกจากระบบ 25
รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผลการแจ้งเตือนในหน้า Create user 26
รูปที่ 4.11 หน้า Create account มีการแจ้งเตือนให้ใส่ 6 – 20 ตัวอักษร 27
รูปที่ 4.12 หน้า Create account ได้แจ้งเตือน Email is invalid 27
รูปที่ 4.13 หน้า Create account มีการแจ้งเตือนให้ใส่ 6 – 20 ตัวอักษร 28
รูปที่ 4.14 หน้า Sign in มีการแจ้งเตือนไม่มีผู้ใช้งานในระบบ 28
รูปที่ 4.15 หน้า Sign in มีการแจ้งเตือนรหัสผ่านไม่ถูกต้อง 29
รูปที่ 4.16 การแจ้งเตือนด้วย Push Notification บน web browser 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 การแจ้งเตือนด้วย Push Notification ด้วยการปิด web browser 30

รูปที่ 4.17 ทดสอบการเดิน 31

รูปที่ 4.18 ทดสอบการวิ่ง..... 31

รูปที่ 4.19 ทดสอบการลุก-นั่ง..... 32

รูปที่ 4.20 ทดสอบการยืน-นอน 32

รูปที่ 4.21 ทดสอบการสบัดแขน 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

กิจกรรมส่วนตัวในชีวิตประจำวันของผู้ป่วยแต่ละวัน มีมากมายขึ้นอยู่กับผู้ป่วยแต่ละคน ผู้ป่วยบางคนที่มีปัญหาเรื่องการทรงตัว เป็นผู้สูงอายุ หรือโรคที่ทำให้ไม่สามารถทำกิจกรรมส่วนตัวได้ จึงต้องมีคนคอยดูแลขณะทำกิจกรรมส่วนตัว ทำให้ช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุได้ แต่ผู้ป่วยที่สามารถประคับประคองตัวเองได้ จะสามารถทำกิจกรรมส่วนตัวได้ด้วยตัวเอง แต่อุบัติเหตุสามารถเกิดขึ้นได้กับทุกๆคน เพราะอุบัติเหตุเกิดได้จากความประมาท หรือแม้กระทั้งสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดอุบัติเหตุ เช่น พื้นห้องน้ำมีน้ำขัง ทำให้อาจลื่นได้ และหากสถานที่เกิดอุบัติเหตุนั้นเป็นสถานที่ลับตาคน อาจทำให้ผู้ประสบอุบัติเหตุไม่ได้รับการช่วยเหลือได้ทันท่วงที

โครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจจับการหกล้ม และระบุตำแหน่งของคนไข้ภายในอาคาร เนื่องด้วยกลุ่มผู้จัดทำโครงงานมีความต้องการที่จะบรรเทาอุบัติเหตุหกล้มที่เกิดขึ้นกับคนไข้ ในบริเวณที่เป็นจุดอับสายตา ทำให้ไม่ได้รับการช่วยเหลือได้ทันท่วงที ด้วยปัญหาดังกล่าว กลุ่มผู้จัดทำโครงงานได้ทำการพัฒนา “ระบบตรวจจับการหกล้มและเฝ้าติดตามคนไข้โดยใช้เทคโนโลยี BLE” มาช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) ศึกษา และพัฒนาระบบตรวจจับการหกล้มด้วยเซ็นเซอร์ Accelerometer
2) ศึกษา และพัฒนาระบบระบุตำแหน่งด้วยเทคโนโลยี Bluetooth Low Energy
3) ศึกษา และพัฒนาเว็ปแอปพลิเคชันให้สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ Bluetooth ได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถช่วยบอกตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุของผู้ป่วย
2) สามารถแจ้งเตือนให้ผู้ดูแลผู้ป่วยทราบเมื่อเกิดเหตุล้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1) ระบบแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการแสดงผลของเว็บแอพพลิเคชั่นบนเว็บบราวเซอร์ การพัฒนาสายรัดข้อมือในการตรวจจับหกล้ม และระบุตำแหน่ง
2) ระบบสามารถระบุตำแหน่งผู้สวมใส่ และตรวจจับการหกล้มได้
3) เว็ปแอพพลิเคชั่นติดต่อกับ สายรัดข้อมือได้
4) เว็ปแอพพลิเคชั่นสามารถแจ้งเตือนผู้ดูแลได้เมื่อเกิดเหตุ

1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน

รูปแบบท่าทางของของผู้ใช้ในแต่ละช่วงในการทำกิจกรรมอาจจะส่งผลให้ความแม่นยำ แตกต่างกันเกิดจากค่าที่ได้จากเซนเซอร์ซึ่งอาจจะมีค่าผิดพลาดหรือแตกต่างมากพอที่จะทำให้ตรวจจับได้ท่าทางที่ผิดพลาดได้ โดยเฉพาะเซนเซอร์ที่ใช้ในจับท่าทาง ซึ่งวัดการหกล้มได้เพียงแค่ทิศทางตอนหกล้มเท่านั้น สำหรับผู้ที่ทำกิจกรรมที่มีความใกล้เคียงกันมากอาจจะทำให้เกิดการตรวจจับที่ผิดพลาดได้ แต่ท่าที่อยู่ในกรณีดังกล่าวนั้น ถือว่าเป็นส่วนน้อยของท่าทั้งหมดที่สายรัดข้อมือควรตรวจจับได้และไม่ได้อยู่ในขอบเขตการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาระบบตรวจจับการหกล้ม

2.1.1 ESP32

ESP32 คือ SoC (System on a chip) Microcontroller ที่รวมเอาเทคโนโลยี Wi-Fi และ Bluetooth รวมอยู่ในชิปเดียว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน ซึ่งการเชื่อมต่อ Wi-Fi จะเชื่อมต่อความถี่ที่ 2.4 GHz มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g/n และ Bluetooth ลองรับทั้ง Classic Mode และ Low Energy Mode (Bluetooth Low Energy) โดยมีผู้ผลิตบอร์ดพัฒนาต่าง ๆ นำเอาชิปไปใช้ เช่น บอร์ด DOIT ESP32 DEVKIT V1 ที่มีการใช้ Module ESP-WROOM-32 เป็นชิปประมวลผล

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลคุณสมบัติของ ESP32

CPU	Xtensa dual-core (or single-core) 32-bit LX6 microprocessor
Memory	SRAM ขนาด 512KB, FLASH ขนาด 16MB
Network	Wi-Fi ความถี่ 2.4 GHz มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g/n และ Bluetooth V4.2 dual mode (Classic BR/EDR and Low Energy)
Connectivity	GPIO 36 Pins, SPI, I2C, I2S, UART, CAN, ADC, DAC
Power supply	2.3 – 3.6 V

รูปที่ 2.1 Module ESP-WROOM-32 (ซ้าย) และบอร์ดพัฒนา DOIT ESP32 DEVKIT V1 (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 MPU9250

MPU9250 คือ IMU (Inertial Measurement Units) ที่ประกรอบไปด้วย MPU6500 ที่มี Accelerometer 3-axis, Gyroscope 3-axis และ AK8963 ซึ่งเป็น Magnetometer 3-axis ผลลัพธ์ที่ได้จาก sensor ต่าง ๆ จะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นแกน x, y และ z โดย sensor ต่าง ๆ มีลักษณะการใช้งานและ ข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

2.1.2.1 Accelerometer

Accelerometer คือ Sensor ที่ใช้วัดความเร่ง ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ หน่วยวัดมักเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s2) หรือ ความโน้มถ่วงพื้นผิว (g) โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ Accelerometer ใน MPU9250

Digital Output	3-axis (x, y, z)
Range	±2g, ±4g, ±8g and ±16g
Resolution	16-bit ADCs
Noise	8 mg RMS at 94Hz
Output data rate	Low noise 4 – 4000Hz

2.1.2.2 Gyroscope

Gyroscope คือ Sensor ที่ใช้วัดความเอียง ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุม หน่วยวัดมักเป็นองศาต่อวินาที (deg/s) โดยมีข้อมูลทางเทคนิคดังนี้

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลทางเทคนิคของ Gyroscope ใน MPU9250

Digital Output	3-axis (x, y, z)
Range	±250 °/s, ±500°/s , ±1000°/s , ±2000 °/s
Resolution	16-bit ADCs
Noise	0.1 mg RMS at 92Hz
Output Data Rate	Normal mode 4 – 8000 Hz

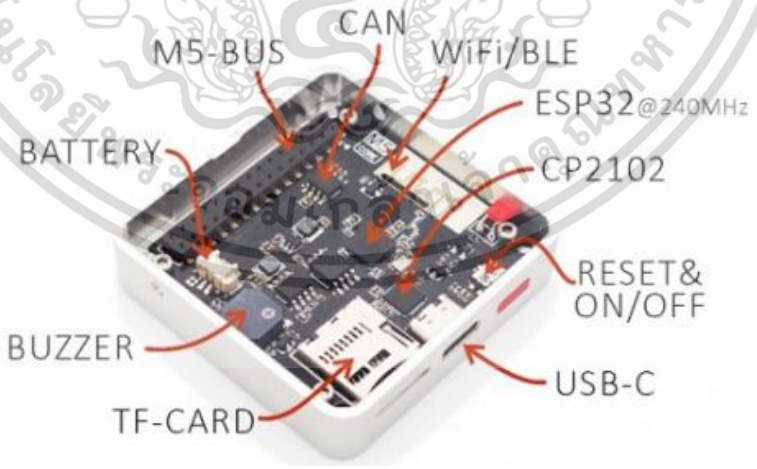
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 M5Stack

M5stack คือ SoC (System on a chip) เป็นชุดพัฒนา Microcontroller มาจาก ESP32 มาพร้อมจอแสดงผล TFT LCD ให้ความละเอียด 320 x 240-pixel และ มีลำโพงในตัว ปุ่มกด ภายในวงจรยังมี Chip IMU Sensor (MPU9250) 9 - axis และ วงจรแบตเตอรี่ที่สามารถต่อจากภายนอกเข้ามาใช้ในบอร์ด จึงจำเป็นเพื่อใช้พัฒนาในโครงงาน

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลคุณสมบัติของ M5Stack

CPU	240MHz dual core, 600 DMIPS, 520KB SRAM, Wi-Fi, dual mode Bluetooth
Memory	Flash Memory ขนาด 16 MB
LCD	TFT LCD Colorful 320 x 240, 2 นิ้ว
MEMS	MPU9250
Network	Wi-Fi ความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz มาตรฐาน IEEE 802.11 b/g/n และ Bluetooth V4.2 dual mode (Classic BR/EDR and Low Energy)
Connectivity	GPIO 30 pin, I2C, Audio, RXD, TXD
Micro SD card	Maximal 16 GB
Battery	500 mAh @ 3.7V



รูปที่ 2.2 บอร์ดพัฒนา M5Stack Grey

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

2.2.1 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy คือ Bluetooth 4.0 ที่ใช้พลังงานต่ำ โดยใช้พลังงานของ Bluetooth Low Energy พัฒนามาทำ Application ซึ่งใช้ทรัพยากรแบตเตอรี่ขนาดเล็กสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น ปัจจุบันวงการ IOT ใช้ Bluetooth Low Energy เข้ามาพัฒนาการใช้งาน และ เก็บผล BLE ทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz ISM การเชื่อมต่อที่สั้นมาก (ในชนิด mS) และมีการส่งข้อมูลสูงถึง (1 Mb/s) ถ้ายังไม่มีการเชื่อมต่อไรเข้ามาจะเข้าไปสู่ (Mode Sleep) จนกว่าจะถูกเชื่อมต่ออีกครั้ง

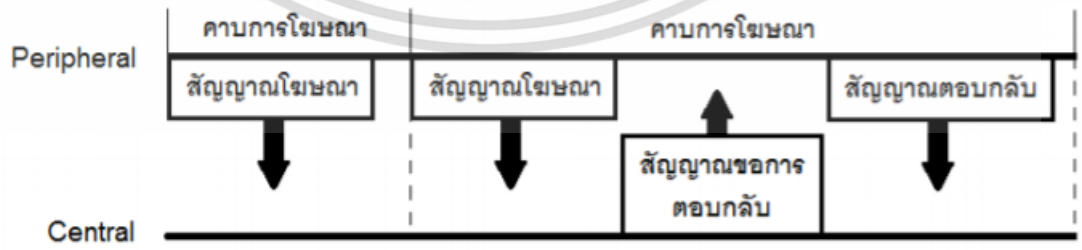
การทำงานของอุปกรณ์บลูทูธพลังงานต่ำ นั้นจะถูกแบ่งเป็นส่องช่วงสำคัญคือ ช่วงที่ทำงานในลักษณะของ Generic Access Profile (GAP) และ Genetic Attribute Profile (GATT)

Generic Access Profile (GAP) ลักษณะการทำงานที่ควบคุมการเชื่อมต่อ และ การโฆษณาของอุปกรณ์ จะควบคุมขั้นตอนและการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ จะมีบทบาทหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ได้เป็นสองบทบาทคือ Central และ Peripheral

Peripheral เป็นการส่งสัญญาณโฆษณา เพื่อให้อุปกรณ์อื่นสามารถมองเห็นและเริ่มขบวนการเชื่อมต่อได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก พลังงานต่ำ ที่ใช้การประมวลผลไม่มาก หรืออุปกรณ์ที่เป็นตัวตรวจรู้วัดค่าต่างๆ

Central เป็นอุปกรณ์ที่จะตรวจหาอุปกรณ์ Peripheral และเริ่มขบวนการเชื่อมต่อทั่วไป โดยทั่วไปแล้วจะเป็นอุปกรณ์ที่มีหลังในการประมวลผลมากกว่าเช่น โทรศัพท์มือถือ หรืออุปกรณ์ที่ใช้พัฒนาโครงงานเป็นต้น

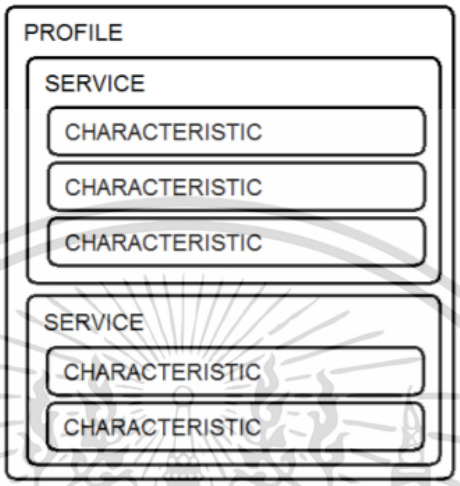
อุปกรณ์ Central จะทำหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณโฆษณาและต้องการที่จะทำการเชื่อมต่อด้วย อุปกรณ์ Central ก็จะส่งสัญญาณขอการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ Peripheral ก็จะทำการส่งสัญญาณตอบกลับดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทำงานของ Generic Access Profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อในลักษณะ GATT จะยึดหลักพื้นฐานสำคัญ คือ Profile service และ Characteristics โดย Profile จะเป็นการนิยามชุดของ Service และ Characteristics ทั้งหมด สุดท้าย Characteristics เป็นการสื่อสารระดับล่างสุดที่จะเป็นส่วนเก็บข้อมูลที่สามารถนำไปใช้พัฒนา



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการสื่อสารในแบบ GATT

2.3 เทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาการแสดงผลตำแหน่ง

2.3.1 HTML

HTML คือ (Hypertext Markup Language) เป็นภาษาที่เอาไว้พัฒนาการสร้างเว็ปไซต์ การเชื่อมต่อเว็ปไซต์ต้องเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตในการใช้งาน ภายใน HTML มีการแสดงข้อความ รูปภาพ และ มัลติมีเดีย อื่นๆ บนเว็บเพจ ในปัจจุบัน HTML 5 เป็นเวอร์ชั่นใหม่ล่าสุด ที่กำลังจะถูกนำมาใช้งานแทนที่ HTML 4.01 ได้รวมคุณสมบัติของ HTML และ XHTML เข้าด้วยกัน คุณสมบัติการนำเสนอวีดีโอและรูปภาพไม่จำเป็นต้องพึ่งโปรแกรม Flash จึงทำให้ HTML เป็นภาษามาตรฐานในการสร้างและพัฒนาเว็ปไซน์จากอดีตถึงปัจจุบัน

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ HTML5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 CSS

CSS คือ (Cascading Style Sheets) เป็นภาษาที่ช่วยให้นักพัฒนาเว็บสามารถจัดรูป เค้าโครงเว็ปเพจ เช่น การกำหนดตาราง ความหนาตัวหนังสือ และ การขยายรูปภาพ หรือ วัตถุอื่นๆ CSS เป็นองค์ประกอบหลักของหน้าเว็บเพจ เนื่องจากเข้าถึงได้ง่าย ทำให้นักพัฒนาเว็ปเพจนิยมใช้กัน

รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์ CSS

2.3.3 JavaScript

Java คือ ภาษาสคริปต์ที่ช่วยการออกแบบและพัฒนาเว็ปไซน์ (ใช้ร่วมกับ HTML) เพื่อให้ควบคุมมิลติมีเดีย ภาพเคลื่อนไหว เป้าหมายในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับผู้เขียนด้วยภาษา HTML สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับได้ทั้งฝั่งไคลเอนต์ (Client) และ ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server) ดั้งนั้นจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง JavaScript จะสามารถทำงานได้ ต้องมีบราวเซอร์ที่สนับสนุน ซึ่งปัจจุบันบราวเซอร์เกือบทั้งหมดก็สนับสนุน JavaScript แล้ว แต่ที่สำคัญก็ควรจะดู เวอร์ชั่นของ JavaScript ที่นำมาเขียนด้วย ถ้าเป็นบราวเซอร์รุ่นเก่าที่ยังไม่สนับสนุน ก็อาจจะทำให้เกิด Error ได้

รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ JavaScript

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 React.js

React.js คือ JavaScript Library ออกแบบมาเพื่อสร้าง UI ให้กับ Web Application ทำงานส่วนใหญ่เกี่ยวกับ View layer หัวใจหลักของ React คือ Component การที่สร้าง Component ขึ้นสามารถทำให้ Reuse การใช้งานได้ และเมื่อประกอบกันหลาย Component ให้กลายเป็น UI ส่วนหนึ่งของ Web Application

รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ React

2.3.5 Redux

Redux คือ Solution การจัดการที่นิยมมากที่สุด มันจะช่วยให้คุณเขียนแอพพลิเคชันที่ทำงานในลักษณะเดียวกัน ง่ายต่อการทดสอบ และ สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น Client Server Native อื่นๆ Redux เป็นไลบรารี่ที่เข้ามาจัดการกับ State โดยการรวม State ทั้งหมดไว้ที่เดียวกัน เพื่อให้ Component ที่มีการเรียกใช้งาน State ได้อย่างอิสระ

รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์ Redux

2.3.6 Bootstrap

Bootstrap คือ Frontend Framework ที่รวม HTML CSS และ JS เข้าด้วยกันสำหรับพัฒนา Web ที่รองรับทุก Smart device หรือเรียกว่า Responsive web โดยใช้ Bootstrap grid system เข้ามาจัดการคำนวณค่าหน้าจอพร้อมกับปรับขนาดของ Web จึงทำให้การทำ front-end มีเครื่องมือที่พร้อมสนับสนุนการทำงาน และสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์ Bootstrap

2.3.7 Firebase

Firebase คือ Backend-as-a-Service (BaaS) เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ให้บริการ Backend Host เช่น ฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์, Cloud Storage, Authentication Crash Reporting Machine, learning Remote configuration และ โฮสติ้งสำหรับ Static File

รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ Firebase

2.3.8 Node.js

การพัฒนา Web application จะแบ่งเป็นฝั่ง Client และฝั่ง Server ใช้ภาษาเป็นคนละภาษาในการพัฒนาทั้งสองฝั่ง ซึ่ง Node.js ทำให้เราเขียนภาษา JavaScript เอาไปไว้ในฝั่ง Server ได้ ปกติจะถูกเก็บไว้ในฝั่งของ Client โดยภายในของ Node มี Environment ที่สามารถจัดการทำงานผ่าน Socket หรือสั่งงานในลักษณะ Command Line ทำให้ใช้ภาษา JavaScript ใช้งานได้ทั้งในฝั่ง Client และฝั่ง Server จึงง่ายต่อการพัฒนา Web application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์ Node.js

2.3.9 Express.js

Express.js คือ web application framework บน Node.js ที่ได้รับความนิยมในกลุ่มนักพัฒนา ตัว Express จะมีฟีจเจอร์ต่างๆที่ช่วยให้เราทำเว็บได้สะดวก เช่น การทำ routing, middleware การจัดการ request และ response เป็นต้น ทำให้เราสามารถ support node.js เข้ามาพัฒนาได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ Express.js

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

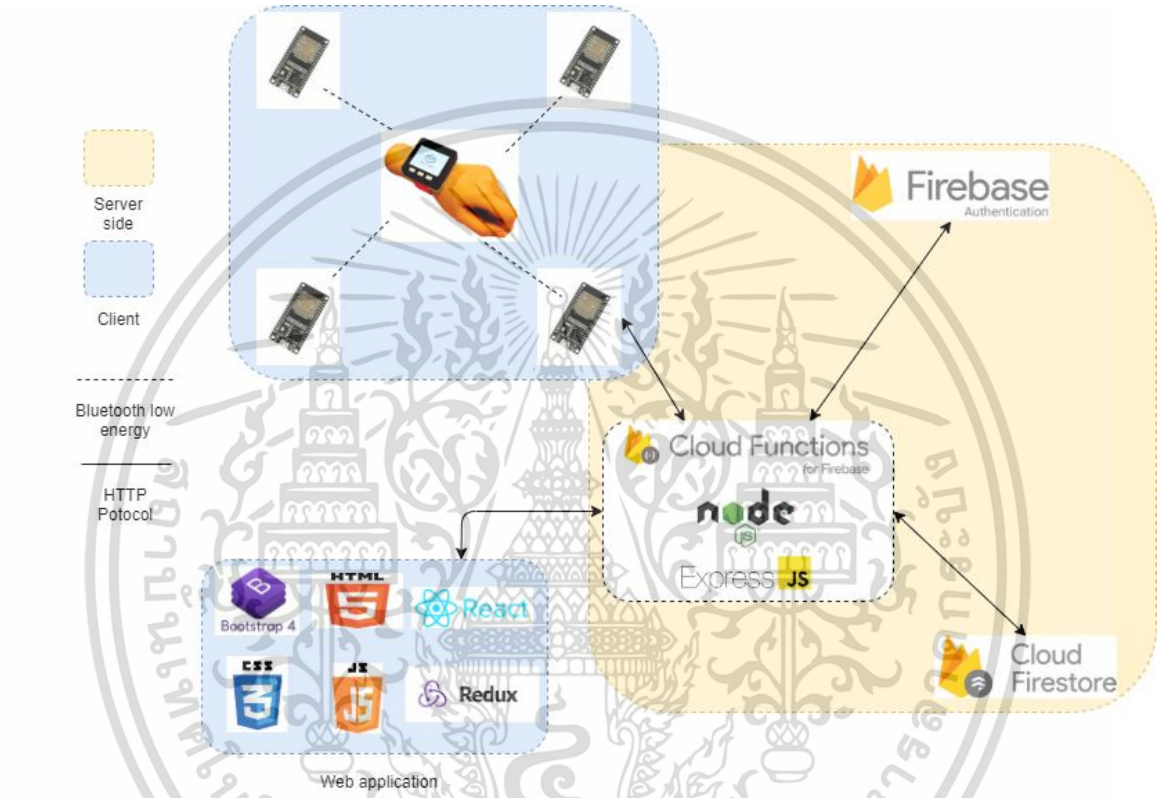
2.4.1 Indoor Positioning Algorithm Based on the Improved RSSI Distance Model

งานวิจัยนี้มีเป้าหมาย การระบุตำแหน่งที่ถูกต้องและการนำทางในสภาพแวดล้มในพื้นที่ร่ม เทคโนโลยีการวางตำแหน่งในร่มมีประสิทธิภาพได้กลายเป็นหัวข้อการวิจัยที่ใช้งานมาก ตำแหน่งสัญญาณ Bluetooth เป็นหนึ่งในเทคโนโลนีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย Bluetooth ที่ได้รับสัญญาณบ่งชี้ความแรง (RSSI) และ อัลกอริทึมการวางตำแหน่งมักมีข้อผิดพลาด จึงมาทำการศึกษาและพัฒนาวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ และพัฒนา

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 System Diagram

จากรูปที่ 3.1 System Diagram เพื่อให้เห็นการทำงานของแต่ละส่วนภายในระบบ จึงได้แบ่งอุปกรณ์ และระบบหลักต่าง ๆออกเป็นส่วน 4 ดังนี้

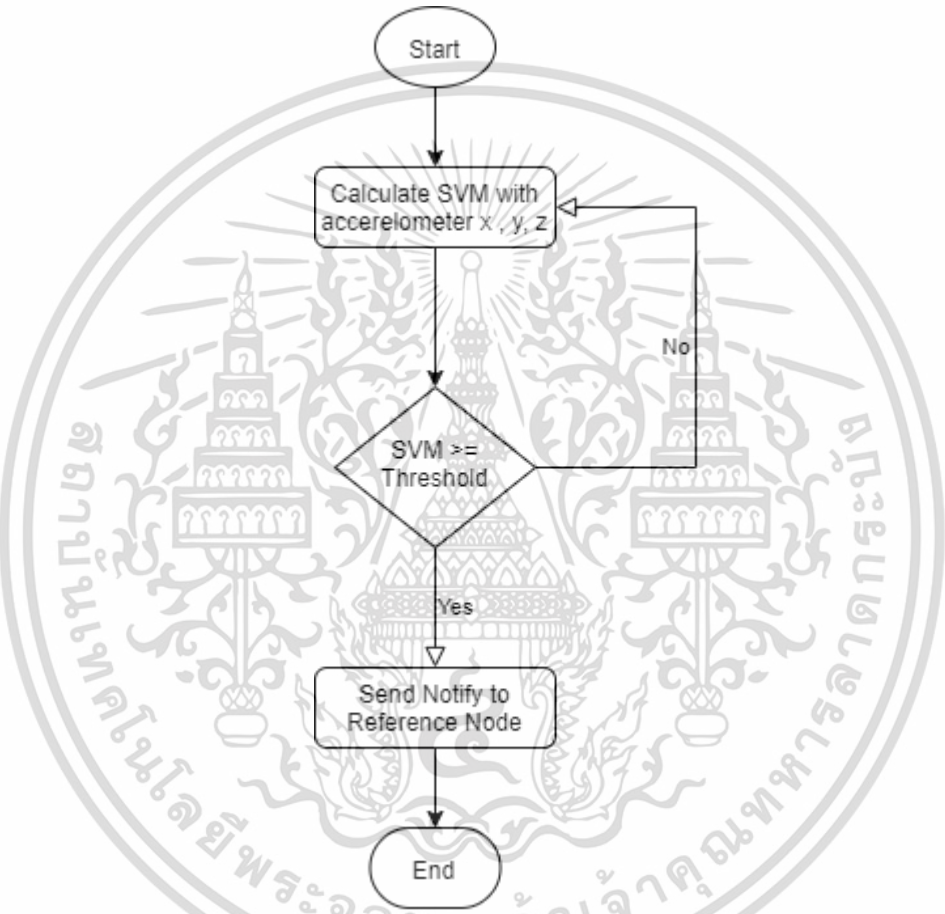
- Wearable Device
- Reference Node
- Web Application
- Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ และระบบหลัก

3.2.1 อุปกรณ์สวมใส่ (Wearable Device)

คือ อุปกรณ์ตรวจจับลักษณะท่าทางของผู้ป่วย ด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) ที่ติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์สวมใส่ ซึ่งทีมผู้จัดทำใช้ M5Stack ในการพัฒนา โดยให้เชื่อมต่อกับโนดอ้างอิง (Reference Node) ด้วย บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy) เพื่อส่งการแจ้งเตือนไปยังโนดอ้างอิง เมื่อตรวจจับการหกล้มของผู้สวมใส่ได้

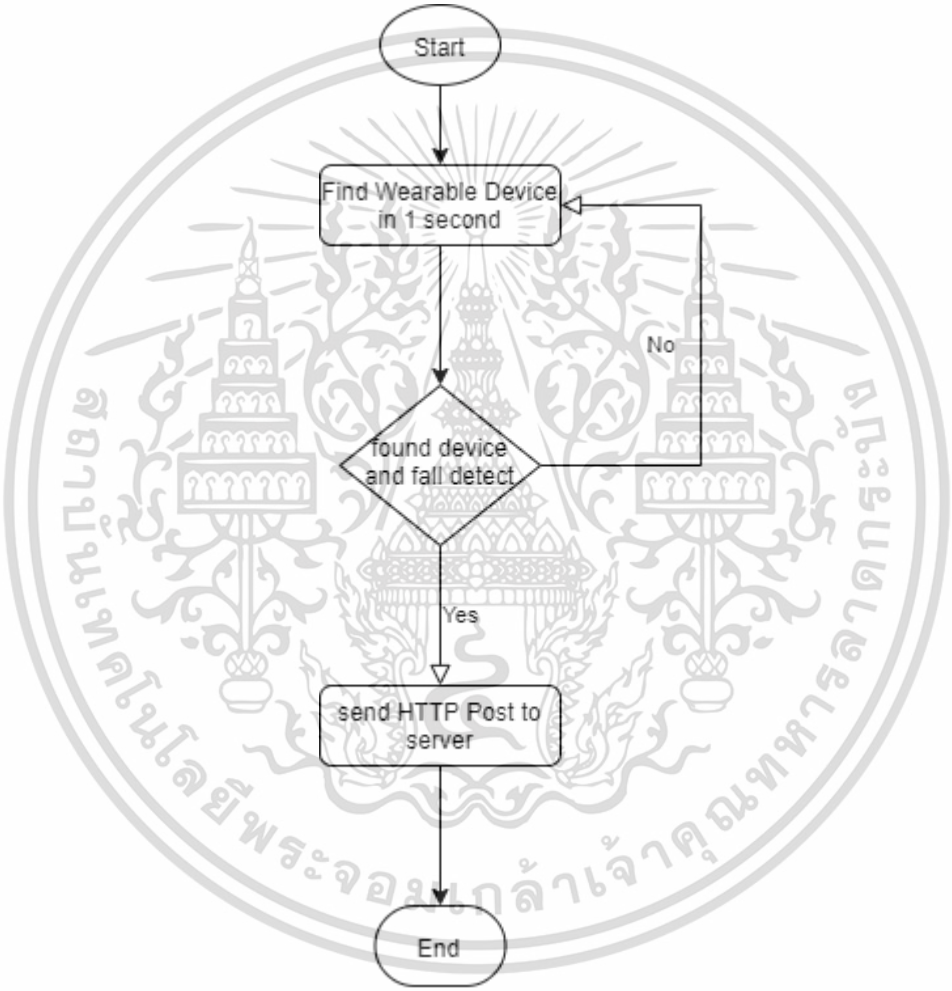


รูปที่ 3.2 Flow Chart การทำงานของอุปกรณ์สวมใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 โนดอ้างอิง (Reference Node)

เป็นอุปกรณ์ที่จะต้องมีความสามารถในการเชื่อมต่อ ไวไฟ (Wi-Fi) และ บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy) ได้ ผู้จัดทำจึงเลือกใช้ ESP32 ในการพัฒนา โดยให้มีหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์สวมใส่ ด้วย บลูทูธพลังงานต่ำ คอยรับการแจ้งเตือน เมื่อเกิดเหตุหกล้ม แล้วส่งไปยัง Server และ อ่านค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) , Mac Address จากอุปกรณ์สวมใส่ จากนั้นนำความแรงของสัญญาณมาคำนวณหา ระยะห่างระหว่าง โนดอ้างอิง กับ อุปกรณ์สวมใส่ เพื่อนำไปส่งให้ Server เช่นกัน



รูปที่ 3.3 Flow Chart การทำงานของโหนดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เว็ปแอปพลิเคชั่น (Web Application)

พัฒนาด้วย HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap, React.js และ Redux ซึ่ง React.js เป็น JavaScript Framework ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการพัฒนา ทีมผู้พัฒนาจึงเลือกใช้ Framework ดังกล่าวร่วมกับ Redux เพื่อให้สามารถจัดการกับ State ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ Bootstrap ช่วยในการออกแบบหน้าตาเว็ปแอปพลิเคชั่น และการแสดงผลต่างๆ เนื่องจากทีมผู้พัฒนาไม่ค่อยมีทักษะในการออกแบบ จึงเลือกใช้ Bootstrap มาลดภาระในส่วนนี้ อีกทั้งยังสามารถทำ Responsive ได้จึงเป็นตัวเลือกที่ดี

หน้าที่หลักๆ ของ เว็ปแอปพลิเคชั่น มีดังนี้

1.) สร้างบัญชีผู้ใช้สำหรับเฝ้าดูการติดตามตำแหน่งของผู้สวมใส่ Wearable Device

2.) แจ้งเตือนเมื่อผู้สวมใส่ Wearable Device มีการหกล้ม

3.) แสดงผลตำแหน่งของผู้สวมใส่ Wearable Device ผ่านหน้าเว็ปแอปพลิเคชัน

3.2.4 เซิร์ฟเวอร์ (Server)

เป็น Serverless API พัฒนาด้วย Cloud Function ซึ่งเป็นบริการของ Firebase ให้ทำหน้าที่รอ HTTP Request จาก Client Side ซึ่งประกอบด้วย โนดอ้างอิง และเว็ปแอปพลิเคชั่น โดยหน้าที่หลักๆ ของ API ที่จัดเตรียมไว้มีดังนี้

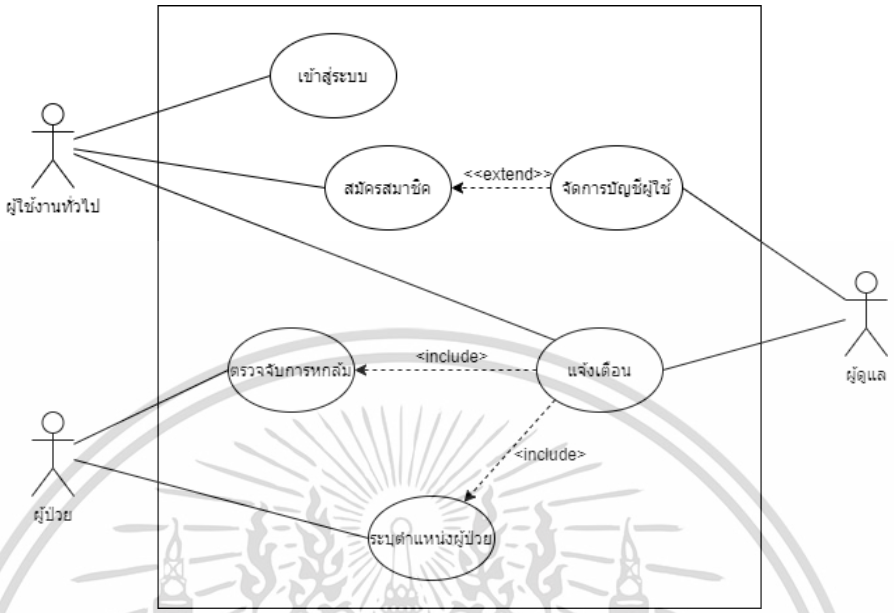
1.) รับค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI), ระยะห่างระหว่าง โนดอ้างอิง กับอุปกรณ์สวมใส่ และ MAC Address ของ อุปกรณ์สวมใส่ จากโนดอ้างอิง

2.) รับการแจ้งเตือนเมื่อตรวจจับได้ว่ามีการหกล้ม จากโนดอ้างอิง

3.) จัดการข้อมูลผู้ใช้งานภายในระบบ เช่น สร้างบัญชีผู้ใช้งาน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Use Case Diagram



รูปที่ 3.4 Use Case Diagram ของระบบ

3.3.1 Author

ประกอบด้วยผู้ใช้งานทั่วไป , ผู้ป่วย และผู้ดูแล

3.3.2 Use case

1. เข้าสู่ระบบ สำหรับผู้ใช้งานทั่วไป

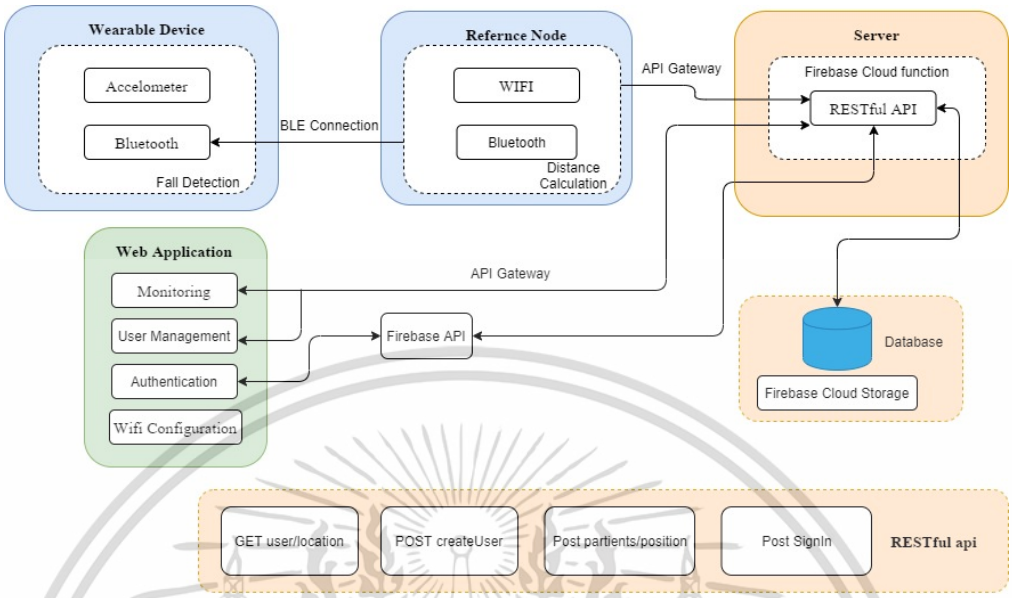
2. สมัครสมาชิคทำได้โดยผู้ใช้งานทั่วไป และจัดการผ่านผู้ดูแลได้

3. แจ้งเตือนจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อตรวจจับได้ว่าผู้ป่วยหกล้ม โดยจะแจ้งเตือนพร้อมกับแสดงตำแหน่งของผู้ป่วยคนนั้นๆ

4. ตรวจจับการหกล้มเมื่อผู้ป่วยที่สวมใส่หกล้ม และทำการแจ้งเตือน 2 รูปแบบคือ ส่งเสียงร้องที่ตัวอุปกรณ์สวมใส่ และแสดงข้อความแจ้งเตือนด้วย Push Notification

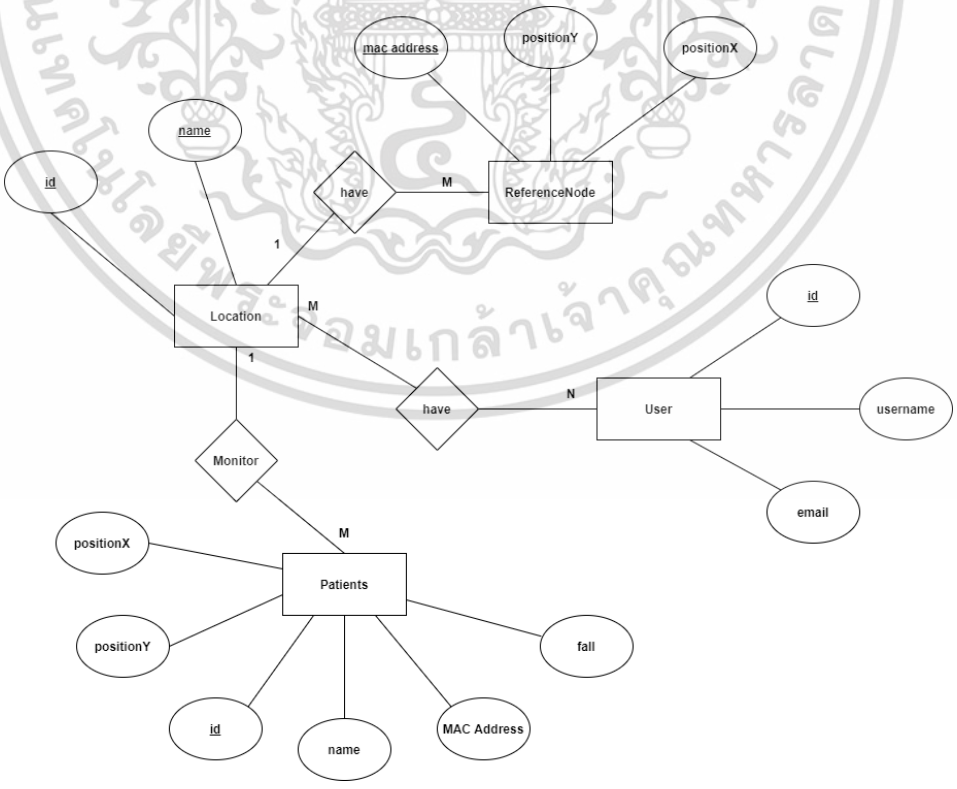
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Architecture Diagram



รูปที่ 3.5 Architecture Diagram ของระบบ

3.5 ER Diagram



รูปที่ 3.6 ER Diagram ของฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากฐานข้อมูลที่เลือกนำมาใช้คือ Firebase Cloud Firestore ที่เป็นหนึ่งในบริการของ Firebase มีการเก็บข้อมูลในลักษณะของ document-oriented database ซึ่งไม่เหมือนกับ database ที่เป็น SQL โดย Model ของฐานข้อมูลชนิดนี้มี 2 ส่วนดังนี้

1. Collections เป็นส่วนที่รอบรวม Documents ต่างๆ ไว้ในหนึ่งฐานข้อมูลมี Collections ได้มากกว่า 1

2. Documents เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งสามารถจัดเก็บชนิดข้อมูลได้หลากหลาย โดยมีชนิดข้อมูลที่นิยมใช้กัน เช่น String, Number และสามารถจัดเก็บข้อมูลเป็น Array และ Objects ได้

จากข้อมูลเบื้องต้นทีมผู้จัดทำได้ทำการออกแบบฐานข้อมูลของระบบ นำเสนอเป็นรูปแบบของ Object และแบ่งเป็น Collection เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจกลุ่มผู้จัดทำจะทำการอธิบายถึงสัญลักษณ์ต่าง ๆดังต่อไปนี้

- $string
  หมายถึงข้อมูลใด ๆ ที่เป็นรูปแบบของข้อความ หากมี [ ] ต่อท้ายหมายความว่าเป็นอาร์เรย์ของข้อมูลรูปแบบข้อความ
- $boolean
  หมายถึงข้อมูลใด ๆ ที่เป็นรูปแบบตรรกะ ซึ่งประกอบด้วย true และ false
- $number
  หมายถึงข้อมูลใด ๆ ที่เป็นข้อมูลแบบตัวเลข เป็นทั้งตัวเลขจำนวนเต็ม เลขทศนิยม

โดยมีการออกแบบลักษณะโครงสร้างของฐานข้อมูล โดยแบ่งเป็น Collection ดังนี้

```
users: {
        $usersId: {
            email: $string,
            username: $string,
            locations: $string[]
        }
}
```

รูปที่ 3.7 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Users

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
monitoring: {
        $locationName: {
                wearableDevice: [
                        address: $string,
                        fall: $boolean,
                        rssi: $number
 ]
        }
}
```

รูปที่ 3.8 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Monitoring

```
patients: {
        $patientsId: {
                deviceInfo: {
                        address: $string,
                        batteryLevel: $number,
                        status: $string
                },
                fallDetect: $boolean,
                location: $string,
                patientInfo: {
                        name: $string
                },
                position: {
                        x: $number,
                        y: $number
                }
        }
```

รูปที่ 3.9 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Patients

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
locations: {
        $locationId: {
                locationInfo: {
                        name: $string
                },
                referenceNodes: {
                        [
                                address: $string,
                                position: {
                                        x: $number,
                                        y: $number
                                }
                        ]
                }
        }
}
```

รูปที่ 3.10 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของ Collection Locations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

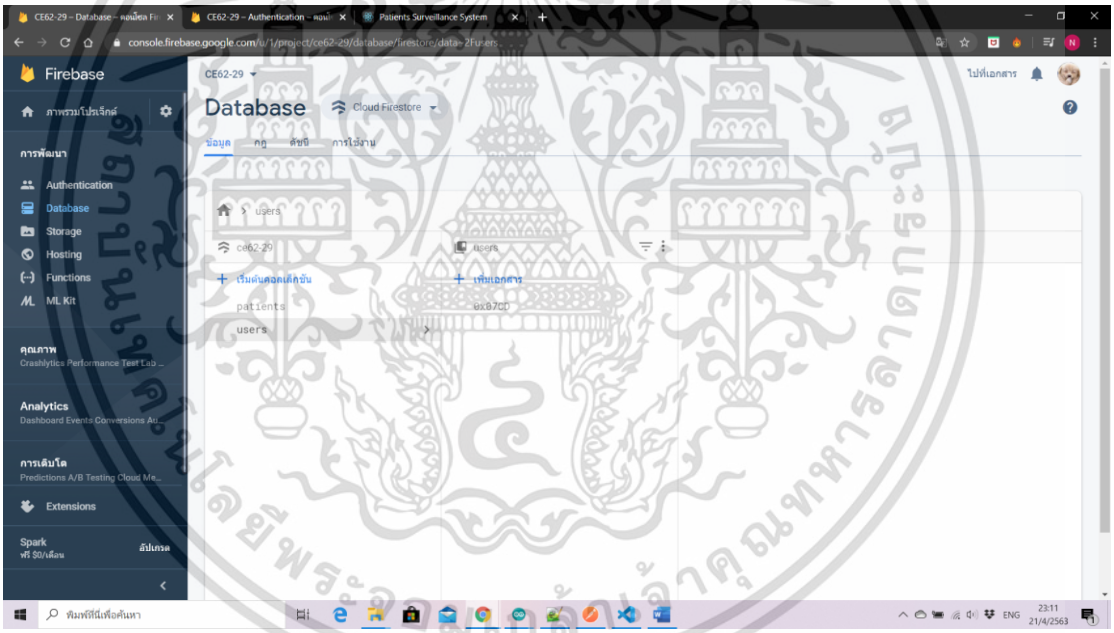
4.1 ผลการพัฒนาเว็ปแอปพลิเคชัน

ทางผู้จัดทำได้แบ่งการทดลองทั้งหมดตามการใช้งานหลักของเว็ปแอปพลิเคชั่น โดยเบื้องต้นได้ทดลอง 2 ฟังก์ชั่นการทำงานจากทั้งหมดมีดังนี้

4.1.1 การสร้างบัญชีผู้ใช้งาน และเข้าสู่ระบบ

เมื่อผู้ใช้งานใส่ URL ของเว็ปแอปพลิเคชั่น จะเข้าสู่หน้า “Sign in” ก่อน โดยการสร้างบัญชีผู้ใช้งาน มีวิธีทดลองดังนี้

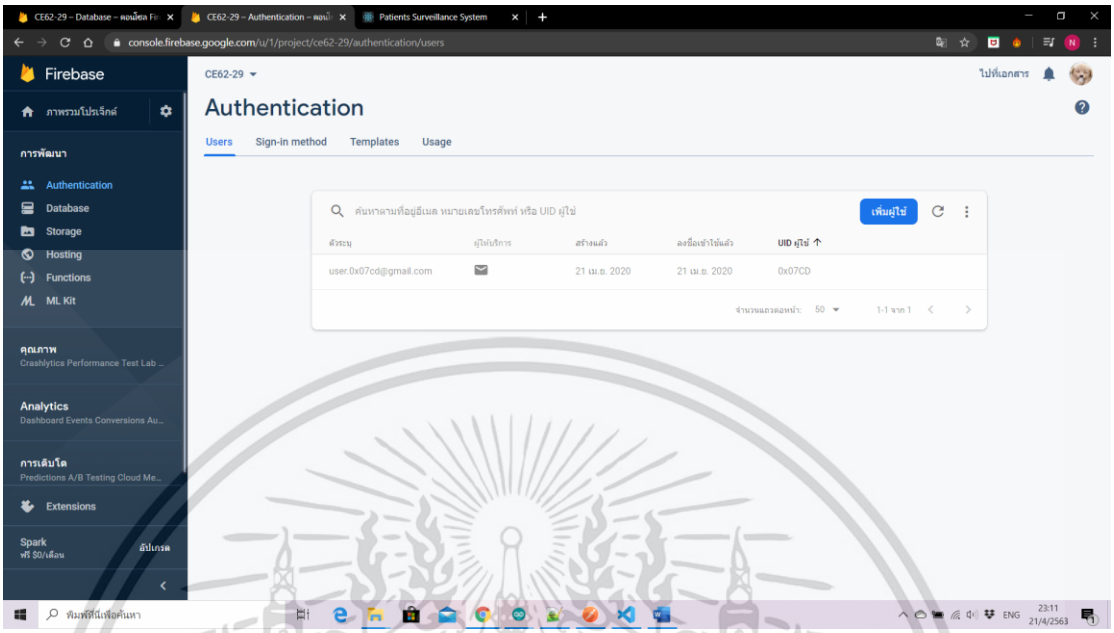
1. เข้า Console Firebase หน้า Database ดูข้อมูลของ User ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ฐานข้อมูล User ทั้งหมด

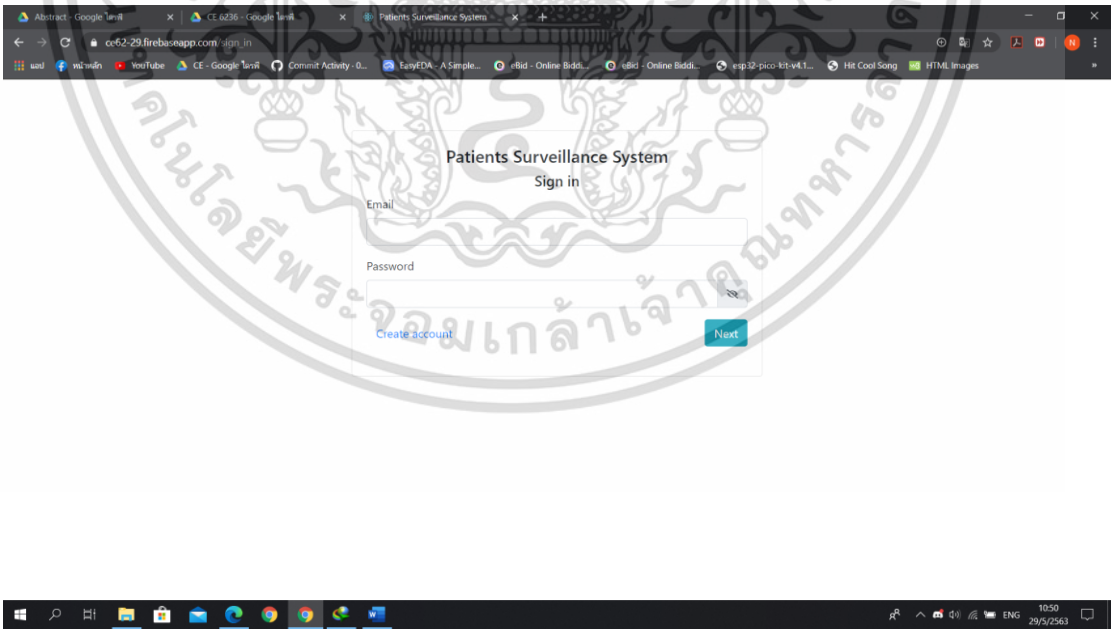
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข้า Console Firebase หน้า Authentication แสดงข้อมูลของ E-mail ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ฐานข้อมูล E-mail ผู้ใช้งานทั้งหมด

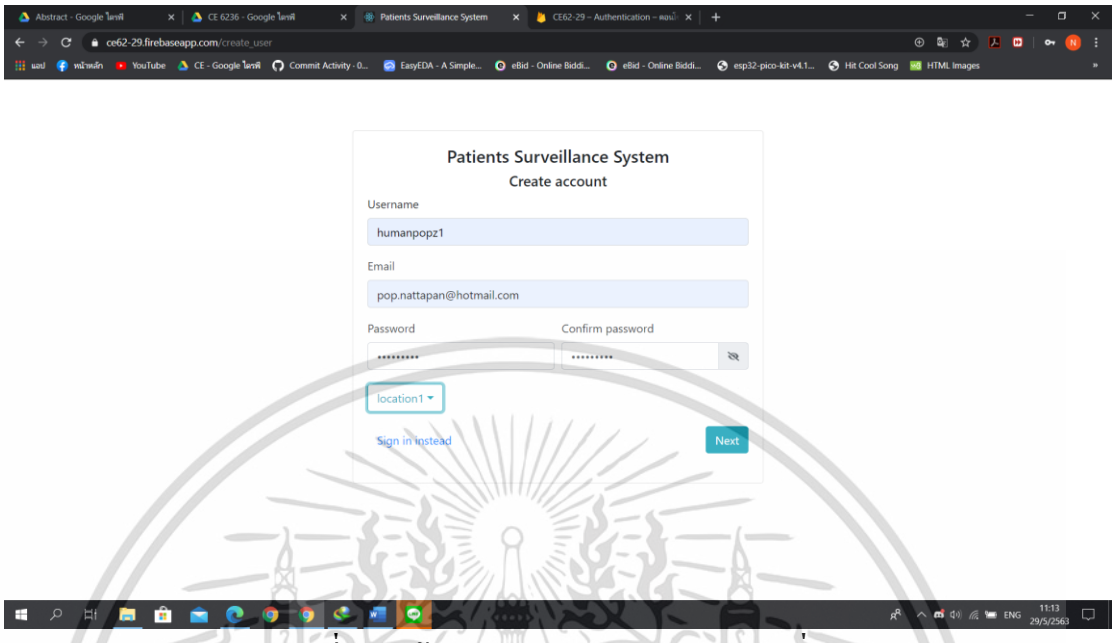
3. เข้าสู่เว็ปแอปพลิเคชั่น ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 หน้าเข้าสู่ระบบของเว็ปแอปพลิเคชั่น

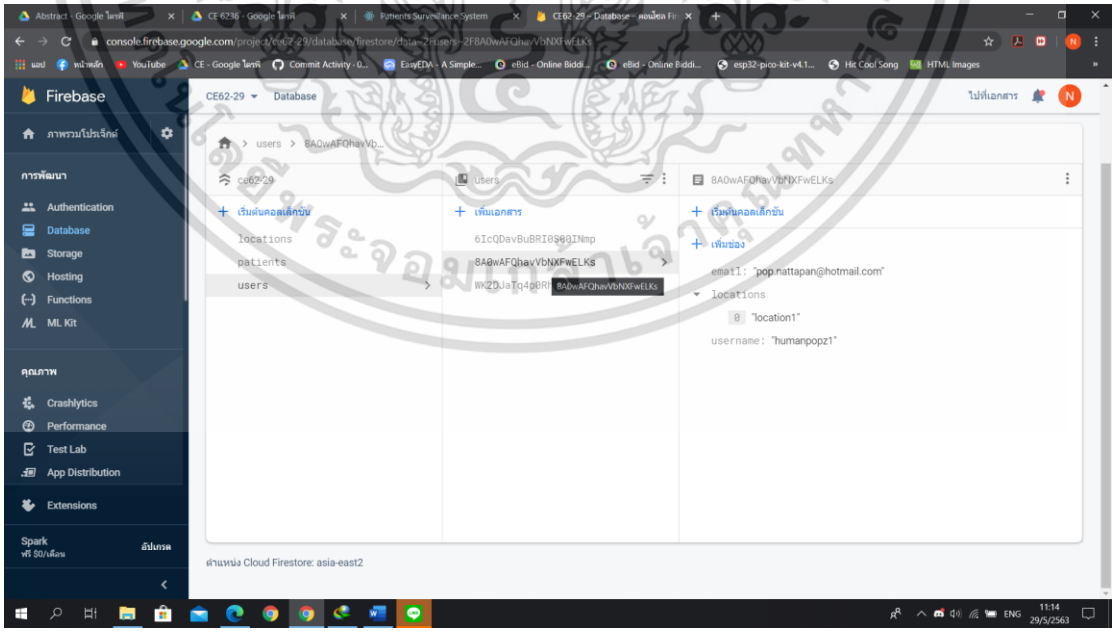
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการกด Create account เพื่อไปยังหน้าการสร้างบัญชีเข้าใช้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้า Create account เว็ปแอปพลิเคชั่น

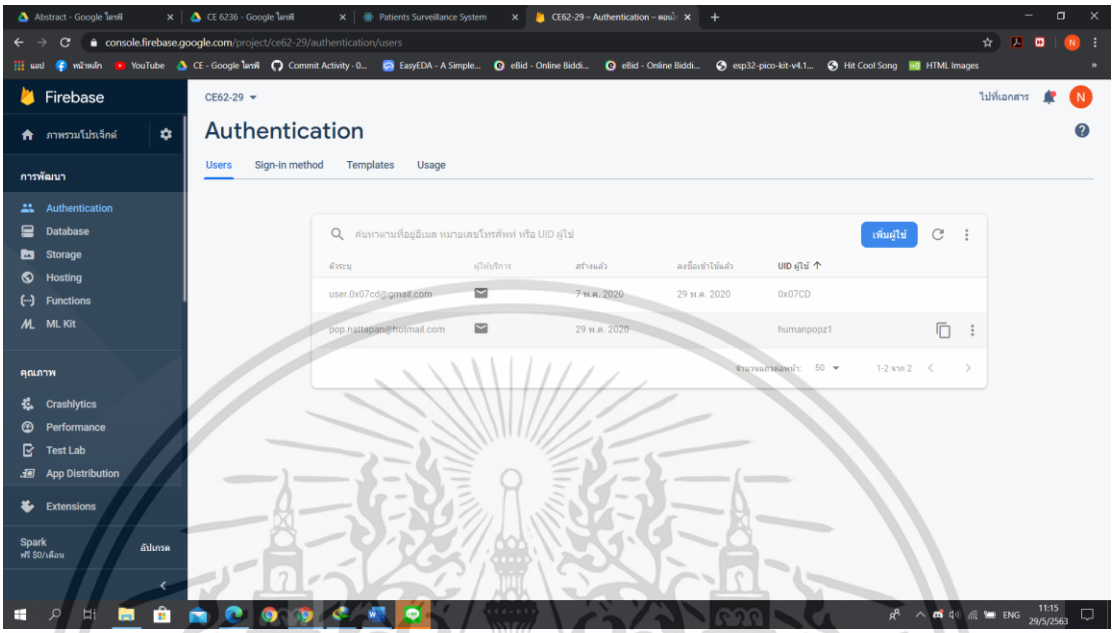
5. เข้า Console Firebase หน้า Database ดูข้อมูลของ User จะมี User ที่ชื่อ humanpopz1 เพิ่มเข้ามา ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ฐานข้อมูล User ได้มีการเพิ่มผู้ใช้งานใหม่เข้ามา

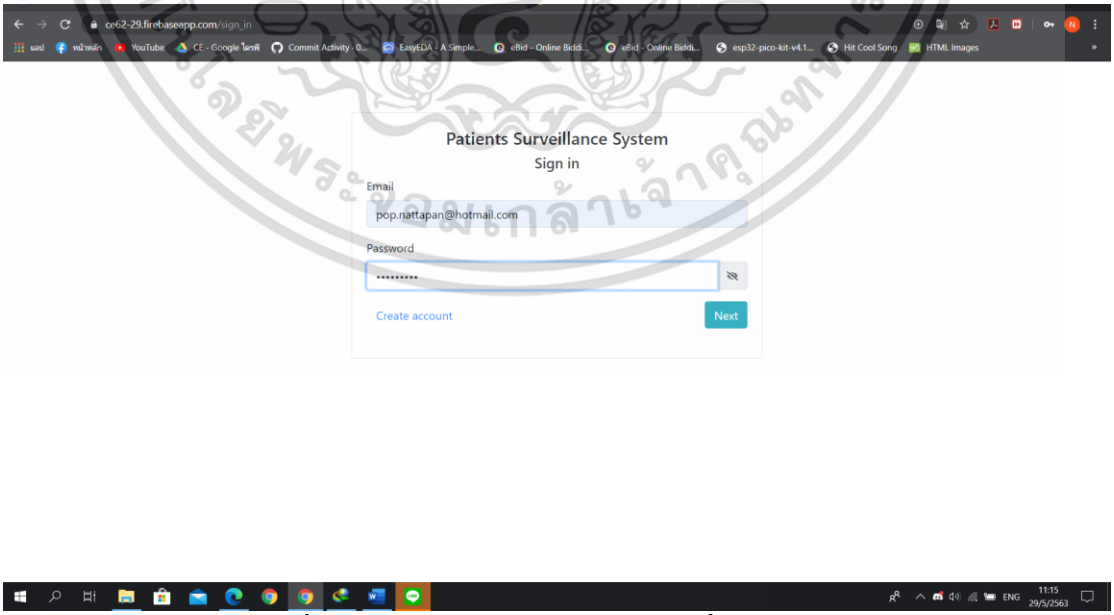
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เข้า Console Firebase หน้า Authentication ดูข้อมูลของ User จะมี E-mail ที่ชื่อ humanpopz1 เพิ่มเข้ามา ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ฐานข้อมูล E-mail ได้มีการเพิ่มผู้ใช้งานใหม่เข้ามา

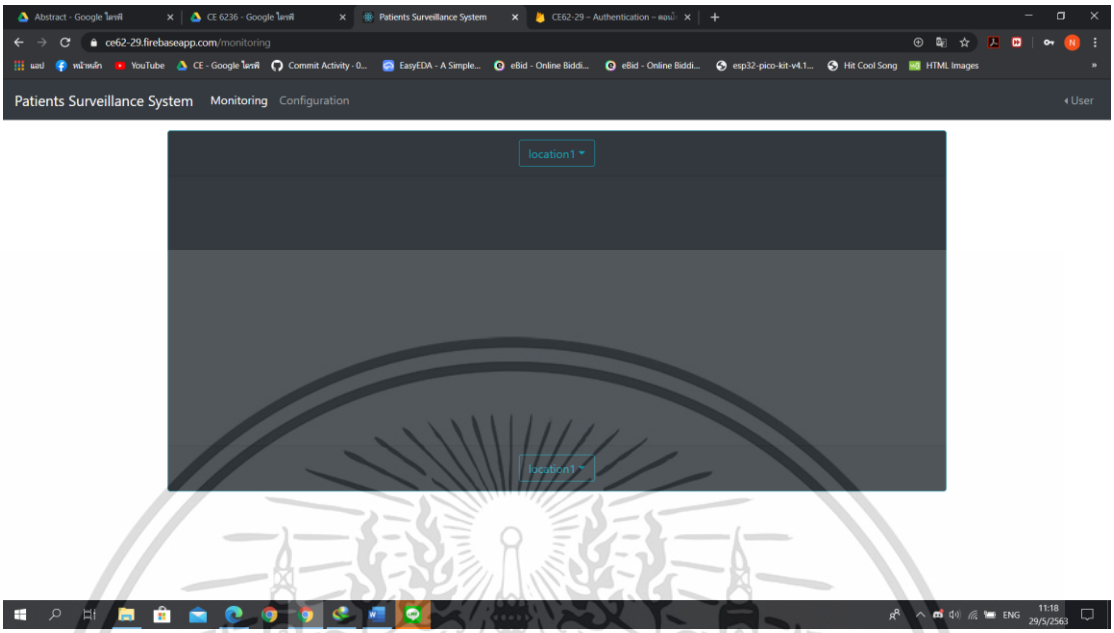
7. หลังจากสร้างบัญชีแล้วหน้าเว็ปจะเปลี่ยนไปยังหน้า “Sign in” เพื่อทำการ เข้าสู่ระบบ โดยการใส่ Email และ Password เพื่อเข้าไปใช้งานเว็ปแอปพลิเคชั่น ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กรอก Email และ Password เพื่อเข้าสู่ระบบ

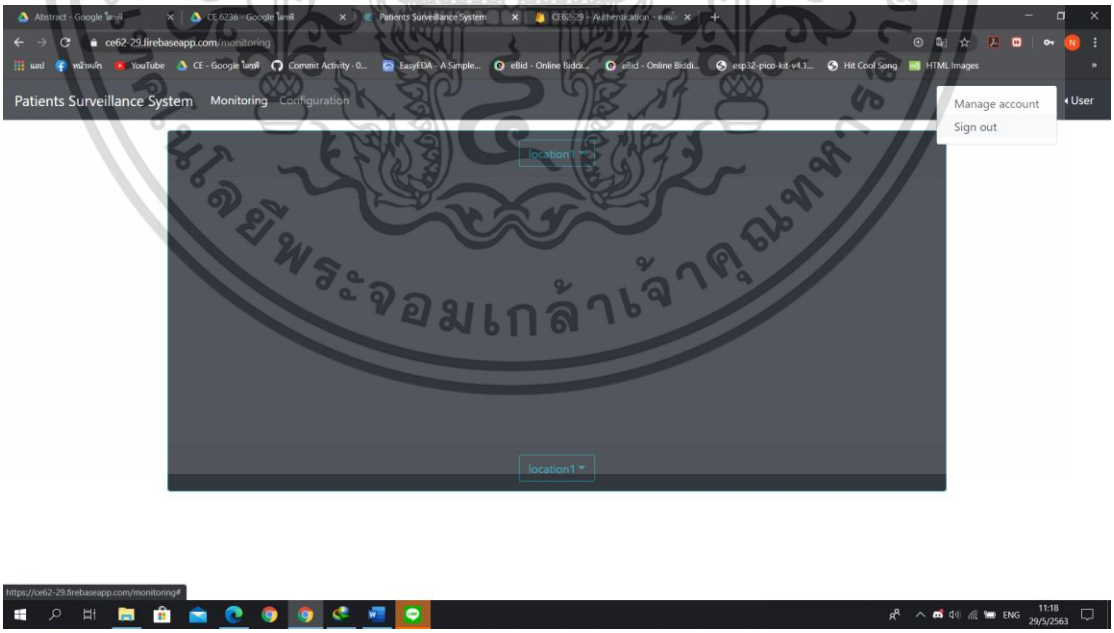
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว จะเข้ามายังหน้า Monitoring เพื่อเลือก Location ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เลือก Location

9. จะทำการ Sign Out ให้ไปคลิ๊กไปยัง User แล้วเลือก Sign Out เพื่อออกจากระบบ ดังรูปที่ 4.9



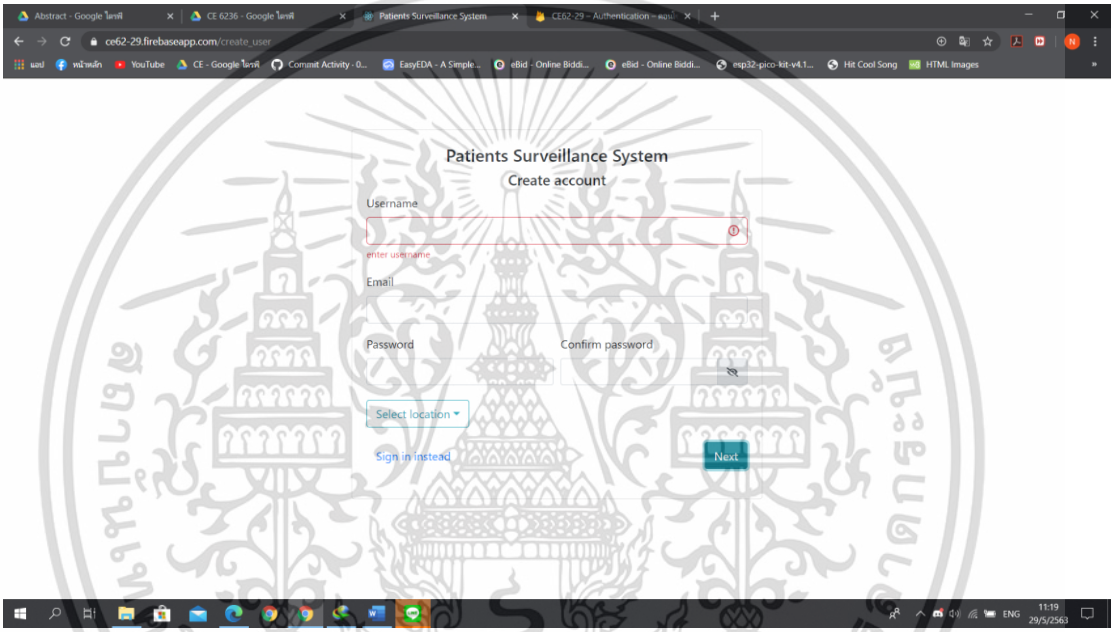
รูปที่ 4.9 ทำการออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของ Create account

ทำการสมัครบัญชีผู้เข้าใช้ในเว็ปแอปพลิเคชั่น โดยการไม่ใส่ข้อมูลลงไปในช่องต่างๆ แล้วกด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบจะแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ และ เมื่อทำการกรอก E-mail และ Password ในหน้า “Sign in” ตรงตามที่สร้างไว้ จะสามารถเข้าสู่ระบบได้หรือไม่

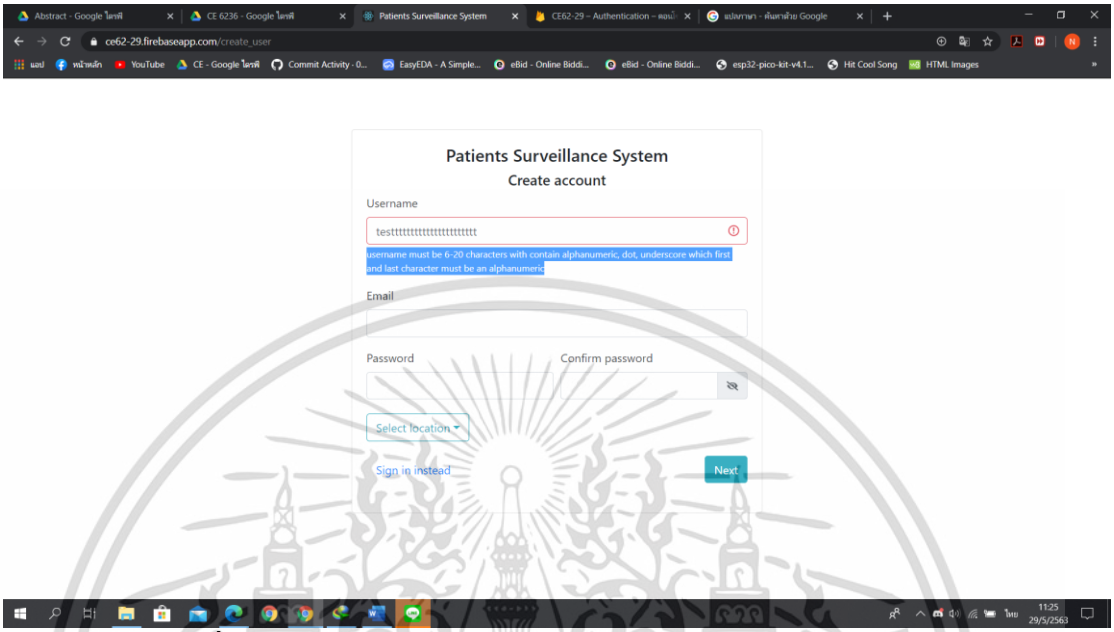
ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าในหน้า “Create account” มีการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งาน ระบุข้อมูลต่างๆ ลงในช่องที่กำหนดไว้เพื่อเก็บข้อมูลบัญชีผู้เข้าใช้ และ ในหน้า “Sign in” เมื่อการกรอก E-mail และ Password สามารถเข้าไปใช้ Web Application ได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผลการแจ้งเตือนในหน้า Create account

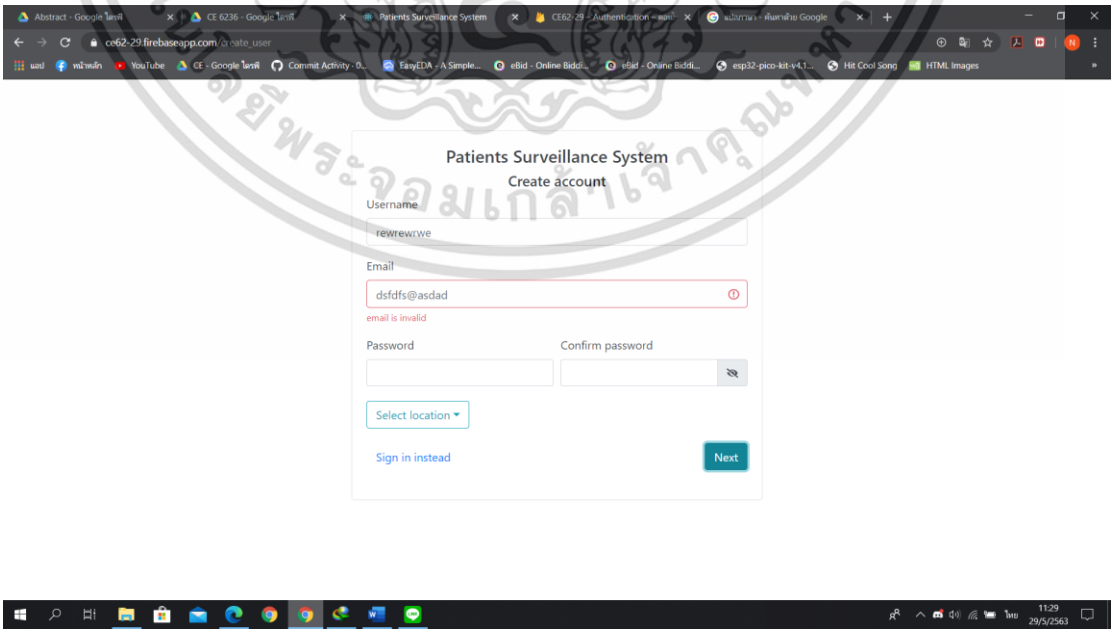
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทดสอบแต่อักษรเกิน 20 ตัวอักษร ในช่อง Username แล้วกด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่



รูปที่ 4.11 หน้า Create account มีการแจ้งเตือนให้ใส่ 6 – 20 ตัวอักษร

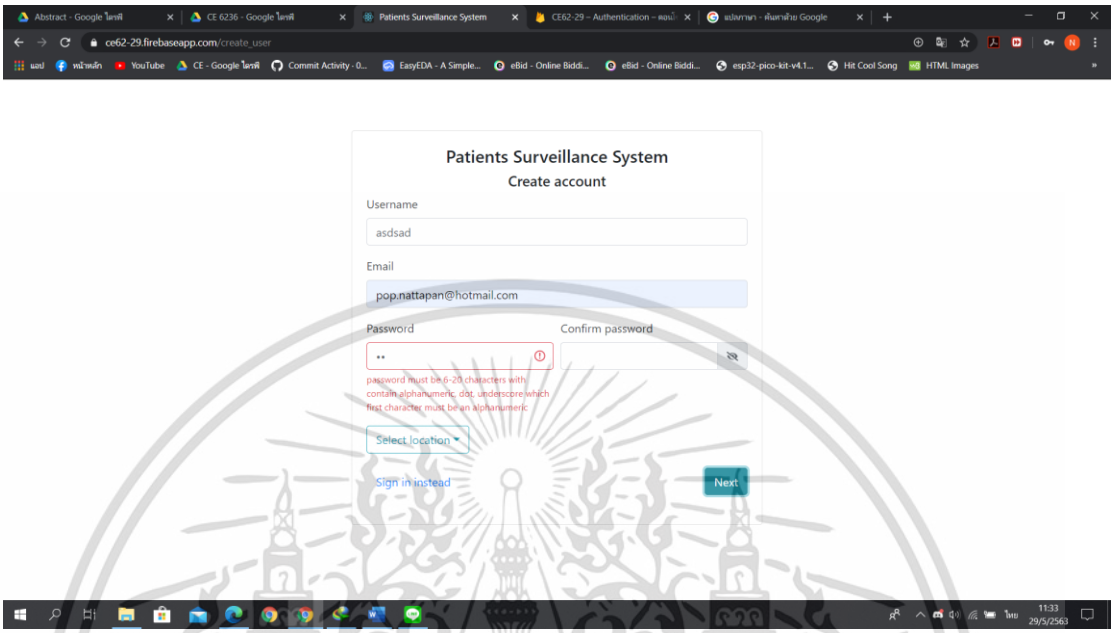
2. ทดสอบในช่อง Email โดยกรอกข้อมูลลงไปแต่ ไม่ได้กรอก.com ด้านท้าย กด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้หรือไม่



รูปที่ 4.12 หน้า Create account ได้แจ้งเตือน Email is invalid

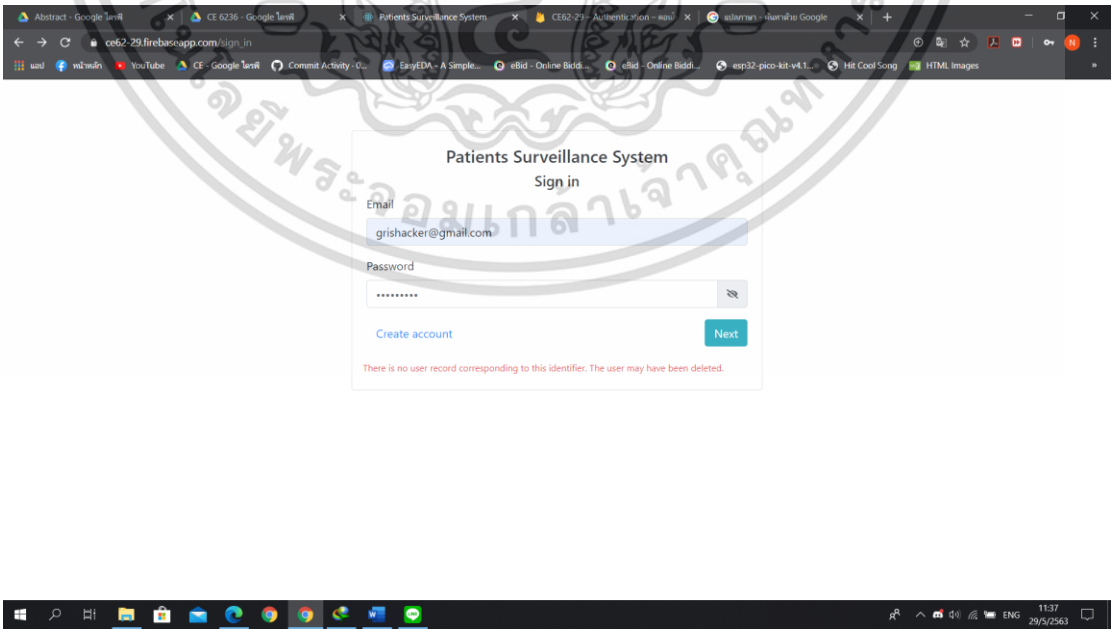
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบในช่อง Password โดยกรอกข้อมูลลงไปแค่ 2 ตัวอักษร กด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้หรือไม่



รูปที่ 4.13 หน้า Create account มีการแจ้งเตือนให้ใส่ 6 – 20 ตัวอักษร

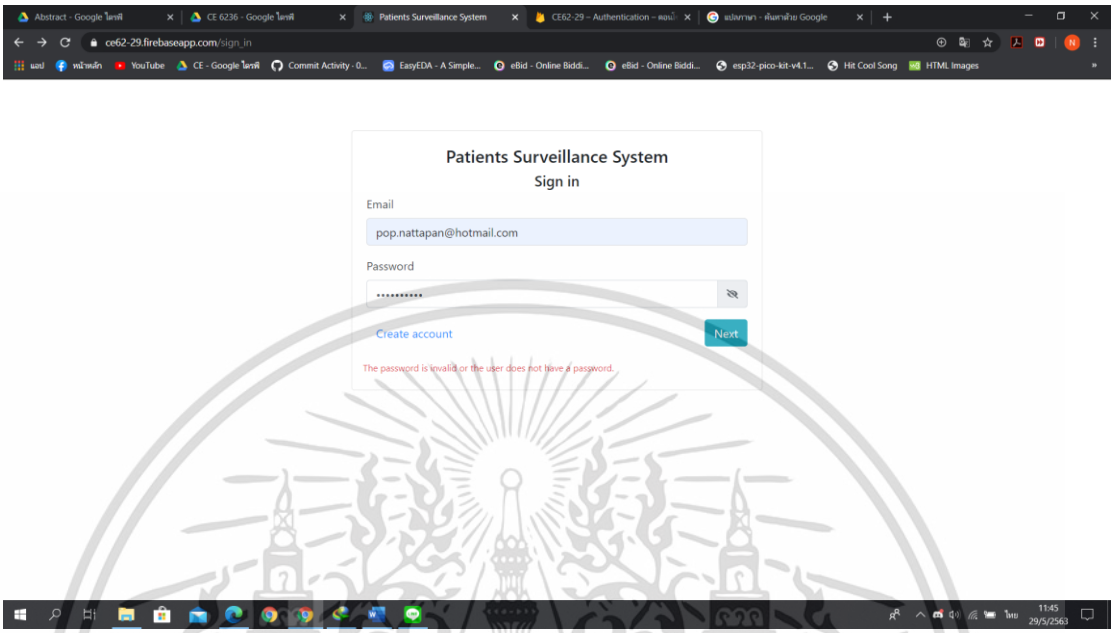
4. ทดสอบใส่ข้อมูล Email และ Password ที่ไม่ถูกต้อง กด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้หรือไม่



รูปที่ 4.14 หน้า Sign in มีการแจ้งเตือนไม่มีผู้ใช้งานในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทดสอบใส่ข้อมูล Email แต่ใส่ Password ผิด กด Next เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการแจ้งเตือนตามที่กำหนดไว้หรือไม่



รูปที่ 4.15 หน้า Sign in มีการแจ้งเตือนรหัสผ่านไม่ถูกต้อง

6. ทดสอบการแจ้งเตือนด้วย Push notification ด้วยการเปิด web browser ไว้ขณะที่เกิดเหตุการหกล้ม เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถแจ้งเตือนตามที่กำหนดได้หรือไม่

รูปที่ 4.15 การแจ้งเตือนด้วย Push Notification บน web browser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทดสอบการแจ้งเตือนด้วย Push notification ด้วยการปิด web browser ไว้ขณะที่เกิดเหตุการหกล้ม เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถแจ้งเตือนตามที่กำหนดได้หรือไม่

รูปที่ 4.16 การแจ้งเตือนด้วย Push Notification ด้วยการปิด web browser

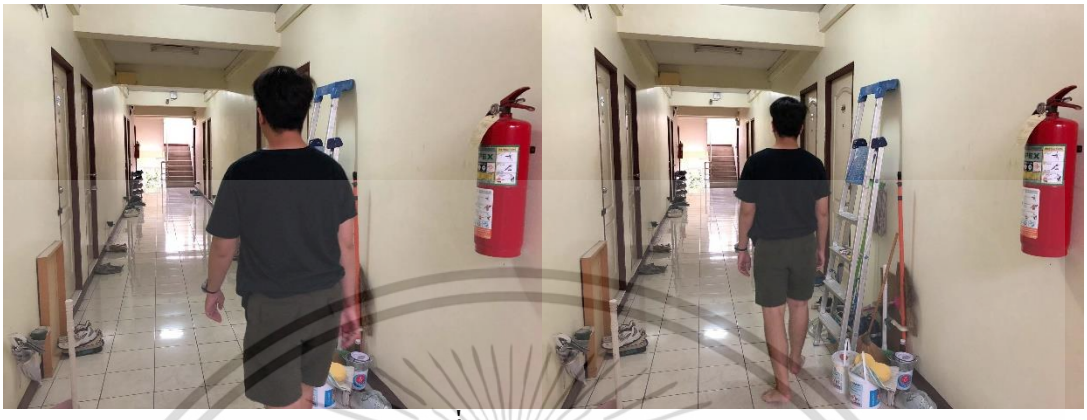
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับการหกล้มของอุปกรณ์สวมใส่

ทำการสวมใส่อุปกรณ์ที่ข้อมือของผู้ป่วยและทำการทดสอบความถูกต้องของการตรวจจับหกล้มกับท่าต่างๆ จากทั้งหมด 20 ครั้ง ภายในห้องโดยมีการคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{\text{จำนวนครั้งที่ถูกต้อง}}{\text{จำนวนครั้งที่กำหนด}} \times 100 = \text{จะได้เปอร์เซ็นความถูกต้อง}$$

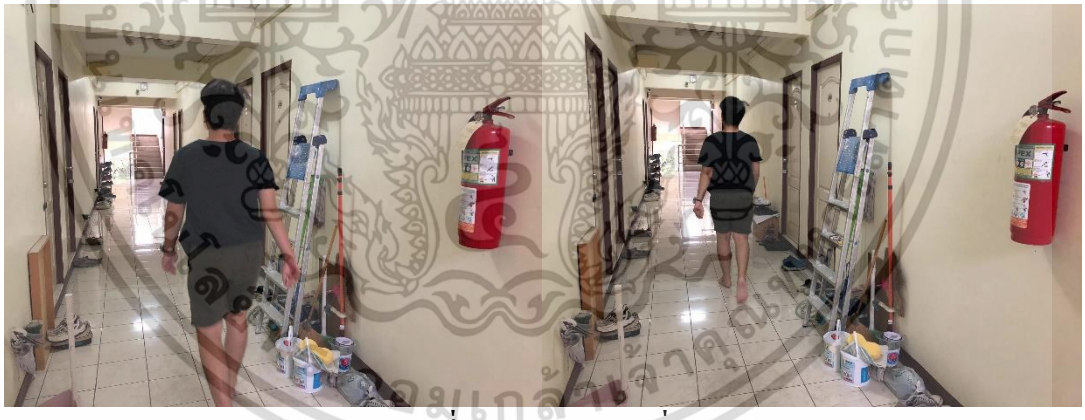
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทดสอบการเดินในระยะ 10 เมตร จำนวณ 20 ครั้ง พบค่าการตรวจจับหกล้มที่ถูกต้องทั้งหมด 100 เปอร์เซ็น



รูปที่ 4.17 ทดสอบการเดิน

2. ทดสอบการวิ่งในระยะ 10 เมตร จำนวณ 20 ครั้ง พบค่าการตรวจจับหกล้มที่ถูกต้องทั้งหมด 100 เปอร์เซ็น



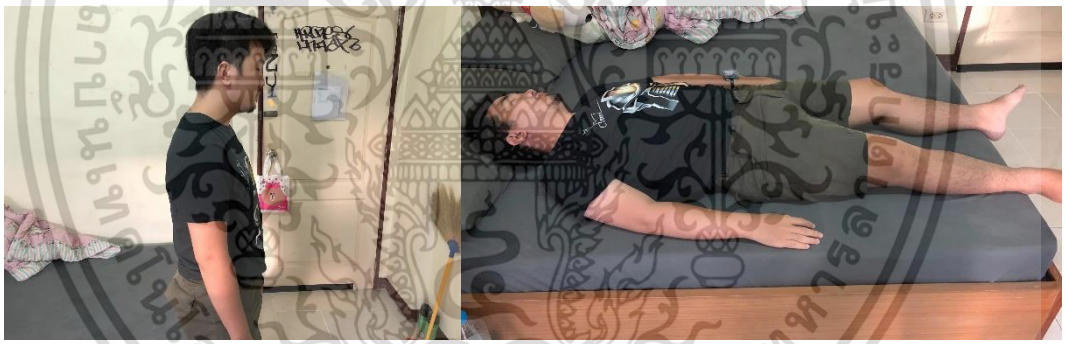
รูปที่ 4.18 ทดสอบการวิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทดสอบการลุก – นั่ง จำนวณ 20 ครั้ง พบค่าการตรวจจับหกล้มที่ถูกต้องทั้งหมด 100 เปอร์เซ็น

รูปที่ 4.19 ทดสอบการลุก-นั่ง

4. ทดสอบยืน – นอน จำนวณ 20 ครั้ง พบว่าผิดพลาดทั้งหมดจำนวณ 4 ครั้ง คิดเป็น 80 เปอร์เซ็น ของค่าการตรวจจับหกล้มที่ถูกต้อง



รูปที่ 4.20 ทดสอบการยืน-นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสบัดแขน จำนวณ 20 ครั้ง พบว่าผิดพลาดทั้งหมดจำนวณ 14 ครั้ง คิดเป็น 30 เปอร์เซ็นของค่าการตรวจจับหกล้มที่ถูกต้อง

รูปที่ 4.21 ทดสอบการสบัดแขน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทำงาน

ในการศึกษาครั้งนี้เกี่ยวกับการพัฒนาเว็ปแอปพลิเคชั่นเพื่อใช้สำหรับแสดงผลตำแหน่ง แจ้งเตือน โดยทีมผู้พัฒนาพบปัญหา และอุปสรรค ดังนี้

5.1 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานเว็ปแอปพลิเคชั่น เช่น Smartphone ,Tablet ,Personal computer มีขนาดหน้าจอการแสดงผลที่แตกต่างกัน จึงทำให้การพัฒนาเว็ปแอปพลิเคชั่นโดยรวมมีความยาก หากต้องการให้สามารถแสดงผลให้ไม่ผิดพลาด และ เว็ปบราวเซอร์ในปัจจุบันมีจำนวนมากโดยที่นิยม เช่น Google chrome ,Firefox ,Internet explorer ,Opera เป็นต้น ทำให้การเลือกใช้งาน Library หรือ Framework ที่จะนำมาพัฒนามีข้อจำกัด จึงแก้ไข้ด้วยการกำหนดบราวเซอร์ และเวอร์ชั่น ที่แอปพลิเคชั่นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ตามความเหมาะสม

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ว่า ในหน้าเว็ปแอปพลิเคชั่นสามาถทำการเข้าสู่ระบบ และสร้างบัญชีผู้ใช้งานได้ แต่ส่วนการแสดงผลของหน้าเว็ปแอปพลิเคชั่นยังไม่ลองรับกับทุกๆ อุปกรณ์เบื้องต้น ทำการทดสอบผ่านทางเว็ปบราวเซอร์ (Google chrome) ด้วย Personal computer สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Aljoscha Portner, Matthias Koenig Dennis Sprute. (2015). **Smart Fall: Accelerometer-Based Fall Detection in a Smart Home Environment.** ResearchGate.

Bootstrap. (30 5 2020). **Introduction · Bootstrap v4.5.** เข้าถึงได้จาก https://getbootstrap.com/docs/4.5/getting-started/introduction/

m5stack. (30 5 2020). **M5Stack Docs-The reference docs for M5Stack products.** เข้าถึงได้จาก m5stack: https://docs.m5stack.com/#/en/core/gray

Matt Gaut. (9 8 2019). **Service Workers: an Introduction | Web Fundamentals.** เข้าถึงได้จาก https://developers.google.com/web/fundamentals/primers/service-workers?fbclid=IwAR2LtpQFk-pLNJ-74dPn73h83hcHHH68YI35L4Qshr-NXOGs68lZ3LX1hB4

reactjs. (30 5 2020). **Getting Started – React.** เข้าถึงได้จาก https://reactjs.org/docs/getting-started.html

thaieasyelec. (31 may 2019). **บทความ ESPino32 ตอนที่ 1 แนะนำบอร์ด ESPino32.** เข้าถึงได้จาก thaieasyelec: https://www.thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/01-espino32-intro.html

เกรียงไกร มณีรัตน์. (2012). **การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารแบบหลายชั้นโดยใช้เทคนิคแบบผสม.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้