วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

บทความวิจัย

ระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร

หทัยรัตน์ เกตุมณีชัยรัตน์[1*] และ บรรณทัศน์ สร้อยระย้า[2]

[1] ภาควิชาการจัดการเทคโนโลยีการผลิตและสารสนเทศ, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] บริษัท ไอโอเมด เทคโนโลยี จำกัด
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: hathairat.k@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 1 กันยายน 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 19 ตุลาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 26 ตุลาคม 2565
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ: ระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารของวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ ของใช้ พนักงาน และผู้ป่วยที่มีการนำออกไปนอกพื้นที่หรือถูกขโมยแบบเรียลไทม์ที่มีความแม่นยำระดับเซนติเมตรโดยใช้เทคโนโลยี Bluetooth 5.1 แบบ AOA (Angle of Arrival) โดยระบบจะประกอบด้วยส่วนที่ 1 ฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบฯ จำนวน 1 ชุด และส่วนที่ 2 ซอฟต์แวร์ระบบฯ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์จะมีตัวรับสัญญาณ (Receive Node) ที่จะต้องนำไปติดตั้งให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่หรือห้องต่าง ๆ ในบริเวณอาคาร โดยพิจารณาถึงระดับสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการค้นหา และตัว Tag ที่ติดกับอุปกรณ์หรือบุคคลเพื่อส่งสัญญาณ ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ระบบฯ จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นการแสดงผลทางแผนที่ (Map) เพื่อใช้ในการค้นหา และส่วนที่เป็นการจัดการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Administration) โดยผลการทดสอบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรนั้นมีความแม่นยำในระดับเซนติเมตรและมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากสถานที่ทดสอบครั้งที่ 1 ประมาณ 67.1 เซนติเมตร และครั้งที่ 2 ประมาณ 40.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าสัญญาณ Bluetooth แบบทั่วไปที่มีความคลาดเคลื่อน 300-500 เซนติเมตร และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

คำสำคัญ: เรียลไทม์; ระบบติดตามตำแหน่ง; เซนติเมตร; ตำแหน่ง; ตัวรับสัญญาณ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

บทความวิจัย

Centimeter Indoor Real-Time Location System

Hathairat Ketmaneechairat[1*] and Banatus Soiraya[2]

[1] Department of Information and Production Technology Management, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] IO MED TECHNOLOGIES Co., Ltd.

[*] Corresponding author, E-mail: hathairat.k@cit.kmutnb.ac.th

Received: 1 September 2022; Revised: 19 October 2022; Accepted: 26 October 2022
Online Published: 15 December 2022

Abstract: Centimeter-level real-time indoor location tracking system has been developed as a prototype of a real-time tracking system for indoor location tracking for tools, equipment, supplies, staff, and patients that have been taken outside the area or stolen with centimeter accuracy using the AOA (Angle of Arrival) and Bluetooth 5.1 technology. The system consists of part 1 hardware for use in the system and part 2 software system. The hardware part has a set of receivers (Receive Nodes) that must be installed to cover different areas or rooms in the building by considering the signal level to cover the searched area and the tags attached to the devices or the persons for transmitting the signal. The part of the software system consists of a section that displays a map (Map) for searching and a device management part (Administration). The results of the ten centimeter-scale real-time indoor location tracking systems tests were accurate to the centimeter scale and had an average deviation from the first test were approximately 67.1 centimeters and the second test were approximately 40.5 centimeters respectively, which were better than conventional Bluetooth signals with a deviation of 300-500 centimeters and is according to our research objectives.

Keywords: Real Time; Location System; Centimeter; Location; Receive Node

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

1. บทนำ

ปัจจุบันถึงแม้ว่าการใช้ระบบ GPS นั้นเป็นที่นิยมแพร่หลายสำหรับการนำทางและการติดตามรถ วัตถุ อุปกรณ์ เนื่องจากการใช้ดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก แต่ทว่าการใช้งานระบบดังกล่าวจะไม่สามารถเป็นไปได้ถ้าอยู่ภายในอาคารสถานที่ปิดที่ไม่สามารถรับสัญญาณได้ประกอบทั้งเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ต่างๆ เช่น WIFI และ Bluetooth ที่นำมาใช้สำหรับการบอกตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning Systems) เองนั้นส่วนใหญ่จะใช้การประมาณจากค่า Receiver's Received Signal Strength Indicator (RSSI) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์การหาทิศทางที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงในระดับเมตร เช่น ใน Bluetooth 3-5 เมตร และ WIFI จะมีค่าสูงกว่า 5 เมตร โดยประมาณ ดังนั้นจึงส่งผลให้การบอกตำแหน่งภายในอาคาร หรือการติดตามวัตถุ และบุคคลให้ผลที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงค่อนข้างสูงส่งผลให้คุณภาพการบริการเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามได้มีเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wide Band: UWB) ซึ่งใช้ความถี่ย่าน 3.1-10.6 GHz มาแก้ไขปัญหานี้แต่ต้นทุนยังสูงมากอยู่ ปัจจุบันเองทางกลุ่ม Bluetooth SIG ได้ออกข้อกำหนด Bluetooth Direction Finding [1] มาในมาตรฐาน Bluetooth 5.1 เรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะทำให้การหาทิศทาง (Direction finding) มีความแม่นยำสูงมากขึ้นโดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ Angle of Arrival (AOA) [2] และ Angle of Departure (AOD) การหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์ไร้สายจะใช้วิธีการ Angle of Arrival (AOA) เป็นการค้นหาตำแหน่งของวัตถุจากทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกมาจากวัตถุถึงจุดรับสัญญาณจำนวนตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป หรือเรียกว่าวิธีการ Triangulation [3-6] Angle of Departure (AOD) เป็นวิธีการคำนวณมุมที่ออกจากตัวส่งสัญญาณ การใช้ AOA นั้นตัวรับต้องเป็นแบบ Multi-Antenna Array ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์การหาทิศทางมีค่าความแม่นยำที่สูงมากในระดับเซนติเมตร (โดยประมาณ คือ 30-50 เซนติเมตร) และยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าซึ่งถ้านำมาประยุกต์ใช้งานกับ Real time Locating System (RTLS) [7] เข้าด้วยกันจะทำให้การติดตามมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [8,9]

ตัวอย่างการใช้งาน Real Time Locating Systems (RTLS) [10] ในงานบริการด้านสุขภาพ เช่น โรงพยาบาลจะช่วยทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการอุปกรณ์ราคาแพง เช่น IV Pump และเครื่องช่วยหายใจผู้ป่วยวิกฤติลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การใช้งาน RTLS ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน สำหรับงานด้านคลังสินค้า [11] เช่น การติดตามตำแหน่งของรถยกพาเลทและคนงานในคลังสินค้า ก็มีการนำ RTLS ไปใช้งานเพื่อการจัดการที่ดีขึ้นของทรัพยากรและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของวัสดุได้เช่นเดียวกัน

โรงพยาบาลจำนวนมากในสหรัฐอเมริกาและยุโรปได้มีการติดตั้ง RTLS และนำมาประยุกต์เข้ากับ HIS หรือ Hospital Information System ซึ่งเมื่อมี RTLS มาเชื่อมต่อด้วยแล้ว การติดตามเครื่องมือทางการแพทย์ที่มีความสำคัญจะสามารถช่วยลดเวลาการเข้าถึงเครื่องมือและลดการสูญหายได้เป็นอย่างมาก

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

การติด Tag ไว้ที่ตัวคุณหมอก็สามารถเรียกตัวคุณหมอที่อยู่ใกล้กับผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการลงทุน RTLS ถือเป็นการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนอย่างรวดเร็ว เพราะเพียงช่วยชีวิตคนไข้ได้ 1 ราย ก็ถือว่าคุ้มค่าแล้ว

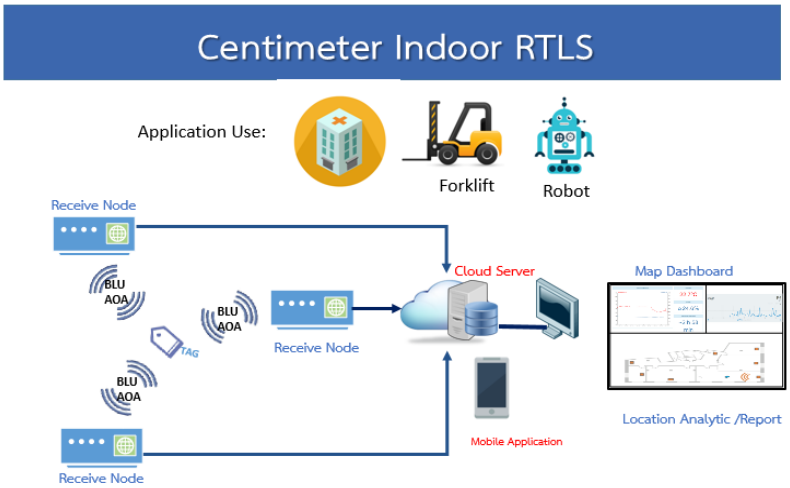
Benjamin Tatham และ T. Kunz [12] ได้ทำงานวิจัยที่นำเสนอผลกระทบของตำแหน่งในการวางโหนดอ้างอิง ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบระบบเครือข่ายและผู้ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ต้องการประเมินคุณภาพของสมรรถนะในการระบุตำแหน่ง โดยการวิจัยนี้ได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบในการหาตำแหน่งในการวางโหนดอ้างอิงที่ดีที่สุด คือ ค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของตำแหน่งโหนดอ้างอิง พื้นที่ครอบคลุมของเครือข่าย และคุณลักษณะของรูปสามเหลี่ยมที่ลากจากโหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งจำนวน 3 โหนด

ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยี Bluetooth 5.1 ที่มีความสามารถหาทิศทาง (Direction Finding) โดยใช้เทคนิคแบบ Angle of Arrival (AOA) มาพัฒนาเพื่อตอบสนองต่อความต้องการและนำมาประยุกต์เพื่อทดสอบใช้งานกับหน่วยงานต่าง ๆ เช่น โรงพยาบาล เพื่อเป็นการบริการติดตามผู้ป่วย หรือการค้นหาอุปกรณ์ทางการแพทย์ และสำหรับโรงงาน หรือคลังสินค้า เพื่อใช้ในการติดตามของในโรงงาน หรือคลังสินค้าให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาระบบฯ จะประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ (1) ฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบฯ จำนวน 1 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วยตัวรับสัญญาณ (Receive Node) ให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการและห้องที่ต้องการใช้งาน (2) ซอฟต์แวร์ระบบฯ ในรูปแบบคลาวด์ จำนวน 1 ระบบ โดยจะมีระยะการพัฒนาและการนำไปทดสอบกับหน่วยงาน โรงพยาบาล และโรงงาน หรือคลังสินค้า จำนวน 10 แห่ง โดยผลที่ได้รับจะนำมาทำรายงานสรุปและนำมาปรับปรุงการใช้งานให้มีประสิทธิภาพต่อไป

ระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารของวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ ของใช้ พนักงาน และผู้ป่วยที่มีการนำออกไปนอกพื้นที่หรือขโมยแบบเรียลไทม์ ที่มีความแม่นยำระดับเซนติเมตร จำนวน 1 ระบบ โดยระบบที่จะนำไปติดตั้งจะต้องมีความครอบคลุมบริเวณพื้นที่หรือห้องต่าง ๆ ภายในบริเวณอาคาร ซึ่งจากรูปที่ 1 จะมีจำนวนทั้งสิ้น 3 หน่วยและอาจจะมีมากกว่านี้ได้ โดยพิจารณาถึงระดับสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการค้นหา ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ระบบฯ จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นการแสดงผลทางแผนที่ (Map) เพื่อใช้ในการค้นหาและส่วนที่เป็นการจัดการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Administration) โดยหลังจากที่ได้มีการพัฒนาระบบฯ เรียบร้อยแล้วจะมีการนำระบบฯ ที่ได้ไปทำการทดสอบการใช้งานกับโรงพยาบาล และโรงงาน หรือคลังสินค้า จำนวน 10 แห่ง โดยมีภาพรวมของระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร ดังรูปที่ 1

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบ Centimeter Indoor Real Time Location System

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

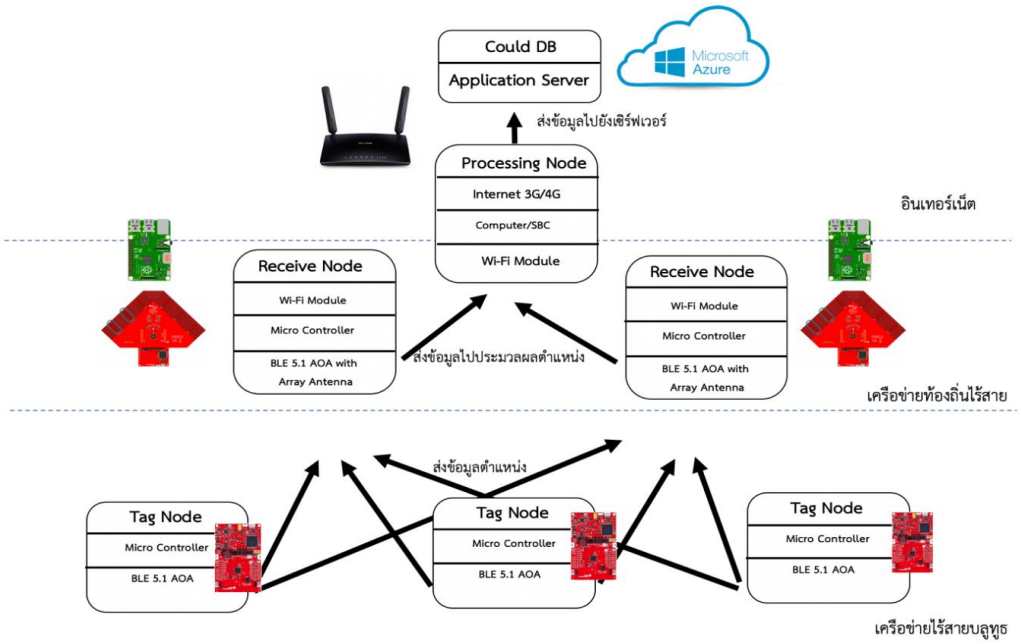
องค์ประกอบหลักของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารของระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรนี้แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วย ตัวรับสัญญาณ (Receive Node) หรือ โหนดอ้างอิง (Reference Node) โหนดวัตถุ (Target Node) หรือตัว Tag Node โหนดประมวลผล (Processing Node) และแอพพลิเคชั่นเซิร์ฟเวอร์ (Application Server) ซึ่งโหนดวัตถุจะเป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่สามารถเคลื่อนที่ได้สำหรับนำไปติดตั้งสิ่งของที่ต้องการติดตามตำแหน่ง โดยมีโหนดอ้างอิงเป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ทำหน้าที่รับค่าความแรงของสัญญาณและมุมของโหนดวัตถุต่าง ๆ โหนดอ้างอิงนี้จะถูกติดตั้งในส่วนต่าง ๆ ของอาคารเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของโหนดวัตถุ ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังโหนดประมวลผลเพื่อคำนวณหาตำแหน่งของโหนดวัตถุ แล้วส่งไปยังแอพพลิเคชั่นเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อแสดงตำแหน่งของโหนดวัตถุและบริหารจัดการระบบ ทั้งนี้โหนดประมวลผลอาจจะอยู่ในแอพพลิเคชั่นเซิร์ฟเวอร์ก็ได้ จากรูปที่ 3 เป็นการนำเสนอพัฒนาฮาร์ดแวร์ของระบบโดยโหนดวัตถุได้ใช้อุปกรณ์ Ti LCC26X2R1 จะส่งสัญญาณการค้นหาทิศทางพิเศษไปยังโหนดอ้างอิงที่ประกอบด้วย Ti CC26X2R1 และ Raspbery Pi 3 ซึ่งในโหนดอ้างอิงจะมี BOOSTXL-AOA ที่เป็นสายอากาศหลายตัวจัดเรียงในอาเรย์ ทำหน้าที่อ่านค่า Angle of Arrival (AOA) ที่เป็นวิธีที่ใช้สายอากาศเพื่อหาเส้นทางจากอุปกรณ์ โดยจะมีการกำหนดทิศทางเมื่อมีสัญญาณที่ส่งผ่านไปยังอาเรย์ ส่วนของภาครับสัญญาณของโหนดอ้างอิงจะเห็นความแตกต่างของเฟสสัญญาณเนื่องจากความแตกต่างของระยะทางจากสายอากาศแต่ละอันในแต่ละอาเรย์กับสายอากาศส่งสัญญาณ โดยจะใช้ตัวอย่าง IQ ของสัญญาณขณะสลับระหว่างสายอากาศที่ใช้งานอยู่ในอาเรย์ ตามข้อมูลตัวอย่าง IQ เมื่อได้ข้อมูลการคำนวณทิศทางสัมพัทธ์ด้วยวิธีการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

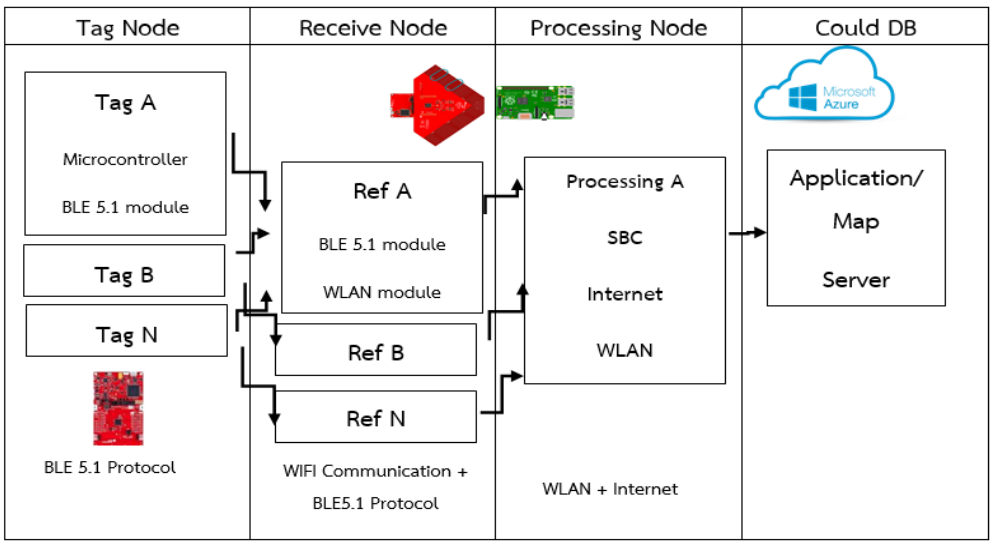
ค้นหาทิศทางของ AOA แล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเพย์โหลด (Payload) โดยข้อมูลที่ได้จะถูกส่งต่อไปยัง Raspbery Pi 3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นโหนดประมวลผลด้วย เพื่อคำนวณหามุมที่ได้จากโหนดอ้างอิงและโหนดวัตถุ ซึ่งในโหนดนี้จะมีการเชื่อมต่อกับเครือข่าย WIFI ของ WIFI router ที่ต่ออยู่กับอินเตอร์เน็ต เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังฐานข้อมูลที่เป็นอยู่บนคลาวด์ของ Microsoft Azure ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เมื่อคลาวด์ได้รับข้อมูลเข้ามาคลาวด์ได้ทำการแบ่งส่วนข้อมูลของเพย์โหลดออก เพื่อให้ทราบตำแหน่งของข้อมูลของเพย์โหลดและทราบตำแหน่งของโหนดวัตถุ แล้วบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่ส่งมายังฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านทางหน้าจอ

รูปที่ 3 อธิบายการทำงานภาพรวมของระบบ โดยเริ่มทำงานจาก Ti CC26X2R1 ซึ่งเป็นโหนดวัตถุแต่ละตัวจะส่งสัญญาณผ่านเครือข่ายไร้สายแบบบลูทูธโดยใช้โพรโทคอล BLE 5.1 เมื่อ Ti CC26X2R1 และ Raspbery Pi 3 ซึ่งเป็นโหนดอ้างอิงได้รับค่ามาจากโหนดวัตถุ ก็จะนำข้อมูล IQ มาคำนวณทิศทางสัมพัทธ์ด้วยวิธีการค้นหาทิศทางของ AOA แล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเพย์โหลด (Payload) และส่งไปยัง Raspbery Pi 3 ซึ่งเป็นโหนดประมวลผลผ่านโพรโท-คอลสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่เข้ามาช่วยรองรับการส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์และมีฟังก์ชันเรียกกลับ สำหรับตรวจสอบว่าสามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดประมวลผลได้หรือไม่ เมื่อส่งข้อมูลไปยังโหนดประมวลผลแล้วโหนดอ้างอิงถูกตั้งค่าให้ตรวจจับข้อมูลโหนดวัตถุและส่งไปยังโหนดประมวลผลอีกครั้ง เมื่อข้อมูลถูกส่งมายังโหนดประมวลผล โหนดประมวลผลทำหน้าที่รอรับข้อมูลเพียงอย่างเดียวและเมื่อได้รับข้อมูลเข้ามา โหนดประมวลผลทำการตรวจสอบขนาดของเพย์โหลดว่าตรงกับขนาดที่กำหนดไว้หรือไม่ก่อนทำการจะคำนวณหาตำแหน่งของโหนดวัตถุ แล้วส่งต่อข้อมูลไปยังฐานข้อมูลบนคลาวด์ของ Microsoft Azure ที่เป็นคลาวด์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เมื่อคลาวด์ได้รับข้อมูลเข้ามาคลาวด์ได้ทำการแบ่งส่วนข้อมูลของเพย์โหลดออกเพื่อให้ทราบตำแหน่งของข้อมูลของเพย์โหลดและทราบตำแหน่งของโหนดวัตถุ แล้วบันทึกข้อมูลตำแหน่งที่ส่งมายังฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านทางหน้าจอ การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ให้ครอบคลุมพื้นที่การทำงาน (Coverage Area) เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเทคโนโลยีแบบ Bluetooth 5.1 ความถี่ 2.4 Ghz จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ Receive Node หลายตัวให้ครอบคลุมโดยตัวอย่าง ดังรูปที่ 4 ลักษณะของสัญญาณ Bluetooth 5.1 จะแพร่ครอบคลุมพื้นที่ทำงานได้ 20-50 เมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะของสิ่งกีดขวางในแต่ละชั้น ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์จะเป็นการติดตั้ง Receive Node ให้มีระยะห่างระหว่างกัน 20-50 เมตร เป็นต้น หรือจำเป็นต้องวางในพื้นที่เฉพาะเสริมเพิ่มเติมในตำแหน่งที่เป็นจุดอับสัญญาณ ทั้งนี้จะต้องมีการสำรวจวัดค่าสัญญาณจากโปรแกรมตรวจจับสัญญาณ Bluetooth ที่สามารถติดตั้งบนมือถือได้ เช่น Bluetooth Signal Detection เพื่อหาความครอบคลุมของสัญญาณ เป็นต้น ในรูปที่ 4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ Receive Node จำนวน 8 ตัวหรือ 10 ตัวในแต่ละชั้นเพื่อให้สามารถทำงานได้ครอบคลุมพื้นที่ โดยอุปกรณ์ Receive Node มีการเชื่อมต่อสัญญาณ WIFI ไปยัง WIFI Router เพื่อส่งข้อมูลต่อไปประมวลผลที่ Cloud Server ต่อไป

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

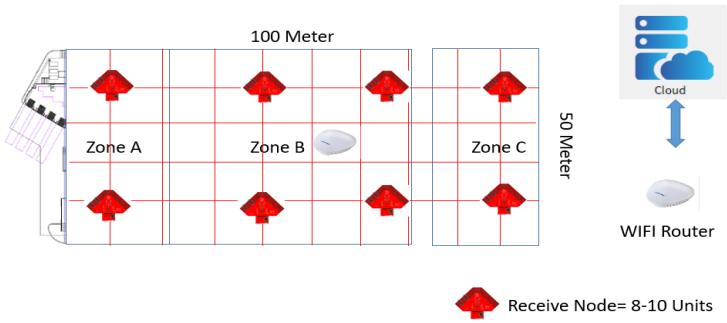


รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของระบบการส่งข้อมูล



รูปที่ 3 ภาพรวมการออกแบบการทำงานของระบบสำหรับการส่งข้อมูล

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ Receive Node ในพื้นที่ 5000 ตารางเมตร (50*100 เมตร)

2.2 การวิเคราะห์และออกแบบซอฟต์แวร์

แนวคิดในการออกแบบระบบ (System Design) เป็นการออกแบบและสร้างระบบตามแนวความคิดเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร ซึ่งมีการออกแบบการทำงานของระบบตามการเข้าใช้งานของผู้ใช้ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) Super User (ผู้ใช้ของสำนักงานใหญ่ ที่มีสิทธิสูงสุดในระบบ) (2) Administrator User (ผู้ดูแลระบบของแต่ละสถานที่) และ (3) General User (ผู้ใช้งานทั่วไป) โดยการทำงานสามารถอธิบายตามหน้าที่ของแต่ละประเภทของผู้ใช้ได้ดังนี้

Super User เป็นผู้ที่สามารถสร้างประเภทของอุปกรณ์ไว้ในระบบเพื่อที่จะให้ Administrator นำประเภทของอุปกรณ์ไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ในสถานที่ของตนเอง และสร้าง Location ต่างๆ เพื่อเตรียม Assign ให้กับ Administrator ของแต่ละพื้นที่ (1 สถานที่: 1 Administrator) และสร้างผู้ใช้งานในระบบ

Administrator เป็นผู้ที่สามารถจัดการข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ หลังจากที่ได้รับ Username และ Password มาแล้ว จะมีสิ่งที่สามารถจัดการได้ คือ การแก้ไขข้อมูลบางส่วนของสถานที่ของตนเองที่ตนเองรับผิดชอบ (1 สถานที่: 1 Administrator) ในส่วนนี้จะเป็นการเพิ่ม หรือ แก้ไข รูปภาพแผนที่ ข้อมูลพิกัดสถานที่ในแต่ละมุม (ที่คิดว่ามีความจำเป็นต่อการระบุกรอบของพื้นที่) นอกเหนือจากส่วนนี้จะเป็นการจัดการข้อมูลผู้ใช้งานภายใต้สถานที่ของตนเอง การจัดการอุปกรณ์ในสถานที่ของตนเอง และการดูข้อมูลของอุปกรณ์บนแผนที่

General User เป็นผู้ที่สามารถดูข้อมูลของอุปกรณ์ และข้อมูลอุปกรณ์บนแผนที่ของสถานที่ของตนเองได้เพียงเท่านั้น

รูปที่ 5 แสดง ER Diagram เป็นการออกแบบแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีการจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลของระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของผู้ใช้งาน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

ส่วนของอุปกรณ์ และส่วนของสถานที่ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนของผู้ใช้งาน ในส่วนนี้จะมีที่เกี่ยวข้องก็คือ

- Role จะใช้ในการเก็บประเภทของผู้ใช้ (User Type) ต่างๆ ที่เป็น Master Data
- User จะใช้ในการเก็บข้อมูลผู้ใช้งานส่วนของสถานที่ ในส่วนนี้จะมีที่เกี่ยวข้องก็คือ
- Location_config ใช้ในการระบุว่าสถานที่นี้ User Admin คนไหนเป็นคนดูแล
- Location ใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง
- Image ใช้ในการเก็บรูปภาพของตำแหน่งนั้น
- Image_type ใช้ในการเก็บประเภทของรูปภาพ

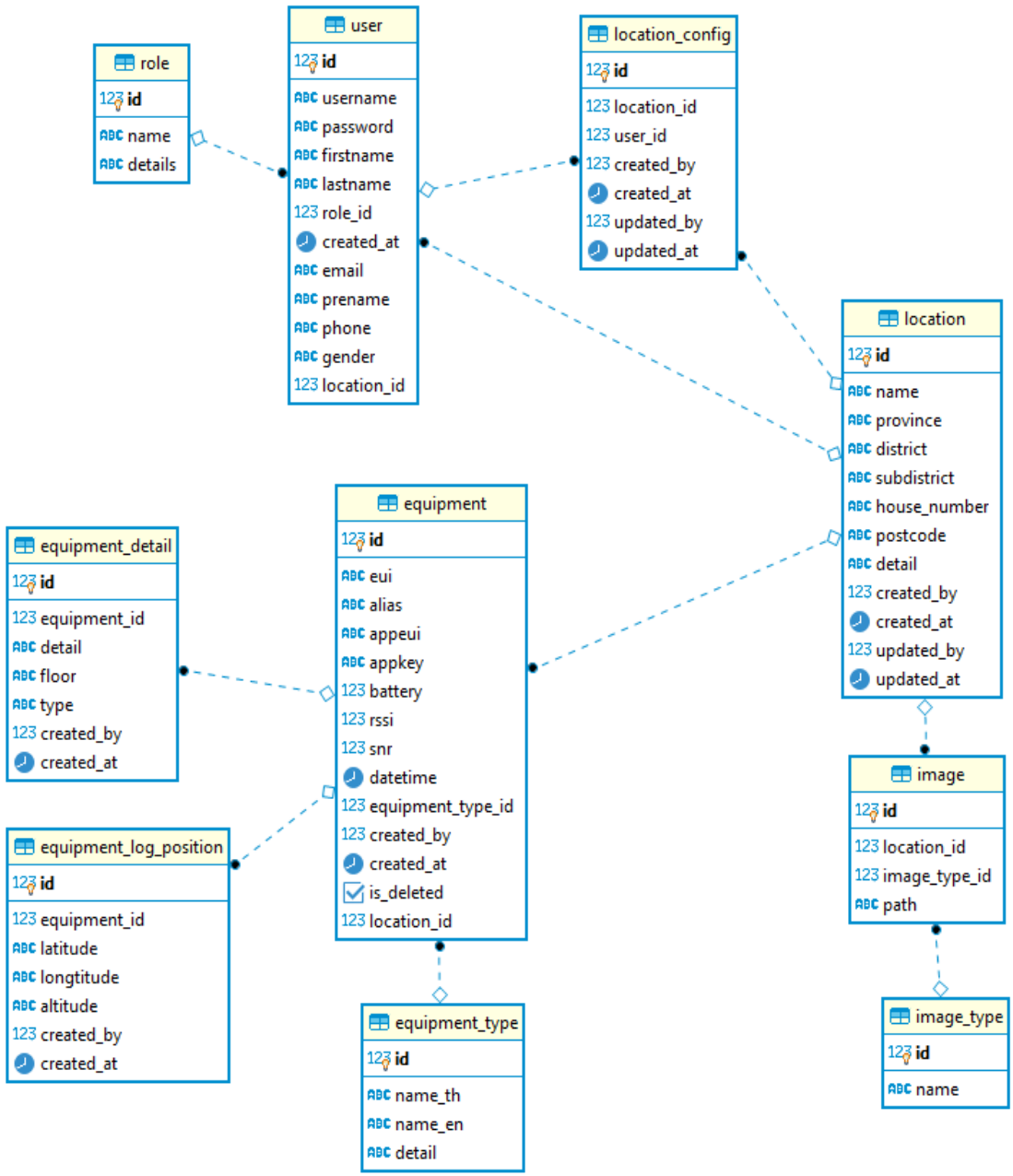
ส่วนของอุปกรณ์ ในส่วนนี้จะมีที่เกี่ยวข้องก็คือ

- Equipment ใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์
- Equipment_type ใช้ในการเก็บประเภทของอุปกรณ์
- Equipment_detail ใช้ในการเก็บรายละเอียดของอุปกรณ์เพิ่มเติม
- Equipment_log_position ใช้ในการเก็บตำแหน่งของอุปกรณ์ในลักษณะของ Log

รูปที่ 6 แสดง Data Flow Diagram เป็นการออกแบบแผนภาพแสดงกระแสการไหลของข้อมูลที่มีอยู่ภายในระบบแบ่งกระบวนการทำงาน (Process) ออกเป็นทั้งหมด 5 กระบวนการ ได้แก่

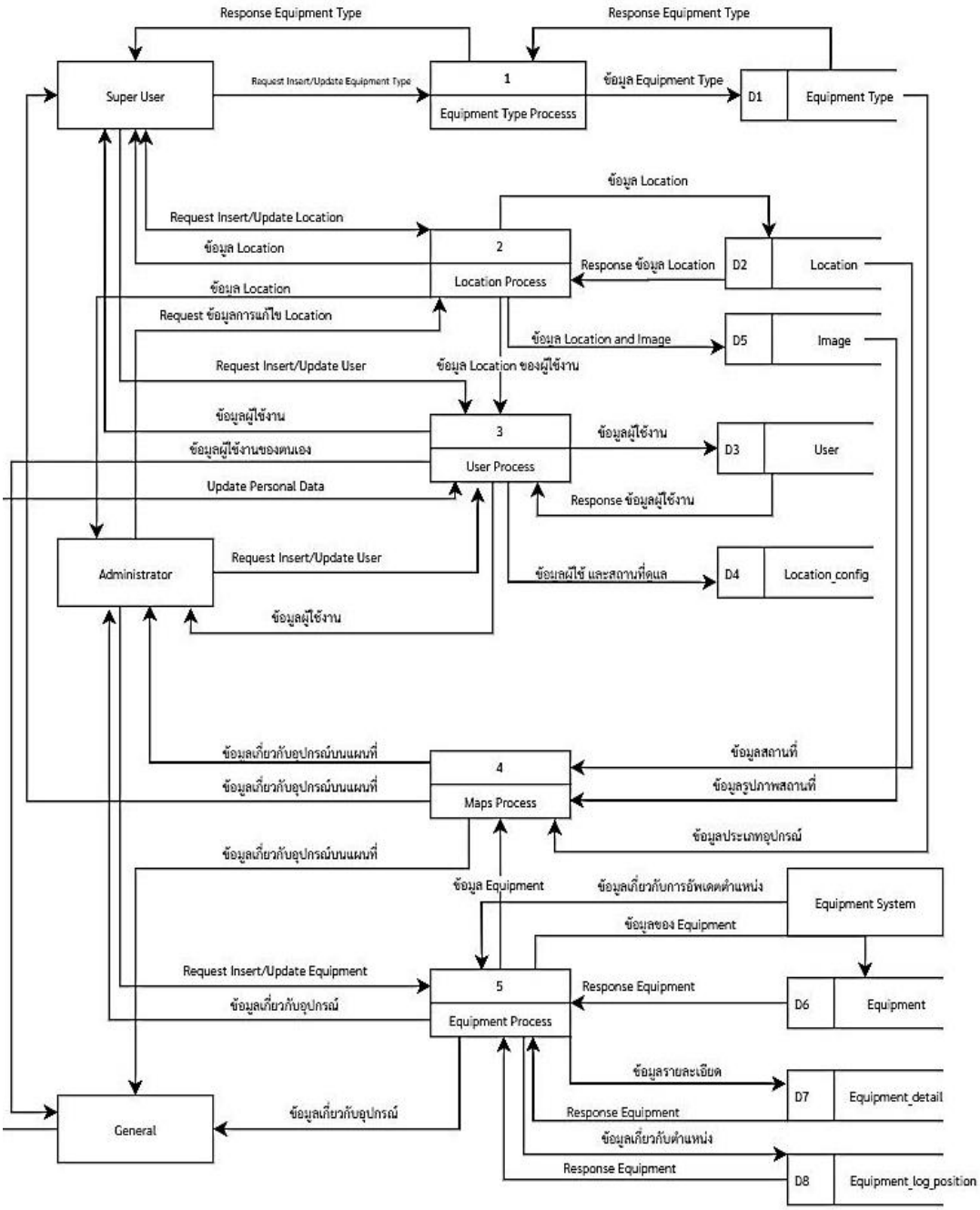
1. Equipment Type Process: เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่หลักในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับ ประเภทของอุปกรณ์ ซึ่งจะมีการติดต่อโดยตรงกับ Super User โดยมีการส่ง Request ที่เกี่ยวกับ Equipment Type เพื่อเข้า Process และรับ Response ส่งกลับมาให้กับผู้ใช้งาน โดยจะมีการติดต่อกับฐานข้อมูลในส่วนของ Table Equipment Type
2. Location Process: เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่ในการจัดการกับการสร้างตำแหน่ง (Location) โดยจะมีการรับ Request เพื่อที่จะใช้ในการจัดการสถานที่ในส่วนต่างๆ เช่น การสร้าง และการแก้ไข เป็นต้น นอกเหนือจากนี้ก็จะมีการ Response ค่าที่เกี่ยวกับ Location เพื่อใช้ในการสร้าง API ต่างๆ โดยจะมีการติดต่อฐานข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวกับสถานที่ คือ Location เป็นหลัก แต่จะมีการยุ่งเกี่ยว Location_config เพื่อที่ใช้ในการดูว่าในแต่ละสถานที่มี Administrator คนใดดูแลรับผิดชอบอยู่
3. User Process: เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่ในการสร้างผู้ใช้งาน และจัดการข้อมูลต่างๆ และยังมีหน้าที่จัดการการดูแลสถานที่ เพื่อที่จะได้รู้ว่าสถานที่ใดมี administrator ดูแลอยู่
4. Maps Process: เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่ในการส่ง Response ข้อมูลที่ใช้ในการแสดงตำแหน่งของหมุดบนแผนที่ รวมไปถึงรายละเอียดต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้
5. Equipment Process: เป็นกระบวนการที่มีหน้าที่ในการจัดการอุปกรณ์ต่างๆ รวมไปถึงการรับข้อมูลตำแหน่งจากอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER-Diagram)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 6 แผนภาพแสดงกระแสการไหลของข้อมูล (DFD Level 0)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

2.3 การออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบเว็บแอพพลิเคชั่นในครั้งนี้ ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความต้องการที่จะมีฟังก์ชันเป็นสิ่งสำคัญ และเพื่อให้สามารถใช้งานได้ครบตามความต้อง ส่วนที่สำคัญคือ การใช้งานและเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ จึงทำให้เกิด Mock up ของเว็บแอพพลิเคชั่นขึ้นมา เพื่อใช้เป็นรูปแบบการออกแบบหลักของแต่ละหน้า ดังนี้

2.3.1 หน้าเข้าสู่ระบบ (Login) โดยหน้าแรกจะเป็นการ Login เพื่อใช้งานระบบตามสิทธิของ User ที่ได้รับ เช่น Super User, Administrator หรือ General User ดังรูปที่ 7

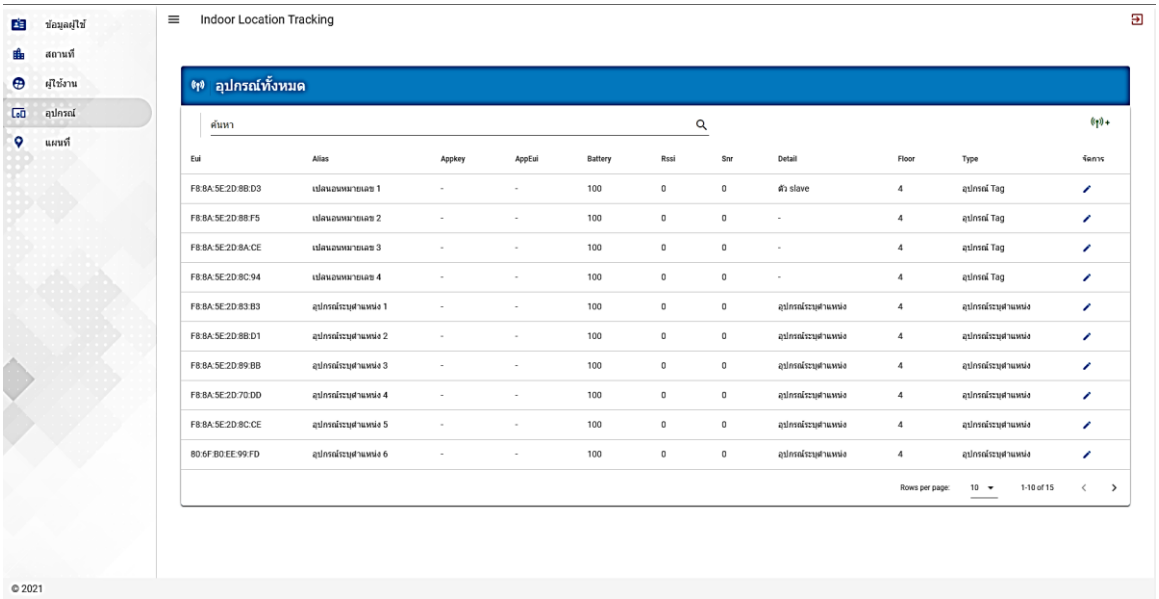
รูปที่ 7 หน้าจอเข้าสู่ระบบ

2.3.2 เมนู Location เมนูย่อย Deployment ในแต่ละผู้ใช้งานสามารถใช้งานฟังก์ชั่นได้หลากหลายตาม แต่ละ Role ของผู้ใช้ที่จะสามารถใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบ Navbar ด้านซ้ายมือ เพื่อให้สามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ และใช้งานง่าย มีการแบ่งสัดส่วนให้ทางด้านขวามากกว่าทางด้านซ้าย เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น โดยมีเมนูซ้ายเป็น Home, Location, Users, Equipment และ Upload Map ตามลำดับ รูปที่ 8 นั้นจะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในระบบ ซึ่งจะมีตำแหน่งการวางตัวอุปกรณ์ Receive Node และ อุปกรณ์ Access Point แบบ WIFI เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณโดยในครั้งแรกทางผู้ดูแลระบบ Administrator จะเป็นผู้กำหนดค่าติดตั้งเพื่อให้ทางผู้ใช้ General User ได้ใช้งานอย่างสะดวก

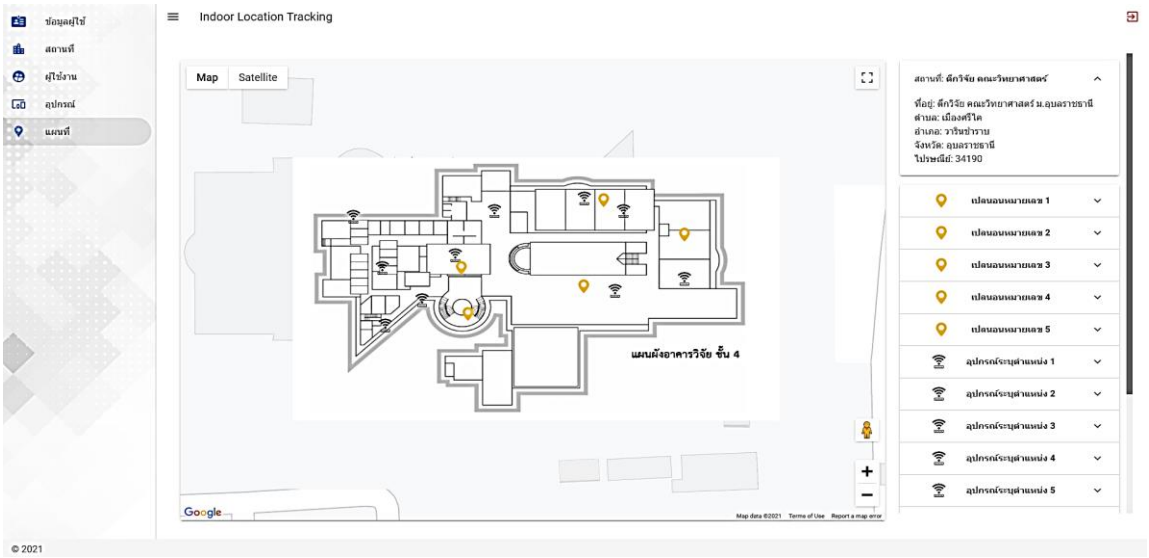
2.3.3 เมนู Location สำหรับโรงพยาบาล ซึ่งเป็นการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ที่ต้องการค้นหาแบบเรียลไทม์ โดยจะมีการกำหนดสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ Tag ไว้ในแต่ละประเภท ตาม Icon Symbol บนแผนที่ยกตัวอย่างกรณี ในโรงพยาบาลจะปรากฏแผนที่ในชั้นที่ 1 ซึ่งจะมีอุปกรณ์ Wheel Chair 001, 002 ใน Zone A และ 101 ใน Zone B นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ Stretcher 001, 002 ใน Zone B และ Zone C ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์ IV Pump 010, 001 จะอยู่ใน Zone B และ 005 จะอยู่ใน Zone C ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถช่วยให้บุคลากรในโรงพยาบาลสามารถติดตามตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์แต่ละประเภทและแต่ละหมายเลขได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 9

2.3.4 เมนู Location สำหรับโรงงาน หรือคลังสินค้า ซึ่งเป็นการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ที่ต้องการค้นหาแบบเรียลไทม์ โดยจะมีการกำหนดสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ Tag ไว้ในแต่ละประเภท ตาม Icon Symbol บนแผนที่ยกตัวอย่างกรณี ในคลังข้อมูลจะปรากฏแผนที่ในชั้นที่ 1 ซึ่งจะมีอุปกรณ์ Pallet 001 ใน Zone A 011 ใน Zone B และ 101 ใน Zone C นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ Trolley 001, 011 ใน Zone B ส่วนอุปกรณ์ Forklift 001, 002 จะอยู่ใน Zone B และ 003 จะอยู่ใน Zone C ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถช่วยในบุคคลากรใน คลังข้อมูลสามารถติดตามตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์แต่ละประเภทและแต่ละหมายเลขได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 10

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

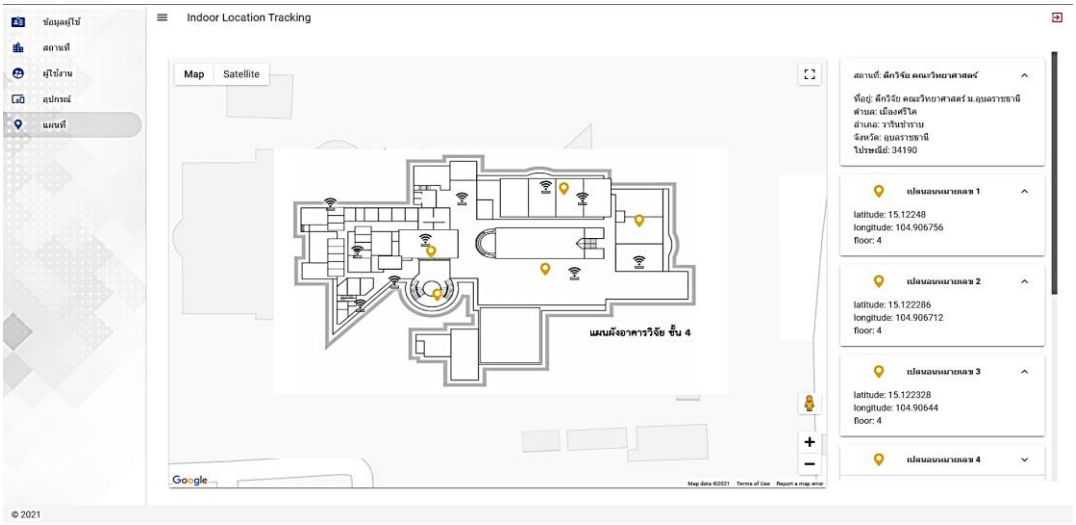


รูปที่ 8 หน้าจอเมนู Location เมนูย่อย Deployment



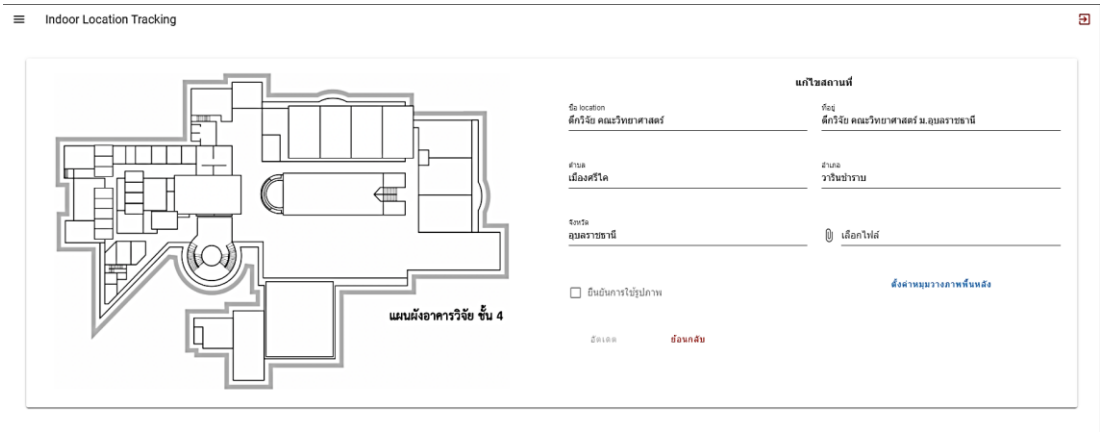
รูปที่ 9 หน้าจอเมนู Location สำหรับโรงพยาบาล

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 10 หน้าจอเมนู Location สำหรับคลังสินค้า

2.3.5 เมนู Upload Map สามารถเลือกภาพ Layout สถานที่ เช่น โรงพยาบาล โรงงาน หรือคลังสินค้าใน Format.jpg, png ในขนาดที่เป็น Scale จริง เช่น 1:100 เพื่อให้สามารถค้นหาอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งปรกติทางโรงพยาบาล โรงงาน หรือคลังสินค้า ส่วนใหญ่จะมีแบบแปลนอยู่แล้ว ทำให้สามารถสะดวกในการเพิ่มข้อมูลลงไปในระบบดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 หน้าจอเมนู Upload Map

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

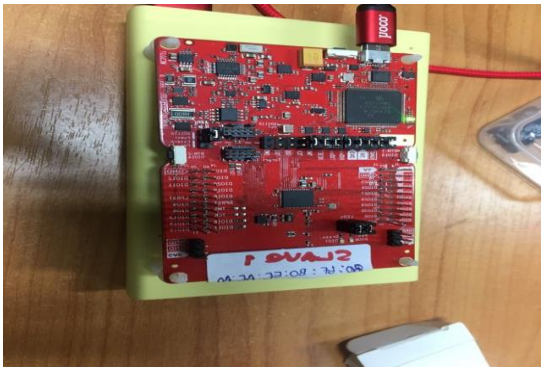
3. ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

หลังจากที่ดำเนินการพัฒนาระบบทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ร่วมกับซอฟต์แวร์ในห้องปฏิบัติการโดยการทดลองต่อโหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผลจำนวน 3 ตัว ดังรูปที่ 12-14 ซึ่งได้ทำการเชื่อมต่อสัญญาณ WIFI ไปยัง WIFI Router ที่ต่ออยู่กับโครงข่ายอินเตอร์เน็ต 3G จากนั้นได้ทำการทดสอบโหนดวัตถุดังรูปที่ 15 พบว่าโหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผลทั้ง 3 ตัว สามารถส่งต่อข้อมูลไปยังฐานข้อมูลที่อยู่บนคลาวด์ของ Microsoft Azure ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ และสามารถบันทึกข้อมูลมุมที่ส่งมายังฐานข้อมูล ดังรูปที่ 16 เพื่อใช้ประมวลผลตำแหน่งของโหนดวัตถุ และแสดงผลผ่านทางหน้าจอได้ดังรูปที่ 17

รูปที่ 12 โหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผล 1

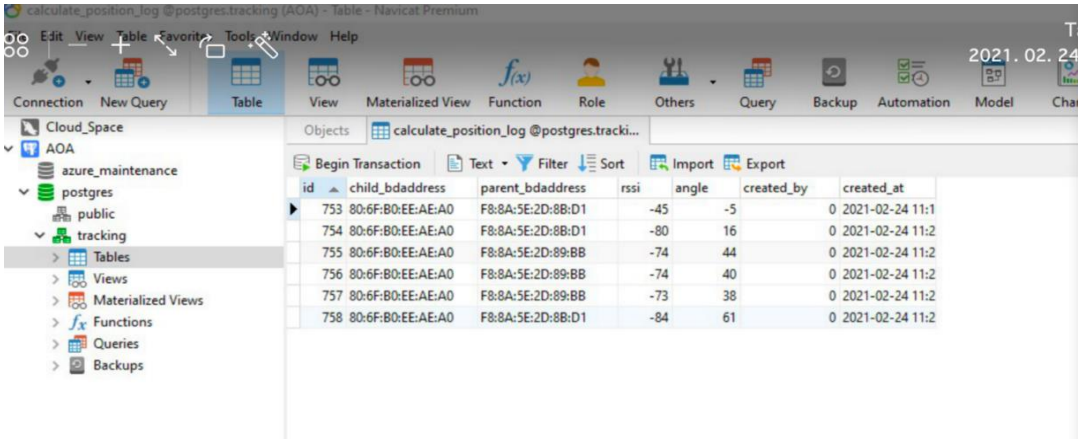
รูปที่ 13 โหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผล 2

รูปที่ 14 โหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผล 3

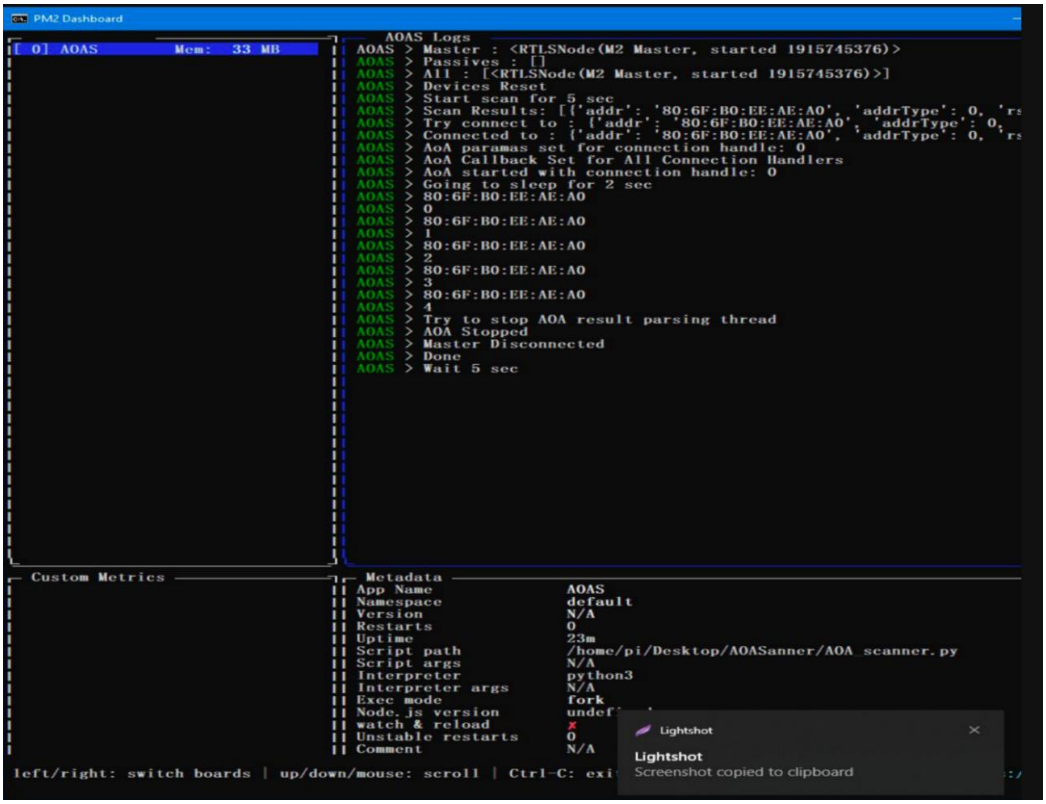


รูปที่ 15 โหนดวัตถุที่ใช้ทดสอบ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 16 ตัวอย่างข้อมูลที่บันทึกในฐานข้อมูล



รูปที่ 17 ตัวอย่างการตรวจสอบการส่งต่อข้อมูลจากโหนดอ้างอิงและโหนดประมวลผลไปยังฐานข้อมูล

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

4. ผลการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยได้ทำการนำระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร (Indoor Location Tracking) ของเครื่องมือ อุปกรณ์ ของใช้ และคน สำหรับโรงพยาบาล และสำหรับในโรงงาน (Factory) หรือในคลังสินค้า (Warehouse) เพื่อใช้ในการติดตามสถานะของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายสินค้าคงคลัง (Material Handing) สินค้าคงคลัง (Inventory) หรือวัตถุดิบ (Raw Material) หรือ สินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) หรือเครื่องมืออุปกรณ์ (Tool) ต่าง ๆ ไปทำการทดสอบการใช้งานระบบกับกลุ่มเป้าหมายจำนวน 10 แห่ง และทำการจัดอบรมเชิงปฏิบัติระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารฯ ให้กับเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลและโรงงาน หรือคลังสินค้ากลุ่มเป้าหมาย จำนวน 10 แห่ง ไม่น้อยกว่า 20 คน สามารถสรุปผลการติดตั้ง การทดสอบ และการจัดอบรมการใช้งานระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ตัวอย่างผลการติดตั้งระบบของ โรงพยาบาลมะการักษ์

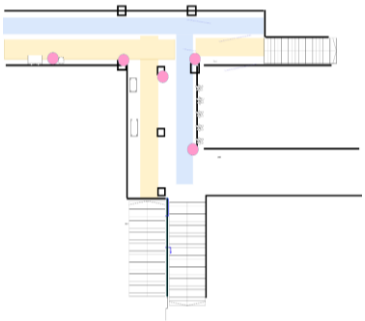
ภาพถ่ายจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node หรือ Locator จำนวน 5 ตัว ในบริเวณพื้นที่ทดสอบโดยจะติดตั้งบนเสาสูง 2.5 เมตร ที่ได้เตรียมมาเพื่อให้เกิดความสะดวกในการติดตั้งและขนย้าย ดังรูปที่ 18

เนื่องจากทางโรงพยาบาลมะการักษ์ ไม่มีผังภาพ (Floor Plan) ดังนั้นทางคณะผู้วิจัย จึงได้วาดรูปแผนที่ด้วยโปรแกรม draw.io เพื่อใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้

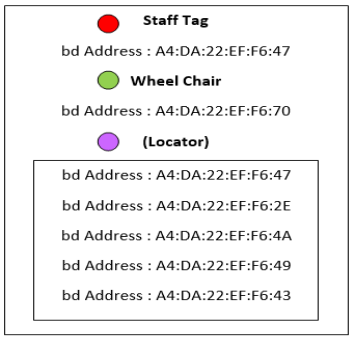
Floor Plan ของพื้นที่ทดสอบเป็นทางเชื่อมระหว่างตึกชั้น 2 อาคาร อุบัติเหตุแผนที่บริเวณพื้นที่ทดสอบพร้อมจุดติดตั้งอุปกรณ์ Locator ตำแหน่งสีชมพู ดังรูปที่ 19 และ ID อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node หรือ Locator และ Tag ดังรูปที่ 20

รูปที่ 18 แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node ของโรงพยาบาลมะการักษ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003



รูปที่ 19 แสดงแผนที่ทดสอบพร้อมจุดติดตั้งอุปกรณ์ของโรงพยาบาลมะการักษ์



รูปที่ 20 แสดง ID อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node ของโรงพยาบาลมะการักษ์

ภาพถ่ายแสดงการทดสอบตำแหน่งของรถเข็น Wheel Chair เคลื่อนที่ไปยังจุดทดสอบที่ 1 ระยะทางตำแหน่งรถเข็น Wheel Chair กับเสาจุดที่ 1 ประมาณ 0.731 เมตร ดังรูปที่ 21

ภาพถ่ายแสดงการทดสอบตำแหน่งของรถเข็น Wheel Chair เคลื่อนที่ไปยังจุดทดสอบที่ 2 ระยะทางตำแหน่งรถเข็น Wheel Chair กับระยะจุดที่ 2 ประมาณ 1.2 เมตร ดังรูปที่ 22

รูปที่ 21 แสดงการทดสอบการเคลื่อนย้ายตำแหน่งรถเข็น Wheel Chair กับระยะจุดที่ 1 ของโรงพยาบาลมะการักษ์

รูปที่ 22 แสดงการทดสอบการเคลื่อนย้ายตำแหน่งรถเข็น Wheel Chair กับระยะจุดที่ 2 ของโรงพยาบาลมะการักษ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

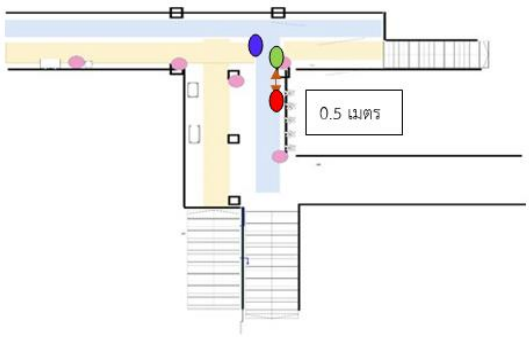
4.2 ตัวอย่างผลการทดสอบการใช้งานระบบของโรงพยาบาลมะการักษ์

ผลการทดสอบตำแหน่งของรถเข็น Wheel Chair จุดตรวจสอบที่ 1 ของโรงพยาบาลมะการักษ์ ผลการทดสอบระยะในโปรแกรมสัญลักษณ์วงกลมสีเขียว หมายถึง TAG ที่แทนตำแหน่งรถเข็น ตำแหน่งรถเข็นอยู่ใกล้กับเสาทางด้านขวาหรือ อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node หรือ Locator ตัวที่ 1 สีชมพู ทางขวา ในโปรแกรม 1 Block สี่เหลี่ยมจตุรัสจะแทนค่าประมาณ 1 เมตร ตำแหน่งจุดสีเขียวในโปรแกรมมีระยะห่างจากเสาประมาณ 1.5 เมตร

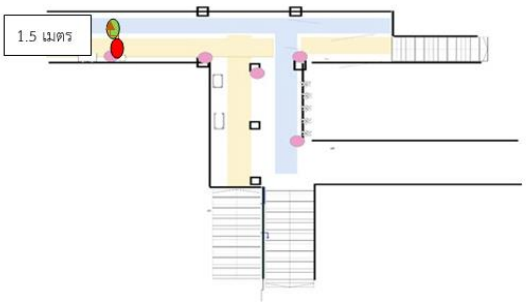
ผลการเปรียบเทียบระยะจากการวัดกับระยะในโปรแกรมเปรียบเทียบระยะห่างของ TAG จากรูปแรกทางด้านซ้ายกับระยะจริง 80 ซม. เปรียบเทียบระยะห่างของ TAG จากผลการทดสอบระยะในโปรแกรม ทาง TAG มีระยะ 50 ซม. ระยะที่คลาดเคลื่อน 30 ซม. ดังรูปที่ 23

ผลการทดสอบตำแหน่งของรถเข็น Wheel Chair จุดตรวจสอบที่ 2 ของโรงพยาบาลมะการักษ์ ผลการทดสอบระยะในโปรแกรม สัญลักษณ์วงกลมสีเขียว หมายถึง TAG ที่แทนตำแหน่งรถเข็น วงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งคนเข็นรถ ตำแหน่งรถเข็นอยู่ใกล้กับอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง Received Node หรือ Locator สีชมพูมีระยะประมาณ 1.5 เมตร

ผลการเปรียบเทียบระยะจากการวัดกับระยะในโปรแกรม เปรียบเทียบระยะห่างของ TAG สีเขียวจากรูปแรกทางด้านซ้ายกับระยะจริง 120 ซม. เปรียบเทียบระยะห่างของ TAG จากผลการทดสอบระยะในโปรแกรม ทาง TAG ด้านขวาห่างกับระยะจริง 150 ซม. ระยะที่คลาดเคลื่อน 30 ซม. ดังรูปที่ 24



รูปที่ 23 แสดงผลการทดสอบที่ 1 ระยะในโปรแกรมของโรงพยาบาลมะการักษ์



รูปที่ 24 แสดงผลการทดสอบที่ 1 ระยะในโปรแกรมของโรงพยาบาลมะการักษ์

ผลความคลาดเคลื่อนจากสถานที่ทำการทดสอบจริง และผลการผลการประเมินความพึงพอใจแสดงดังตารางที่ 1 และ 2

4.3 ผลการจัดอบรมการใช้งานระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร

สรุปผลการจัดอบรมเชิงปฏิบัติระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารฯ ให้กับเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลและโรงงาน หรือคลังสินค้า คณะผู้วิจัยได้จัดทำแบบประเมินการทดสอบระบบและจัดอบรม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

ให้กับเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลและโรงงาน หรือคลังสินค้า โดยประกอบด้วยหัวข้อการประเมินจำนวน 7 หัวข้อ ประกอบด้วย การติดตั้งระบบสำหรับการใช้งาน การตั้งค่าระบบโดยผู้ดูแลระบบ การใช้งานระบบโดยผู้ใช้ทั่วไป การใช้งานแผนที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ การติดตามอุปกรณ์ Tag กับอุปกรณ์ในโรงพยาบาล ความถูกต้องแม่นยำในการบอกตำแหน่งและระดับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ผลการประเมินความพึงพอใจในการอบรมใช้ระดับความพึงพอใจในรูปแบบ 5 ระดับ จำแนกเป็น ระดับดีมาก (4.01–5.00) ระดับดี (3.01-4.00) ระดับปานกลาง (2.01-3.00) ระดับพอใช้ (1.01-2.00) ระดับต้องปรับปรุง (0.00-1.00) พบว่า ภาพรวมการจัดอบรมในทุกมิติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.36 อยู่ในระดับดี

ตารางที่ 1 ผลความคลาดเคลื่อนจากสถานที่ทำการทดสอบจริง

ชื่อ	จุดทดสอบที่ 1 (หน่วย: เซนติเมตร)	จุดทดสอบที่ 2 (หน่วย: เซนติเมตร)
บริษัท แนคคร่า ไมโครเทค จำกัด	60	40
บริษัท ปราโมทย์ การเกษตร จำกัด	50	0
บริษัท พนภัณฑ์ ซัพพลาย จำกัด	27	72.6
บริษัท PRT Logistics จำกัด	100	84
หจก.ชาญกิจกาญจน์ (CKK)	68	9
บริษัท EPCO จำกัด	40	48
หจก.วีเอสโลดดิ้ง	173	80
กองสาธารณสุข ต.วังศาลา	73	15
โรงพยาบาลมะการักษ์	30	30
โรงพยาบาลรามคำแหง	50	27
ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	**67.1**	**40.5**

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

ลำดับ	ข้อคำถาม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	การติดตั้งระบบสำหรับการใช้งาน	4.00	0.00
2	การตั้งค่าระบบโดยผู้ดูแลระบบ	3.20	0.92
3	การใช้งานระบบโดยผู้ใช้ทั่วไป	4.00	0.47
4	การใช้งานแผนที่บอกตำแหน่งของอุปกรณ์	4.00	0.00
5	การติดตามอุปกรณ์ Tag กับอุปกรณ์ในโรงพยาบาล	3.90	0.32
6	ความถูกต้องแม่นยำในการบอกตำแหน่ง	3.20	0.42
7	ระดับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น	3.20	0.42
	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน	3.64	0.36

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

5. สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารของ วัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ ของใช้ พนักงาน และผู้ป่วยที่มีการนำออกไปนอกพื้นที่หรือถูกขโมยแบบเรียลไทม์ที่มีความแม่นยำระดับเซนติเมตรจำนวน 1 ระบบ โดยระบบจะประกอบด้วยส่วนที่ 1) ฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบฯ จำนวน 1 ชุด และส่วนที่ 2) ซอฟต์แวร์ระบบฯ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์จะมีตัวรับสัญญาณ (Receive Node) ที่จะต้องนำไปติดตั้งให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่หรือห้องต่าง ๆ ในบริเวณอาคาร จะมีจำนวนไม่ต่ำกว่า 6 หน่วย โดยพิจารณาถึงระดับสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการค้นหา ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ระบบฯ จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นการแสดงผลทางแผนที่ (Map) เพื่อใช้ในการค้นหา และส่วนที่เป็นการจัดการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Administration) โดยหลังจากที่ได้มีการพัฒนาระบบฯ เรียบร้อยแล้วจะมีการนำระบบฯ ที่ได้ไปทำการทดสอบการใช้งานกับโรงพยาบาล และโรงงาน หรือคลังสินค้า จำนวน 10 แห่ง โดยมีผลทดสอบค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจริงกับในโปรแกรม ณ จุดทดสอบที่ 1 และจุดทดสอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 67.1 เซนติเมตร และ 40.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และได้ทำการจัดอบรมเชิงปฏิบัติระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารฯ ให้กับเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลและโรงงาน หรือคลังสินค้า จำนวน 10 แห่ง ไม่น้อยกว่า 20 คน ซึ่งสามารถสรุปผลภาพรวมการจัดอบรมในทุกมิติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.36 อยู่ในระดับดี จากนั้นนำระบบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรไปทำการทดสอบมาตรฐานด้าน ความปลอดภัย (Safety), สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิ (Environment and Temperature) และ การแพร่รังสี (Electromagnetic Wave) โดยผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

6. ข้อเสนอแนะ

ความแม่นยำของระบบขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหน้างาน เช่น พื้นที่โล่ง หรือ พื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางสัญญาณ ซึ่งในการวิจัยนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงประเด็นในส่วนนี้แต่จะมีการปรับปรุงในอนาคตต่อไป

นอกเหนือจากนี้การทดสอบมาตรฐานส่วนที่เป็นเรื่องสภาพแวดล้อมในส่วนย่อยของการป้องกัน (Protection) นั้นยังไม่ได้ครอบคลุมถึงกล่องเคสที่ใส่ให้มีมาตรฐาน ซึ่งจะมีการปรับปรุงในอนาคต เช่น แนวทางพัฒนาในเชิงพาณิชย์ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานโครงการระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร

8. เอกสารอ้างอิง

[1] https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-direction-finding/. (Accessed on 29 June 2021)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.12.003

[2] Y. Hou, X. Yang and Q. H. Abbasi, Efficient AOA-based wireless indoor localization for hospital outpatients using mobile devices, Sensors, 2018,18(11), 3698.

[3] J. Hightower, G. Borriello and R. Want SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength, UW CSE Technical Reports, 2000, 1-16.

[4] X. Hou, T. Arslan, J. Gu, Indoor localization for bluetooth low energy using wavelet and smoothing filter, 2017 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Proceeding, 2017, 1-6.

[5] X. Hou, T. Arslan, A. Juri and F. Wang, Indoor localization for bluetooth low energy devices using weighted off-set triangulation algorithm, The 29th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+2016), Proceeding, 2016, 2286-2292.

[6] V. Almaula and D. Cheng, Bluetooth triangulator, University of California, USA. https://cseweb.ucsd.edu/classes/fa06/cse237a/finalproj/almula.pdf (Accessed on 15 December 2022)

[7] B. Jachimczyk, D. Dziak and W.J. Kulesza, Using the fingerprinting method to customize RTLS based on the AOA ranging technique, Sensors 2016, 16, 876.

[8] T. de Haan, BLE localization using switched-beam angle of arrival for pallet localization in warehouses, Thesis, University of Twente, Netherlands, 2018.

[9] C. Yaqin, Evaluating off-the-shelf hardware for indoor positioning, Thesis, Lund University, Sweden, 2017.

[10] M.N.K. Boulos and G. Berry, Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer, International Journal of Health Geographics, 2012, 11, 25.

[11] F. Halawa, H. Dauod, I.G. Lee, Y. Li, S.W. Yoon and S.H. Chung, Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency, International Journal of Production Economics, 2020, 224, 107541.

[12] B. Tatham, and T. Kunz, Anchor node placement for localization in wireless sensor networks, IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Proceeding, 2011, 180–187.