

การพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
ในโรงพยาบาล



นางสาวอัญญมาลี วงศ์สูงยาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมแพทย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2567

DEVELOPMENT OF REAL-TIME LOCATING TRACKING FOR PATIENT
TRANSFER IN HOSPITALS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Biomedical Innovation Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2024

การพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย
ในโรงพยาบาล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นหน่วยงานหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.สุขเกษม วัชรมัธยมกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กิริติ สุกข์เกษม)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.จันทกานต์ กาญจนเวทวงศ์)

กรรมการ

(รศ. ดร.บัณฑิต กฤดาคม)

กรรมการ

(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อัญญาภาลี วงศ์สูงยาง : การพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล (DEVELOPMENT OF REAL-TIME LOCATING TRACKING FOR PATIENT TRANSFER IN HOSPITALS)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์. ดร.กิริติ สุลักษณ์, 120 หน้า.

คำสำคัญ : อาร์เอฟไอดี/เครือข่ายโลรา/ระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์/การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ในโรงพยาบาล/ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) สำหรับการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล โดยผสมผสานเทคโนโลยี RFID กับเครือข่าย LoRa เพื่อสร้าง “pseudo-GPS” ที่ทำงานได้แม้ในอาคารที่สัญญาณ GPS ปกติใช้การไม่ได้ การทดสอบภาคสนามดำเนินในพื้นที่โล่งและพื้นที่ภายในอาคารและภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง โดยมีการใช้ LoRa ย่าน 433 MHz (กำลังส่ง -20 dBm) โดยมีการวัดความแรงสัญญาณ (RSSI) ในพื้นที่โล่งที่ โดยผลการทดสอบระบบนี้สามารถสื่อสารได้ถึง 100 ม. ที่ -106 dBm ซึ่งยังสูงกว่าความไวในการรับสัญญาณของโมดูลทั่วไป ส่วนสภาพแวดล้อมแย่มากที่สุดได้มีการแนะนำให้เพิ่ม gateway ครอบคลุมจุดอับเพื่อรักษาคุณภาพของสัญญาณให้คงที่ตลอดเส้นทางเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งจริงกับตำแหน่งที่ระบบคำนวณได้ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.33 เมตร คิดเป็น 7.17% ภายใต้สภาพแวดล้อมภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง แม้จะพบค่า outlier 2.04 เมตรที่บริเวณตู้ขนาดใหญ่บังเสาอากาศในการส่งสัญญาณ หากติดตั้ง gateway เสริมหรือตั้งเสาอากาศให้พ้นสิ่งกีดขวาง ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจะลดลงเหลือ 0.12 เมตร ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเทคนิค “pseudo-GPS” ช่วยเพิ่มความแม่นยำภายในอาคารได้จริง

สาขาวิชา นวัตกรรม วิศวกรรม วิศวกรรมแพทย์
ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา.....*e-lumfa*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*DM*

ANNMAREE WONGSUNGYANG : DEVELOPMENT OF REAL-TIME LOCATING TRACKING FOR PATIENT TRANSFER IN HOSPITALS.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 120 PP.

Keyword : RFID/RoLa Networks/RTLS/Hospital equipment tracking/Location accuracy

This research aims to develop a Real-Time Location System (RTLS) for tracking the movement of medical equipment within a hospital by integrating RFID technology with a LoRa-based network, forming a pseudo-GPS system that functions effectively even in indoor environments where conventional GPS signals are unavailable. Field tests were conducted in both open spaces and indoor areas with physical obstructions. The system utilized LoRa operating at 433 MHz with a transmit power of -20 dBm, and signal strength (RSSI) was measured under various conditions. The test results indicated that communication was possible over distances up to 100 meters, with an RSSI of approximately -106 dBm, which remains above the sensitivity threshold of standard receiver modules. In high-loss environments, it is recommended to deploy additional gateways to cover blind spots and maintain signal quality along patient transport routes.

From the position accuracy tests, a comparison between the actual equipment locations and the locations calculated by the system revealed an average positioning error of 0.33 meters, or approximately 7.17%, under indoor conditions with obstacles. Although an outlier with an error of 2.04 meters was found near a large cabinet obstructing the antenna, the average error could be reduced to 0.12 meters if supplementary gateways were installed or antennas repositioned to avoid obstructions. These findings confirm that the pseudo-GPS technique significantly enhances indoor positioning accuracy and reliability.

School of Biomedical Innovation Engineering
Academic Year 2024

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

Annmaree Wongsungyang
Keerati Suluksna

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล” ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กิริติ สุกฤษณ์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำ อุทิศเวลา และชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัยด้วยความเอาใจใส่และเต็มเปี่ยมไปด้วยเมตตา

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์และมีคุณค่า ซึ่งช่วยพัฒนางานวิจัยฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความร่วมมือในการทดลอง ให้ข้อมูล และอนุญาตให้ใช้พื้นที่จริงในการทดสอบระบบ รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่ง ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมวิจัยและผู้ช่วยวิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเก็บข้อมูลจนถึงการวิเคราะห์ผล ตลอดจนให้กำลังใจอย่างต่อเนื่อง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ครอบครัว ที่เป็นแรงสนับสนุนสำคัญทั้งทางด้านจิตใจและการใช้ชีวิต ตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัยจนสามารถดำเนินงานจนสำเร็จได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการบริหารจัดการผู้ป่วยและทรัพยากรในโรงพยาบาลในอนาคตต่อไป

อัญญมาลี วงศ์สูงยาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 สมมติฐานการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตของการศึกษา..... | 2 |
| 1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา..... | 3 |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ..... | 4 |
| 2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 6 |
| 2.1 เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System - RTLS)..... | 6 |
| 2.1.1 ความหมายและแนวคิดของ RTLS..... | 6 |
| 2.1.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่ง..... | 6 |
| 2.1.2.1 Radio-Frequency Identification (RFID)..... | 6 |
| 2.1.2.2 หลักการทำงานของ Bluetooth Low Energy (BLE)..... | 9 |
| 2.1.2.3 หลักการทำงานของ Wireless Fidelity (Wi-Fi)..... | 11 |
| 2.1.2.4 Ultra-Wideband (UWB)..... | 13 |
| 2.1.3 เทคโนโลยี LoRa..... | 15 |
| 2.1.3.1 ความหมายของ LoRa..... | 15 |
| 2.1.3.2 หลักการทำงานของ LoRa..... | 15 |
| 2.1.3.3 การแบ่งประเภท LoRa ตามย่านความถี่..... | 15 |
| 2.1.3.4 การประยุกต์ใช้งาน LoRa ร่วมกับ IoT..... | 15 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|---------|---|----|
| 2.1.4 | ระบบ IoT (Internet of Things) และเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ..... | 16 |
| 2.1.4.1 | Edge Devices/ Sensors (อุปกรณ์ปลายทางและเซ็นเซอร์)..... | 16 |
| 2.1.4.2 | Cloud Platforms/ Data Processing (แพลตฟอร์มคลาวด์และการประมวลผลข้อมูล)..... | 16 |
| 2.1.4.3 | Communication Technologies (เทคโนโลยีการสื่อสาร) | 16 |
| 2.1.5 | ข้อดีและข้อจำกัดแต่ละเทคโนโลยี | 17 |
| 2.2 | ระบบติดตามและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล | 18 |
| 2.2.1 | ความสำคัญของการติดตามตำแหน่งผู้ป่วย..... | 18 |
| 2.2.2 | วิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลและความท้าทาย | 19 |
| 2.2.2.1 | ความสำคัญของวิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล | 19 |
| 2.2.2.2 | ความท้าทายในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล..... | 20 |
| 2.2.2.3 | แนวทางการปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย | 21 |
| 2.2.3 | ปัญหาที่พบในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย | 21 |
| 2.2.3.1 | ปัญหาด้านบุคลากร | 21 |
| 2.2.3.2 | ปัญหาด้านอุปกรณ์และเครื่องมือช่วยเคลื่อนย้าย..... | 22 |
| 2.2.3.3 | ปัญหาด้านโครงสร้างพื้นฐานของโรงพยาบาล..... | 22 |
| 2.2.3.4 | ปัญหาด้านความปลอดภัยของผู้ป่วย..... | 22 |
| 2.2.3.5 | ปัญหาด้านการบริหารจัดการและระบบข้อมูล | 22 |
| 2.2.3.6 | ปัญหาด้านจริยธรรมและความเป็นส่วนตัว | 23 |
| 2.3 | การใช้ RTLS ในการจัดการทรัพยากรโรงพยาบาล | 23 |
| 2.3.1 | การใช้ RTLS กับอุปกรณ์ทางการแพทย์..... | 23 |
| 2.3.2 | การใช้ RTLS ในการบริหารจัดการบุคลากร..... | 24 |
| 2.3.3 | ประโยชน์ของ RTLS ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของโรงพยาบาล..... | 24 |
| 2.4 | ระบบแจ้งเตือนและความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย..... | 25 |
| 2.4.1 | แนวคิดและความสำคัญของระบบแจ้งเตือน..... | 25 |
| 2.4.2 | รูปแบบของระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์..... | 26 |
| 2.4.3 | ตัวอย่างระบบแจ้งเตือนที่ใช้ในโรงพยาบาล..... | 26 |
| 2.5 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 26 |
| 2.5.1 | การศึกษาเกี่ยวกับ RTLS ในโรงพยาบาล | 27 |
| 2.5.2 | การศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามและการแจ้งเตือนในโรงพยาบาล | 27 |
| 2.5.3 | การศึกษาด้านความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย..... | 27 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.6 สรุป..... | 28 |
| 2.6.1 สรุปประเด็นสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 28 |
| 2.6.2 ช่องว่างของงานวิจัยและความจำเป็นของการพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่ง แบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย..... | 29 |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 31 |
| 3.1 วิธีวิจัย..... | 31 |
| 3.1.1 การออกแบบระบบ RTLS..... | 31 |
| 3.1.1.1 ใช้ RFID เป็นตัวระบุอุปกรณ์ และใช้ RoLa Networks เป็น โครงข่ายสื่อสาร..... | 31 |
| 3.1.1.2 พัฒนา pseudo GPS สำหรับระบุตำแหน่ง RFID ภายในอาคาร | 31 |
| 3.1.1.3 ออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลข้อมูลและ แสดงผลตำแหน่งของอุปกรณ์..... | 32 |
| 3.1.2 การทดลองและเก็บข้อมูล | 32 |
| 3.1.2.1 ทดสอบระบบ RTLS ในพื้นที่ที่กำหนด..... | 32 |
| 3.1.2.2 เปรียบเทียบความแม่นยำของ pseudo GPS กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ | 35 |
| 3.1.2.3 ประเมินประสิทธิภาพของระบบจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ โรงพยาบาล..... | 36 |
| 3.2 ตัวแปรที่ทำการวิจัย | 37 |
| 3.2.1 ตัวแปรอิสระ..... | 37 |
| 3.2.2 ตัวแปรตาม | 37 |
| 3.2.3 ตัวแปรควบคุม | 37 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 37 |
| 3.3.1 ฮาร์ดแวร์ | 37 |
| 3.3.2 ซอฟต์แวร์..... | 39 |
| 3.4 การสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ | 39 |
| 3.4.1 การพัฒนาและทดสอบระบบ RTLS..... | 39 |
| 3.4.2 การประเมินสมรรถนะของระบบ..... | 39 |
| 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 39 |
| 3.5.1 การเก็บข้อมูลตำแหน่งจากระบบ RTLS..... | 39 |
| 3.5.2 การทดลองซ้ำเพื่อความแม่นยำ..... | 39 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 39 |
| 3.6.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ RTLS | 39 |
| 3.6.2 การวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้ | 39 |
| 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล | 41 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 41 |
| 4.1.1 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่โล่ง | 41 |
| 4.1.2 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่ภายในอาคาร | 43 |
| 4.1.3 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่ภายในห้อง ที่มีสิ่งกีดขวาง | 46 |
| 4.1.4 การลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์ | 48 |
| 4.1.5 การเพิ่มประสิทธิภาพของบุคลากรทางการแพทย์ | 49 |
| 4.2 การอภิปรายผล | 49 |
| 4.2.1 ผลกระทบของ RFID และ RoLa Networks ต่อประสิทธิภาพของ โรงพยาบาล | 49 |
| 4.2.2 ผลกระทบต่อวิทยุสื่อสารและเครื่องมือทางการแพทย์ | 49 |
| 4.2.3 ความแม่นยำของ pseudo GPS และข้อจำกัด | 50 |
| 4.2.4 เปรียบเทียบ RFID กับเทคโนโลยีทางเลือกอื่น | 50 |
| 4.2.5 การลดภาระงานของบุคลากรและผลต่อคุณภาพการดูแลผู้ป่วย | 50 |
| 4.2.6 ความเป็นไปได้ในการนำ RTLS ไปใช้ในอนาคต | 50 |
| 4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล | 50 |
| 4.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต | 51 |
| 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 52 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 52 |
| 5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย | 53 |
| 5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย | 53 |
| 5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป | 54 |
| รายการอ้างอิง | 55 |
| ภาคผนวก | 57 |
| ภาคผนวก ก รูปโรงพยาบาลโดยรวม | 58 |
| ภาคผนวก ข สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการทดสอบเครื่อง | 64 |
| ภาคผนวก ค โปรแกรมสำหรับการใช้งาน | 83 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| ภาคผนวก ง บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์..... | 114 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 120 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ช่วงความถี่ของ RFID และระยะการทำงาน | 7 |
| 2.2 ช่วงความถี่และอัตราการส่งข้อมูลของ BLE | 10 |
| 2.3 มาตรฐาน Wi-Fi และความเร็วในการส่งข้อมูล | 12 |
| 2.4 การกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานตามพื้นที่ | 15 |
| 2.5 สรุปเปรียบเทียบเทคโนโลยี LPWAN (Long-Range IoT Communication)..... | 17 |
| 3.1 ทดสอบความแม่นยำของ pseudo GPS โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้ กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ | 36 |
| 4.1 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS เพื่อหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ ในพื้นที่โล่ง | 42 |
| 4.2 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS เพื่อหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ ในพื้นที่ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง | 44 |
| 4.3 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้ กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง | 47 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 3.1 | ไดอะแกรมการทำงานของระบบ RTLS 33 |
| 3.2 | ตัวอย่างพื้นที่ทดลองสถานที่โล่งแจ้ง 33 |
| 3.3 | ตัวอย่างพื้นที่ทดลองสถานที่โล่งแจ้ง 34 |
| 3.4 | ตัวอย่างพื้นที่ทดลองภายในอาคาร 34 |
| 3.5 | ตัวอย่างพื้นที่ทดลองภายนอกอาคาร 35 |
| 3.6 | ชุด LoRa Node..... 38 |
| 3.7 | ภายในชุดทำงานของ LoRa Node..... 38 |
| 4.1 | การทดสอบระบบ pseudo GPS ในพื้นที่โล่ง 41 |
| 4.2 | ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ RSSI (dBm) ในพื้นที่โล่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง..... 42 |
| 4.3 | การทดสอบระบบ pseudo GPS ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง 44 |
| 4.4 | ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ RSSI (dBm) ในกรณีภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง..... 45 |
| 4.5 | การทดสอบระบบ pseudo GPS ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง 46 |
| 4.6 | เปรียบเทียบตำแหน่งพิกัด X และพิกัด Y จากตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จาก pseudo GPS 48 |
| ก.1 | จุดที่มีการให้บริการรถเข็น..... 59 |
| ก.2 | จุดที่เจ้าหน้าที่ต้องมาลงทะเบียนในการใช้รถเข็นไปยังจุดต่าง ๆ ในโรงพยาบาล 59 |
| ก.3 | เจ้าหน้าที่ที่ต้องการใช้รถเข็นหรือเพียงสามารถติดต่อประสานงานกันได้ผ่านวิทยุสื่อสาร 60 |
| ก.4 | พยาบาลสามารถดูว่าเจ้าหน้าที่คนไหนใช้รถเข็นไปไหนบ้างผ่านกระดาศที่ใช้จัดบันทึก 60 |
| ก.5 | รถเข็นจะมีการจอดไว้บริเวณหน้าตึกของโรงพยาบาล..... 61 |
| ก.6 | จุดสำหรับลงทะเบียนการใช้งานรถเข็น..... 61 |
| ก.7 | ภายในโต๊ะลงทะเบียนการใช้งานรถเข็นจะมีกระดาศสำหรับจัดบันทึกและวิทยุสื่อสาร 62 |
| ก.8 | ลักษณะของการจอรถเข็นเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับใช้งาน 62 |
| ก.9 | นอกจากเจ้าหน้าที่แล้วญาติผู้ป่วยสามารถที่จะใช้งานรถเข็นได้เช่นเดียวกัน 63 |
| ข.1 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในห้อง..... 65 |
| ข.2 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคาร..... 65 |
| ข.3 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารแบบมีสิ่งกีดขวาง 66 |
| ข.4 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคาร..... 66 |
| ข.5 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารโดยมีการวางแบบชิดกำแพง 67 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| ข.6 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารโดยมีการวางแบบชนิดกำแพงมูมด้านหลังห้อง 67 |
| ข.7 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคาร 68 |
| ข.8 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบมูมห้องที่เป็นแบบผนังและกระจกภายในอาคาร 68 |
| ข.9 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารในระยะที่ต่างกัน 69 |
| ข.10 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคารในระยะที่ต่างกัน 69 |
| ข.11 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคารแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง 70 |
| ข.12 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง 70 |
| ข.13 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 5 เมตร 71 |
| ข.14 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 15 เมตร 71 |
| ข.15 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 17 เมตร 72 |
| ข.16 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 10 เมตร 72 |
| ข.17 | จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 12 เมตร 73 |
| ข.18 | การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง 73 |
| ข.19 | การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง 74 |
| ข.20 | การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง 74 |
| ข.21 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งตามระยะที่แตกต่างกัน 75 |
| ข.22 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งตามระยะที่แตกต่างกัน 75 |
| ข.23 | การทดสอบระบบภายนอกตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน 76 |
| ข.24 | การทดสอบระบบในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน 76 |
| ข.25 | การทดสอบระบบภายในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน 77 |
| ข.26 | การทดสอบระบบภายในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน 77 |
| ข.27 | การทดสอบระบบระหว่างภายในและภายนอกห้องที่อยู่ในอาคาร 78 |
| ข.28 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง 78 |
| ข.29 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งโดยวางราบกับตัวพื้น 79 |
| ข.30 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งโดยวางห่างจากตัวพื้น 1 เมตร 79 |
| ข.31 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน 80 |
| ข.32 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน 80 |
| ข.33 | การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน 81 |
| ข.34 | จุดบันทึกผลการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน 81 |
| ข.35 | พื้นที่ทดสอบระบบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง 82 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย ทั้ง แพทย์ พยาบาล เจ้าหน้าที่เคลื่อนย้าย และบุคลากรทางการแพทย์อื่น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งผู้ป่วยไปยังแผนกที่เกี่ยวข้องตามแผนการรักษา เช่น ห้องฉุกเฉิน ห้องผ่าตัด แผนกเอ็กซเรย์ ห้องฟักฟื้น หรือแผนกอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวมักประสบกับปัญหา เช่น การล่าช้าในการค้นหาตำแหน่งผู้ป่วยหรือเปลเคลื่อนย้าย การสื่อสารที่ไม่เป็นระบบ และความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการส่งผู้ป่วยผิดห้องหรือผิดเวลา ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อคุณภาพการรักษาและภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์

โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นโรงพยาบาลตติยภูมิขนาด 700 เตียง มีผู้ป่วยนอกเฉลี่ยประมาณ 300 - 400 คนต่อวัน ซึ่งหมายถึงมีผู้รับบริการจำนวนมากและผู้ป่วยที่ต้องได้รับการช่วยเหลืออย่างเร่งด่วน โดยมักมีการขับรถมารับหรือส่งที่หน้าตึก เจ้าหน้าที่จึงต้องปฏิบัติหน้าที่ในการรับและส่งผู้ป่วยให้ตรงตามจุดหมาย เช่น ผู้ป่วยคนที่ 1 ต้องการขึ้นไปยังชั้น 7 และผู้ป่วยคนที่ 2 ต้องการขึ้นไปชั้น 5 ซึ่งเจ้าหน้าที่จะต้องบันทึกข้อมูลและบริหารจัดการการเคลื่อนย้ายอย่างมีประสิทธิภาพ

ในกระบวนการปัจจุบัน เจ้าหน้าที่จะใช้วิธีบันทึกข้อมูลการเคลื่อนย้ายลงในกระดาษ และอาศัยการติดต่อสื่อสารแบบดั้งเดิม เช่น โทรศัพท์ หรือสอบถามเจ้าหน้าที่ที่อยู่ใกล้พื้นที่ ณ เวลานั้น หากต้องการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากชั้น 4 ไปยังชั้น 7 ก็จะต้องค้นหาว่าเจ้าหน้าที่คนใดอยู่ใกล้ที่สุด แต่ในหลายครั้งกลับพบว่าการสื่อสารที่ไม่เป็นระบบหรือข้อมูลไม่ทันสมัยส่งผลให้เกิดความล่าช้า ซึ่งอาจกระทบต่อการรักษาโดยตรง

ดังนั้นการนำเทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System: RTLS) มาใช้ในโรงพยาบาลจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพ ระบบนี้สามารถใช้เทคโนโลยี เช่น RFID, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi, IoT, GPS หรือ Ultra-Wideband (UWB) เพื่อระบุตำแหน่งและติดตามผู้ป่วย อุปกรณ์ หรือเปลเคลื่อนย้ายได้อย่างแม่นยำและอัตโนมัติในทุกพื้นที่ของโรงพยาบาล

การพัฒนา ระบบ RTLS สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยสามารถช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาและเคลื่อนย้าย เพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย ลดภาระงานของบุคลากร และปรับปรุงระบบบริหารจัดการภายในให้มีความทันสมัยและตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลโดยตรงต่อการยกระดับคุณภาพบริการของระบบสาธารณสุขในโรงพยาบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์ สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล โดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งของ RFID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามและบริหารจัดการการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

1.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบที่พัฒนา ในด้านความถูกต้องของตำแหน่ง ความเร็วในการค้นหาผู้ป่วย และผลกระทบที่มีต่อการลดระยะเวลาการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การใช้ระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์ที่ใช้เทคโนโลยี RFID จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามและลดระยะเวลาในการค้นหาผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมที่อาศัยการสื่อสารผ่านบุคลากรหรือระบบที่ไม่เป็นอัตโนมัติ ระบบ RFID ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถระบุตำแหน่งของผู้ป่วยและเปลเคลื่อนย้ายได้แบบเรียลไทม์ ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายเป็นไปอย่างรวดเร็วและลดปัญหาความล่าช้าในการให้บริการทางการแพทย์

นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นคาดว่าจะมีความแม่นยำในการแจ้งตำแหน่งและสามารถลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลื่อนย้าย เช่น การส่งผู้ป่วยผิดห้องหรือการลืมนำผู้ป่วยในพื้นที่รอคอย ระบบ RFID จะช่วยให้โรงพยาบาลสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดภาระของบุคลากรในการค้นหาผู้ป่วย และเพิ่มความปลอดภัยในการให้บริการทางการแพทย์

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ขอบเขตการวิจัย การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ในโรงพยาบาล โดยใช้เทคโนโลยี RFID เป็นหลักในการติดตามตำแหน่ง โดยไม่รวมถึงการศึกษาวิธีการติดตามประเภทอื่น เช่น ระบบ GPS หรือเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ

1.4.2 พื้นที่การวิจัย การทดสอบระบบจะดำเนินในสถานที่จำลองทั้งในสถานที่โล่งแจ้งและภายในอาคาร เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมที่แท้จริง

1.4.3 ระยะเวลาในการดำเนินการ การดำเนินการวิจัยจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะครอบคลุมการทดสอบและการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสม

1.4.4 ตัวชี้วัดการประเมินผล การประเมินผลของระบบจะพิจารณาจากการลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์ ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง โดยจะไม่นับรวมถึงปัจจัยภายนอกหรือความสามารถของบุคลากรในการใช้ระบบ

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล โดยเลือกใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยและลดระยะเวลาในการค้นหาผู้ป่วยในกระบวนการเคลื่อนย้าย

1.5.1 ขอบเขตเทคโนโลยีที่ใช้ การวิจัยนี้จะใช้เทคโนโลยี RFID ในการติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบการเคลื่อนย้ายภายในโรงพยาบาล โดยไม่รวมถึงการศึกษาเทคโนโลยีหรือระบบอื่น ๆ ที่ใช้ในการติดตามตำแหน่ง เช่น GPS หรือ Bluetooth Low Energy (BLE)

1.5.2 พื้นที่จำลองการศึกษา ทั้งในสถานที่โล่งแจ้งและภายในอาคาร เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงของโรงพยาบาล

1.5.3 ขอบเขตการวัดผลการศึกษา การศึกษาเน้นการประเมินผลในด้านการลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์และการลดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย รวมถึงความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งผู้ป่วยจากระบบ RFID และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการให้บริการทางการแพทย์

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

1.6.1 ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี ระบบที่พัฒนาขึ้นจะใช้เทคโนโลยี RFID ในการติดตามตำแหน่งผู้ป่วย แต่ประสิทธิภาพของระบบอาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น ความสามารถในการรับสัญญาณ RFID ที่อาจลดลงในพื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนหรือมีสิ่งกีดขวางในสภาพแวดล้อมภายในโรงพยาบาล

1.6.2 ข้อจำกัดด้านพื้นที่การศึกษา การทดสอบระบบจะดำเนินการในสถานที่จำลองซึ่งอาจไม่สามารถสะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบในทุกพื้นที่ของโรงพยาบาลที่อาจมีลักษณะต่างกัน เช่น พื้นที่ภายนอกโรงพยาบาลหรือพื้นที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

1.6.3 ข้อจำกัดด้านการวัดผล การประเมินผลของระบบ RFID จะพิจารณาจากการลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์และความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

1.6.4 ข้อจำกัดด้านทรัพยากร การพัฒนาและการทดสอบระบบอาจได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่น งบประมาณที่จำกัด หรือจำนวนอุปกรณ์ RFID ที่สามารถใช้งานได้ในช่วงการศึกษานี้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการผู้ป่วย เนื่องจากการใช้ระบบ RFID จะช่วยให้เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลสามารถติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยในเวลาจริงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาผู้ป่วยและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการเคลื่อนย้ายภายในโรงพยาบาล

1.7.2 ลดข้อผิดพลาดในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เนื่องจากระบบ RFID จะช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารหรือความผิดพลาดในการคำนวณตำแหน่งของผู้ป่วย ซึ่งจะส่งผลให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นไปอย่างราบรื่นและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

1.7.3 เพิ่มความปลอดภัยในการให้บริการทางการแพทย์ เนื่องจากการติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยในเวลาจริงจะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถรู้ตำแหน่งของผู้ป่วยได้ตลอดเวลา ซึ่งจะเพิ่มความปลอดภัยในการดูแลรักษาผู้ป่วยและช่วยในการจัดการฉุกเฉินได้ทันเวลา

1.7.4 ลดภาระการทำงานของบุคลากร เนื่องจากระบบอัตโนมัติที่ใช้ RFID จะช่วยลดภาระงานของบุคลากรในการค้นหาผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ และทำให้สามารถมุ่งเน้นการดูแลผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7.5 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีในโรงพยาบาล เนื่องจากการนำระบบ RFID มาใช้ในโรงพยาบาลจะเป็นการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการดูแลผู้ป่วย ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการพัฒนาโรงพยาบาลให้ทันสมัยและมีการบริการที่ดีขึ้น

1.7.6 เพิ่มความพึงพอใจของผู้ป่วย เนื่องจากการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่รวดเร็วและปลอดภัยจะช่วยเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้ป่วยและครอบครัว เนื่องจากลดความล่าช้าและข้อผิดพลาดในการบริการ

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 RFID (Radio Frequency Identification) เทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการส่งข้อมูลระหว่างแท็ก RFID ที่ติดกับวัตถุ เช่น ผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ กับตัวรับสัญญาณ เพื่อใช้ในการติดตามตำแหน่งหรือข้อมูลต่าง ๆ แบบอัตโนมัติและในเวลาจริง

1.8.2 ระบบติดตามตำแหน่ง (Location Tracking System) ระบบที่ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น RFID GPS หรือ Bluetooth ในการระบุตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในพื้นที่ต่าง ๆ ของโรงพยาบาล เพื่อให้สามารถติดตามและควบคุมการเคลื่อนย้ายได้อย่างแม่นยำและทันที

1.8.3 ตำแหน่งผู้ป่วย (Patient Location) ตำแหน่งที่ผู้ป่วยอยู่ในขณะนั้น โดยระบบจะใช้เทคโนโลยี RFID ในการระบุตำแหน่งของผู้ป่วยในพื้นที่ต่าง ๆ ของโรงพยาบาล เช่น ห้องฉุกเฉิน ห้องผ่าตัด หรือหอผู้ป่วย

1.8.4 ระบบมอนิเตอร์ (Monitoring System) ระบบที่ใช้ในการติดตามและตรวจสอบการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในโรงพยาบาลแบบเรียลไทม์ โดยแสดงข้อมูลตำแหน่งหรือสถานะของผู้ป่วยและอุปกรณ์ผ่านแพลตฟอร์มที่สามารถเข้าถึงได้โดยบุคลากรที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการเคลื่อนย้าย

1.8.5 การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย (Patient Transport) กระบวนการของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งภายในโรงพยาบาล เช่น จากห้องฉุกเฉินไปยังห้องผ่าตัด หรือจากห้องผู้ป่วยไปยังห้องตรวจ

1.8.6 ความแม่นยำ (Accuracy) ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย โดยเฉพาะในระบบ RFID ความแม่นยำในการอ่านข้อมูลจะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ

1.8.7 เวลาจริง (Real-time) การติดตามและให้ข้อมูลในเวลาที่เกิดขึ้นจริงหรือทันที เช่น การติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยในขณะนั้น หรือการแจ้งเตือนทันทีเมื่อเกิดเหตุการณ์สำคัญ

1.8.8 ข้อมูลผู้ป่วย (Patient Information) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้ป่วย เช่น ชื่อผู้ป่วย เลขที่ผู้ป่วย เวลาในการเคลื่อนย้าย หรือข้อมูลการรักษาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเชื่อมโยงกับข้อมูลจากระบบ RFID

1.8.9 คลื่นวิทยุ (Radio Frequency) คลื่นที่ใช้ในระบบ RFID ในการส่งข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่มีการสัมผัสโดยตรงระหว่างอุปกรณ์และแท็ก RFID

1.8.10 ประสิทธิภาพของระบบ (System Efficiency) ความสามารถของระบบในการทำงานได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยการทดสอบในด้านการลดระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและลดข้อผิดพลาดในการติดตามตำแหน่ง



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 นี้ ได้มีการนำเสนอแนวคิดและองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบแจ้งตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล โดยครอบคลุมเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) การใช้งาน RTLS ในโรงพยาบาล ระบบติดตามผู้ป่วยและการแจ้งเตือน รวมถึงการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาระบบที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลได้

2.1 เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System - RTLS)

2.1.1 ความหมายและแนวคิดของ RTLS

เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) เป็นระบบที่ใช้สำหรับติดตามและระบุตำแหน่งของวัตถุหรือบุคคลภายในพื้นที่ที่กำหนดแบบเรียลไทม์ โดยอาศัยเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเพื่อระบุพิกัดของเป้าหมายและส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมหรือแพลตฟอร์มซอฟต์แวร์ที่ใช้วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลตำแหน่ง (Ni et al., 2020) ระบบ RTLS ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การแพทย์ การผลิต การขนส่ง และการค้าปลีก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและความปลอดภัย

RTLS สามารถใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น RFID, Bluetooth, Wi-Fi และ UWB ในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์หรือบุคคล ระบบเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ในโรงพยาบาลเพื่อช่วยติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ติดตามผู้ป่วย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เพื่อลดความล่าช้าและเพิ่มความปลอดภัย (Park et al., 2021)

2.1.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่ง

RTLS สามารถทำงานได้โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.1.2.1 Radio-Frequency Identification (RFID)

RFID (Radio-Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุตัวตนและติดตามวัตถุหรือบุคคลผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และ ตัวอ่าน (Reader) ระบบ RFID ถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมถึงโรงพยาบาล เพื่อระบุตำแหน่งและติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ บุคลากร และผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ โดยองค์ประกอบของระบบ RFID จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. แท็ก RFID (RFID Tag) เป็นอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับวัตถุหรือบุคคลเพื่อใช้ระบุตัวตน มีชิปอิเล็กทรอนิกส์ที่เก็บข้อมูลเฉพาะ เช่น หมายเลขประจำตัวของวัตถุ มีเสาอากาศ (Antenna) สำหรับรับและส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แท็กแบบ

พาสซีฟ (Passive Tag) : ไม่มีแหล่งพลังงานในตัว ต้องอาศัยพลังงานจากตัวอ่าน RFID ในการส่งข้อมูล และแท็กแบบแอคทีฟ (Active Tag) : มีแบตเตอรี่ในตัว สามารถส่งสัญญาณได้เอง ทำให้มีระยะเวลาการทำงานไกลกว่า

2. ตัวอ่าน RFID (RFID Reader) ทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุไปยังแท็ก RFID เพื่อกระตุ้นให้แท็กตอบกลับข้อมูล มีหน่วยประมวลผลสำหรับถอดรหัสข้อมูลที่รับจากแท็ก สามารถเป็นแบบ Fixed Reader (ติดตั้งอยู่กับที่) หรือ Mobile Reader (แบบพกพา)

3. ระบบจัดการข้อมูล (RFID Middleware & Database) เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากตัวอ่าน RFID จัดเก็บและเชื่อมต่อข้อมูลกับระบบฐานข้อมูลขององค์กร รวมถึงการแสดงผลข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต เช่น แดชบอร์ดสำหรับติดตามวัตถุแบบเรียลไทม์

1) หลักการทำงานของระบบ RFID

การส่งคลื่นวิทยุจากตัวอ่าน RFID โดยที่ตัวอ่าน RFID จะทำการส่งคลื่นวิทยุที่มีความถี่เฉพาะไปยังบริเวณที่มีแท็ก RFID หากเป็น Passive Tag แท็กจะใช้พลังงานจากคลื่นวิทยุนี้เพื่อกระตุ้นชิปภายในให้ทำงาน และถ้าหากเป็น Active Tag หรือ Semi-Passive Tag แท็กจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ภายในเพื่อตอบสนองได้รวดเร็วขึ้น ส่วนการตอบกลับข้อมูลจากแท็ก RFID เมื่อแท็กได้รับพลังงานจากคลื่นวิทยุ มันจะส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำกลับไปยังตัวอ่าน ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจะอยู่ในรูปแบบของหมายเลขเฉพาะ (Unique Identifier) หรือข้อมูลเพิ่มเติมที่บันทึกไว้ การรับและประมวลผลข้อมูลจากตัวอ่าน RFID ตัวอ่าน RFID รับสัญญาณจากแท็กและถอดรหัสข้อมูล จากนั้นส่งข้อมูลไปยังระบบซอฟต์แวร์หรือฐานข้อมูลกลางผ่านอินเทอร์เน็ตหรือเครือข่ายภายใน การแสดงผลและนำข้อมูลไปใช้ ซอฟต์แวร์จะวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผล เช่น ตำแหน่งของวัตถุ การแจ้งเตือนหากวัตถุถูกเคลื่อนย้าย หรือการบันทึกข้อมูลเพื่อใช้ในการบริหารจัดการ ตัวอย่างการนำไปใช้ในโรงพยาบาล ได้แก่ การติดตามผู้ป่วย การบริหารจัดการอุปกรณ์ทางการแพทย์ และการควบคุมการเข้าถึงพื้นที่สำคัญ ซึ่งหลักการทำงานคือมีการใช้สัญญาณความถี่กว้างพิเศษเพื่อวัดระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณด้วยเทคนิค Time of Flight (ToF) โดยมีข้อดีคือมีความแม่นยำสูง (ระดับเซนติเมตร) และสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน ส่วนข้อจำกัดคือมีต้นทุนสูง และต้องมีการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานเฉพาะ (Li et al., 2022)

2) ช่วงความถี่ของ RFID และระยะเวลาการทำงาน

RFID มีช่วงความถี่ที่หลากหลาย ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานและการใช้งานที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่ของ RFID และระยะเวลาการทำงาน

| ช่วงความถี่ | ย่านความถี่ (MHz) | ระยะการอ่านข้อมูล | การใช้งานหลัก |
|---------------------|-------------------|-------------------|--|
| Low Frequency (LF) | 0.125 - 0.134 MHz | 10 ซม. - 1 เมตร | ระบบระบุตัวตน ระบบ ล็อกอัตโนมัติ |
| High Frequency (HF) | 13.56 MHz | 10 ซม. - 1 เมตร | บัตรสมาชิกการ์ด ระบบ จ่ายเงินไร้สัมผัส |

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่ของ RFID และระยะการทำงาน (ต่อ)

| ช่วงความถี่ | ย่านความถี่ (MHz) | ระยะการอ่านข้อมูล | การใช้งานหลัก |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|---|
| Ultra- High Frequency (UHF) | 860 - 960 MHz | 1 - 10 เมตร | ระบบติดตามสินค้าคงคลัง การขนส่ง การจัดการโลจิสติกส์ |
| Microwave RFID | 2.45 GHz ขึ้นไป | มากกว่า 10 เมตร | ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ การติดตามยานพาหนะ |

3) ข้อดีและข้อจำกัดของ RFID

ข้อดีของ RFID

1. อ่านข้อมูลได้โดยไม่ต้องสัมผัส : ต่างจากบาร์โค้ดที่ต้องสแกนโดยตรง RFID สามารถอ่านข้อมูลได้ผ่านวัสดุต่าง ๆ
2. ระยะทำงานที่หลากหลาย : สามารถเลือกใช้ย่านความถี่ที่เหมาะสมกับการใช้งาน
3. รองรับการอ่านข้อมูลหลายรายการพร้อมกัน : ตัวอ่าน RFID สามารถอ่านแท็กได้หลายแท็กในเวลาเดียวกัน
4. ข้อมูลในแท็กสามารถอัปเดตได้ : ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแท็กตามความต้องการ

ข้อจำกัดของ RFID

1. ต้นทุนสูงกว่าเทคโนโลยีบาร์โค้ด : โดยเฉพาะแท็กแบบ Active และระบบที่ต้องใช้โครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติม
2. สัญญาณอาจถูกรบกวน : วัสดุที่เป็นโลหะและของเหลวอาจส่งผลต่อการรับส่งสัญญาณของ RFID
3. ข้อกังวลด้านความปลอดภัย : ข้อมูล RFID อาจถูกอ่านหรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาตหากไม่มีมาตรการป้องกัน

4) การนำ RFID ไปใช้งานในโรงพยาบาล

เทคโนโลยี RFID ได้ถูกนำไปใช้ในโรงพยาบาลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากร และลดความผิดพลาดในการดูแลผู้ป่วย ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่

1. ติดตามผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ : ติดแท็ก RFID กับข้อมือผู้ป่วยเพื่อให้สามารถติดตามตำแหน่งได้แบบเรียลไทม์
2. ติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ : ใช้ RFID เพื่อตรวจสอบสถานะและตำแหน่งของเครื่องมือแพทย์ เช่น เครื่องเอกซเรย์ และรถเข็นยา
3. ควบคุมการเข้าถึงพื้นที่สำคัญ : ใช้บัตร RFID ในการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงห้องผ่าตัด ห้องฉุกเฉิน หรือห้องยาพิเศษ

RFID เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการติดตามวัตถุและบุคคลแบบเรียลไทม์ มีการนำไปใช้ในโรงพยาบาลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วยและบริหารจัดการอุปกรณ์ทางการแพทย์ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในด้านต้นทุนและสัญญาณรบกวน แต่การเลือกใช้ย่านความถี่ที่เหมาะสมและระบบความปลอดภัยที่ดีสามารถช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้

2.1.2.2 หลักการทำงานของ Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ออกแบบมาเพื่อใช้พลังงานต่ำในขณะที่ยังสามารถสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ BLE ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT (Internet of Things) ระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) และอุปกรณ์สวมใส่ (Wearable Devices) เช่น สมาร์ทวอตช์และเครื่องติดตามสุขภาพ

1) องค์ประกอบของระบบ BLE

BLE มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ต้นทาง (BLE Peripheral) ซึ่งอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูล เช่น เซ็นเซอร์ อุปกรณ์ติดตาม หรือบีคอน (Beacon) มีชิป BLE ที่สามารถโฆษณาข้อมูลและรอการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์อื่น ส่วนอุปกรณ์ปลายทาง (BLE Central Device) นั้นคืออุปกรณ์ที่รับข้อมูล เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ หรือเกตเวย์ BLE ทำหน้าที่สแกนและเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ BLE Peripheral GATT (Generic Attribute Profile) และโปรโตคอลการสื่อสาร โดยมีการกำหนดโครงสร้างข้อมูลและรูปแบบการสื่อสารใน BLE ใช้ระบบ Attribute (ATT) เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบของ Service และ Characteristic

2) หลักการทำงานของ BLE

การโฆษณา (Advertising Mode) อุปกรณ์ BLE Peripheral จะส่งแพ็คเกจโฆษณา (Advertising Packet) ออกมาเป็นระยะ โดยแพ็คเกจโฆษณานี้ประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐาน เช่น UUID, MAC Address และค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator) ส่วนอุปกรณ์ BLE Central จะสแกนสัญญาณที่ออกอากาศและเลือกการเชื่อมต่อ ในส่วนของการเชื่อมต่อ (Connection Mode) จะมีการสร้างการเชื่อมต่อ (Connection Establishment) เมื่อ BLE Central พบ BLE Peripheral ที่ต้องการเชื่อมต่อ มันจะส่งคำขอเชื่อมต่อ (Connection Request) หาก BLE Peripheral ตอบรับ ค่าพารามิเตอร์การเชื่อมต่อ เช่น Connection Interval, Slave Latency และ Supervision Timeout จะถูกกำหนด ส่วนการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Data Exchange) BLE จะมีการใช้ GATT (Generic Attribute Profile) ในการสื่อสารข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกเก็บในลักษณะของ Service และ Characteristic โดยแต่ละ Characteristic อาจมีค่าเดียวหรือหลายค่า ส่วนการอ่านและเขียนค่าทำได้ผ่าน Read, Write, Notify และ Indicate ในส่วนโหมดพัก (Idle/Sleep Mode) นั้น เมื่อไม่มีการสื่อสาร อุปกรณ์ BLE Peripheral จะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน อุปกรณ์จะตื่นขึ้นมาเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ เพื่อตรวจสอบว่ามีคำขอเชื่อมต่อหรือไม่

3) โปรโตคอลและสถาปัตยกรรมของ BLE

BLE ใช้โครงสร้างโปรโตคอลแบบเลเยอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. Controller Layer (Physical & Link Layer) เป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งสัญญาณวิทยุ ใช้ GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) ในการมอดูเลตสัญญาณรองรับ Adaptive Frequency Hopping (AFH) เพื่อลดสัญญาณรบกวน

2. Host Layer (L2CAP, GAP, ATT, GATT, SMP) L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) ใช้สำหรับการจัดการแพ็กเก็ตข้อมูล GAP (Generic Access Profile) ใช้สำหรับการควบคุมโหมดการเชื่อมต่อและการโฆษณา ATT (Attribute Protocol) ใช้สำหรับจัดการโครงสร้างข้อมูล GATT (Generic Attribute Profile) ใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และ SMP (Security Manager Protocol) ใช้สำหรับควบคุมการเข้ารหัสและความปลอดภัย

3. Application Layer แอปพลิเคชันที่ใช้ BLE เช่น แอปสุขภาพและระบบติดตามอุปกรณ์สามารถกำหนด Custom Services เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

4) ช่วงความถี่และอัตราการส่งข้อมูลของ BLE

ตารางที่ 2.2 ช่วงความถี่และอัตราการส่งข้อมูลของ BLE

| พารามิเตอร์ | ค่า |
|-------------------|---|
| ความถี่วิทยุ | 2.4 GHz |
| จำนวนช่องสัญญาณ | 40 ช่อง (3 ช่องโฆษณา 37 ช่องข้อมูล) |
| อัตราการส่งข้อมูล | 125 kbps - 2 Mbps |
| ระยะการทำงาน | 10 - 100 เมตร (ขึ้นอยู่กับกำลังส่งและสภาพแวดล้อม) |
| พลังงานที่ใช้ | ต่ำกว่า Bluetooth Classic มากถึง 10 เท่า |

5) ข้อดีและข้อจำกัดของ BLE

ข้อดีของ BLE

1. ประหยัดพลังงานสูง : ออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำมาก เหมาะสำหรับอุปกรณ์ IoT
2. รองรับอุปกรณ์หลากหลาย : มีอยู่ในสมาร์ทโฟน แล็ปท็อป และอุปกรณ์พกพาทั่วไป

3. ความปลอดภัยสูง : รองรับการเข้ารหัสและการตรวจสอบสิทธิ์

4. ต้นทุนต่ำ : ชิป BLE มีราคาถูกและสามารถติดตั้งในอุปกรณ์ขนาดเล็ก

ข้อจำกัดของ BLE

1. อัตราการส่งข้อมูลต่ำกว่าบลูทูธปกติ : BLE ไม่เหมาะสำหรับการสตรีมเสียงหรือวิดีโอ
2. ระยะทำงานจำกัด : แม้จะสามารถทำงานได้ในระยะ 10 - 100 เมตร แต่สัญญาณอาจลดลงในอาคาร
3. ข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่อ : BLE Peripheral เชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์จำนวนน้อยกว่า Bluetooth Classic

6) การนำ BLE ไปใช้ในระบบ RTLS และ IoT

BLE ถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ระบบระบุตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning Systems - IPS) โดยการใช้ BLE Beacons เพื่อติดตามตำแหน่งของ

อุปกรณ์และบุคคลภายในอาคาร ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงพยาบาล และสนามบิน ในส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์และสุขภาพ (Healthcare & Wearables) มีการใช้ในสมาร์ทวอตช์และเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และอุปกรณ์ติดตามสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ ส่วนในการจัดการสินค้าคงคลังและโลจิสติกส์ มีการติดตามสินค้าภายในคลังสินค้าและโรงงานผลิต เพื่อลดความผิดพลาดในการจัดการสินค้าด้วย BLE Tags

Bluetooth Low Energy (BLE) เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาเพื่อใช้พลังงานต่ำโดยยังสามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับ IoT ระบบติดตามตำแหน่ง และอุปกรณ์พกพา BLE ใช้การโฆษณา (Advertising) และการเชื่อมต่อผ่าน GATT Profile เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล แม้ว่าจะมีข้อจำกัดในด้านระยะและอัตราการส่งข้อมูล แต่ BLE ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สำคัญสำหรับระบบไร้สายที่ต้องการประหยัดพลังงาน

2.1.2.3 หลักการทำงานของ Wireless Fidelity (Wi-Fi)

Wi-Fi (Wireless Fidelity) เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ใช้คลื่นวิทยุในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องใช้สายเคเบิล Wi-Fi ถูกพัฒนาภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 และได้รับการดูแลโดย Wi-Fi Alliance ซึ่งเป็นองค์กรที่กำกับดูแลการพัฒนาและรับรองมาตรฐาน Wi-Fi ทั่วโลก

1) โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ Wi-Fi

Wi-Fi ทำงานโดยใช้อุปกรณ์หลัก 3 ประเภท ได้แก่

1. Access Point (AP) หรือ Router เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ Wi-Fi และเชื่อมต่อเครือข่าย LAN หรืออินเทอร์เน็ต สามารถทำงานในโหมดต่าง ๆ เช่น Router Mode, Bridge Mode และ Repeater Mode
2. Client Devices (STA - Station) อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย Wi-Fi เช่น สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก และ IoT Devices
3. Wi-Fi Controller ในองค์กรที่ใช้ Wi-Fi ขนาดใหญ่ อาจมี Wi-Fi Controller ใช้จัดการ Access Points หลายตัวจากศูนย์กลาง

2) หลักการทำงานของ Wi-Fi

1. การสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุ Wi-Fi ใช้คลื่นความถี่วิทยุในย่าน 2.4 GHz, 5 GHz และ 6 GHz สำหรับการส่งข้อมูล คลื่นวิทยุเหล่านี้ถูกแบ่งออกเป็น "ช่องสัญญาณ" (Channels) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันได้โดยลดสัญญาณรบกวน
2. โหมดการทำงานของ Wi-Fi โดย Wi-Fi สามารถทำงานได้ในโหมดหลัก ๆ 2 โหมด ได้แก่ โหมดโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Mode) อุปกรณ์ Wi-Fi จะเชื่อมต่อผ่าน Access Point เหมาะสำหรับเครือข่ายภายในบ้าน ออฟฟิศ และสถานที่สาธารณะ และโหมดแอดฮอค (Ad-Hoc Mode หรือ Peer-to-Peer Mode) อุปกรณ์ Wi-Fi สามารถเชื่อมต่อโดยตรงกันได้โดยไม่ต้องมี Access Point ใช้ในกรณีที่ต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์โดยตรง
3. กระบวนการเชื่อมต่อ Wi-Fi (Wi-Fi Connection Process) การเชื่อมต่อ Wi-Fi ของอุปกรณ์ทำได้ผ่านกระบวนการดังนี้ เริ่มจากการสแกนหาเครือข่าย Wi-Fi (scanning) โดยอุปกรณ์ลูกข่าย (Client) จะสแกนหาสัญญาณ Wi-Fi รอบตัว AP โดยการส่ง Beacon Frames ออกมาเป็นระยะเพื่อแจ้งให้ Client ทราบว่ามีเครือข่ายอยู่ จากนั้นจึงทำการตรวจสอบสิทธิ์

(Authentication) โดย Client ขอเข้าถึงเครือข่ายด้วยการส่งคำขอ Authentication ไปยัง AP และ AP จะตรวจสอบและอนุญาตการเข้าถึง ส่วนการเข้าร่วมเครือข่าย (Association) เมื่อ Client ได้รับอนุญาต มันจะส่ง Association Request ไปยัง AP ซึ่งตัว AP จะตอบกลับด้วย Association Response และมอบหมายที่อยู่ IP Address ให้ ส่วนการส่งข้อมูล (Data Transmission) เมื่อเชื่อมต่อแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งผ่านโปรโตคอล TCP/IP และเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัย

3) มาตรฐาน Wi-Fi และความเร็วในการส่งข้อมูล

ตารางที่ 2.3 มาตรฐาน Wi-Fi และความเร็วในการส่งข้อมูล

| มาตรฐาน | ย่านความถี่ (GHz) | อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด | ระยะทาง |
|--------------------|-------------------|-------------------------|---------|
| 802.11a | 5 GHz | 54 Mbps | 35 เมตร |
| 802.11b | 2.4 GHz | 11 Mbps | 38 เมตร |
| 802.11g | 2.4 GHz | 54 Mbps | 38 เมตร |
| 802.11n | 2.4/ 5GHz | 600 Mbps | 70 เมตร |
| 802.11ac | 5 GHz | 1.3 Gbps | 35 เมตร |
| 802.11ax (Wi-Fi 6) | 2.4/ 5/ 6 GHz | 9.6 Gbps | 50 เมตร |

4) ข้อดีและข้อจำกัดของ Wi-Fi

ข้อดีของ Wi-Fi

1. ไร้สาย : ไม่ต้องใช้สาย LAN สะดวกในการเชื่อมต่ออุปกรณ์
2. รองรับอุปกรณ์หลากหลาย : ใช้งานได้กับสมาร์ทโฟน โน้ตบุ๊ก IoT ฯลฯ
3. มีความเร็วสูงขึ้นเรื่อย ๆ : Wi-Fi 6 สามารถส่งข้อมูลได้ถึง 9.6 Gbps
4. รองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก : เหมาะสำหรับสำนักงาน สถานศึกษา และสถานที่สาธารณะ

ข้อจำกัดของ Wi-Fi

1. สัญญาณลดลงตามระยะทาง : ยิ่งอยู่ไกลจาก AP สัญญาณจะอ่อนลง
2. เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย : โดยเฉพาะในย่าน 2.4 GHz ที่มีอุปกรณ์จำนวนมากใช้คลื่นเดียวกัน
3. ความปลอดภัยต่ำกว่าการเชื่อมต่อแบบมีสาย : หากไม่มีการเข้ารหัส อาจถูกดักฟังข้อมูล

5) การนำ Wi-Fi ไปใช้ในงาน

การนำ Wi-Fi ไปใช้ในงานต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ตในบ้าน (Home Networking) ที่มีการใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ในบ้าน เช่น สมาร์ททีวี คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ IoT ระบบเครือข่ายองค์กร (Enterprise Networking) ที่มีการใช้ Access Point หลายตัวเพื่อครอบคลุมพื้นที่สำนักงาน ระบบระบุตำแหน่ง (Wi-Fi Positioning System - WPS) ที่มีการใช้ตรวจจับตำแหน่ง

ของอุปกรณ์ผ่านค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator) และในส่วนของอุตสาหกรรม IoT และสมาร์ตซิตี้ที่มีการใช้ Wi-Fi เชื่อมต่อเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อัจฉริยะในเมือง

Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่มีบทบาทสำคัญในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ อินเทอร์เน็ต ทำงานบนคลื่นความถี่ 2.4 GHz, 5 GHz และ 6 GHz โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.11 ล่าสุดเช่น Wi-Fi 6 และ Wi-Fi 7 มาพร้อมกับความเร็วที่สูงขึ้นและลดปัญหาสัญญาณรบกวน Wi-Fi เหมาะสำหรับการใช้งานในบ้าน ออฟฟิศ และอุตสาหกรรม IoT อย่างไรก็ตาม ยังคงมีข้อจำกัดเรื่องสัญญาณรบกวนและความปลอดภัยที่ต้องได้รับการป้องกัน

2.1.2.4 Ultra-Wideband (UWB)

Ultra-Wideband (UWB) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ใช้สัญญาณ ความถี่กว้างมากกว่า 500 MHz หรือมีแบนด์วิดท์อย่างน้อย 20% ของความถี่ศูนย์กลาง (FCC, 2002) โดยทั่วไป UWB จะทำงานในช่วงความถี่ 3.1 GHz - 10.6 GHz ซึ่งได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดย FCC (Federal Communications Commission) ในปี 2002

UWB มีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากเทคโนโลยีไร้สายทั่วไป เช่น Wi-Fi และ Bluetooth ตรงที่มัน ใช้พลังงานต่ำมากและสามารถส่งข้อมูลได้ในช่วงสั้น ๆ ด้วยความแม่นยำสูง ทำให้เหมาะสำหรับการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) และการสื่อสารความเร็วสูงระยะใกล้

1) หลักการทำงานของ UWB

UWB ใช้ พัลส์ความถี่กว้าง (Short Pulse Radio Signals) ที่มี ระยะเวลาสั้นมาก (ระดับนาโนวินาที) ในการส่งข้อมูล แทนที่จะใช้คลื่นต่อเนื่องแบบ Wi-Fi หรือ Bluetooth ซึ่งมีแบนด์วิดท์แคบกว่าโดยรูปแบบการส่งข้อมูลของ UWB นั้นเริ่มจาก Pulse-Based Communication โดย UWB ใช้สัญญาณพัลส์สั้น ๆ ส่งข้อมูลโดยไม่ต้องใช้ตัวพาหะ (Carrier Wave) ทำให้สามารถลดสัญญาณรบกวนและใช้พลังงานต่ำมาก ส่วน Time-of-Flight (ToF) และ Time-Difference-of-Arrival (TDoA) นั้น UWB มีการใช้วิธีวัดเวลาที่สัญญาณใช้เดินทางระหว่างอุปกรณ์ เพื่อคำนวณระยะทาง โดย ToF (Time-of-Flight) : วัดเวลาที่สัญญาณเดินทางระหว่างสองอุปกรณ์ และ TDoA (Time-Difference-of-Arrival) : ใช้วิธีวัดความต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางถึงสถานี รับสัญญาณหลายจุดเพื่อกำหนดตำแหน่ง ส่วน Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) ใน UWB บางมาตรฐานของ UWB เช่น IEEE 802.15.4z ใช้ OFDM เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการส่งข้อมูลและลดสัญญาณรบกวน

2) เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบ UWB

UWB สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักตามรูปแบบการทำงาน

1. Impulse Radio UWB (IR-UWB)

ใช้พัลส์สั้น ๆ ในการส่งข้อมูลและมีอัตราการส่งข้อมูลสูงมาก แต่ใช้ พลังงานต่ำ

2. Multiband UWB (MB-UWB)

ใช้หลายแบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลและรองรับการใช้งานที่ หลากหลาย เช่น การส่งข้อมูลวิดีโอความละเอียดสูง

3) ข้อดีและข้อจำกัดของ UWB

ข้อดีของ UWB

1. ความแม่นยำสูง : สามารถระบุตำแหน่งได้ภายในระดับเซนติเมตร (Accuracy ~10 cm)
2. ใช้พลังงานต่ำ : เหมาะสำหรับอุปกรณ์ IoT และระบบติดตาม
3. ต้านทานสัญญาณรบกวน : คลื่น UWB กระจายอยู่ในแถบความถี่กว้าง ทำให้ลดสัญญาณรบกวนจาก Wi-Fi และ Bluetooth
4. สามารถใช้ในอาคารได้ดี : มีความสามารถในการเจาะทะลุผนังบาง ๆ

ข้อจำกัดของ UWB

1. ช่วงการส่งข้อมูลสั้น : มีรัศมีทำงานประมาณ 10 - 50 เมตร เท่านั้น
2. ต้องมีอุปกรณ์รองรับ : สมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ IoT บางรุ่นเท่านั้นที่รองรับ UWB
3. ต้นทุนสูง : เทียบกับ Bluetooth และ Wi-Fi แล้ว UWB ยังมีค่าใช้จ่ายด้านฮาร์ดแวร์ที่สูงกว่า

4) การนำ UWB ไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง

1. ระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS - Real-Time Location System) โดย UWB ถูกใช้ใน โรงพยาบาล เพื่อติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์และบุคลากร นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในคลังสินค้าและโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อติดตามตำแหน่งพาเลทหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ
2. สมาร์ทโฟนและการสื่อสารระยะใกล้ (Near-Field Communication) เช่น iPhone (ตั้งแต่ iPhone 11) และ Samsung Galaxy รุ่นใหม่รองรับ UWB เพื่อใช้ในระบบ AirDrop, Samsung SmartThings และ Apple AirTag เพื่อระบุตำแหน่งสิ่งของด้วยความแม่นยำสูง
3. การควบคุมอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Home & IoT) โดยมีการใช้ UWB เพื่อเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติหรือควบคุมอุปกรณ์ในบ้านอัจฉริยะโดยใช้การระบุตำแหน่งของผู้ใช้
4. ระบบควบคุมการเข้าถึง (Access Control & Keyless Entry) โดยมีการใช้ในสมาร์ตคีย์รถยนต์ (UWB Car Key) ของ BMW, Audi, และ Tesla เพื่อปลดล็อครถโดยอัตโนมัติ
5. การนำทางในอาคาร (Indoor Navigation & Augmented Reality - AR) โดยมีการใช้ UWB ใน สนามบิน ห้างสรรพสินค้า และพิพิธภัณฑ์ เพื่อนำทางผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทาง

UWB เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่มี ความแม่นยำสูง ใช้พลังงานต่ำ และเหมาะสำหรับการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ ปัจจุบันถูกใช้งานในอุปกรณ์สมาร์ตโฟน ระบบควบคุมการเข้าถึง และการติดตามทรัพย์สินในอุตสาหกรรม แม้จะมีข้อจำกัดเรื่องระยะทำการสั้นและต้นทุนสูง แต่แนวโน้มของ UWB กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วในยุคของ IoT และ AI

2.1.3 เทคโนโลยี LoRa

2.1.3.1 ความหมายของ LoRa

LoRa (ย่อมาจาก Long Range) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัท Semtech Corporation ซึ่งใช้การมอดูเลชันแบบ Chirp Spread Spectrum (CSS) เพื่อเพิ่มระยะการส่งข้อมูลโดยใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบ Internet of Things (IoT) ที่ต้องการการเชื่อมต่อระยะไกล เช่น เซ็นเซอร์ในพื้นที่เกษตรกรรม การติดตามตำแหน่ง และระบบ Smart City

2.1.3.2 หลักการทำงานของ LoRa

LoRa ใช้การมอดูเลตสัญญาณแบบ Chirp Spread Spectrum (CSS) ซึ่งเป็นเทคนิคการแพร่สเปกตรัมที่ทนต่อสัญญาณรบกวน (interference) และสามารถสื่อสารในระยะทางไกลได้มากกว่าการมอดูเลตแบบทั่วไป เช่น FSK หรือ GFSK การแพร่กระจายสเปกตรัมด้วย CSS ทำให้ LoRa สามารถสื่อสารได้แม้สัญญาณจะอยู่ต่ำกว่าระดับ noise floor โดยทั่วไป LoRa จะทำงานภายใต้สถาปัตยกรรมที่เรียกว่า LoRaWAN (LoRa Wide Area Network) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1. End Device เช่น เซ็นเซอร์, tag 2. Gateway ทำหน้าที่เป็นสะพานข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับเครือข่าย และ 3. Network Server ที่ใช้ในการจัดการเส้นทาง (routing) และข้อมูลภายในระบบ

2.1.3.3 การแบ่งประเภท LoRa ตามย่านความถี่

LoRa ใช้คลื่นความถี่ในช่วง ISM (Industrial, Scientific and Medical band) ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีใบอนุญาต (license-free) โดยแต่ละภูมิภาคจะมีการกำหนดย่านความถี่ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.4 การกำหนดย่านความถี่ที่ใช้งานตามพื้นที่

| พื้นที่ | ความถี่ (MHz) ที่ใช้งาน |
|-----------------|---|
| ยุโรป | 868 MHz |
| สหรัฐอเมริกา | 915 MHz |
| จีน | 470 MHz / 779 - 787 MHz |
| ไทย (และ ASEAN) | 433 MHz / 920 - 925 MHz (ตามประกาศ กสทช.) |

2.1.3.4 การประยุกต์ใช้งาน LoRa ร่วมกับ IoT

LoRa เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีหลักที่นิยมใช้ในระบบ IoT (Internet of Things) โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการการส่งข้อมูลระยะไกลแต่ใช้พลังงานต่ำ และมีปริมาณข้อมูลที่ไม่มาก เช่น ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ สถานะอุปกรณ์ หรือการระบุตำแหน่ง โดยสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ระบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture) ตรวจสอบวัตถุอันตราย ความชื้นในดิน หรือปริมาณน้ำฝน การจัดการพลังงาน (Smart Metering) วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำประปา หรือก๊าซ ระบบสุขภาพ (Healthcare Monitoring) ติดตามตำแหน่งผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบติดตามทรัพย์สิน (Asset Tracking) ใช้ LoRa tag ติดตามตำแหน่งของทรัพย์สินภายในอาคารหรือ

โรงงาน Smart City เช่น การจัดการที่จอดรถ อุปกรณ์ IoT ในถังขยะอัจฉริยะ หรือระบบไฟจราจร ด้วยการออกแบบที่รองรับอุปกรณ์จำนวนมากในพื้นที่กว้าง และรองรับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ทำให้ LoRa เป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาเมืองอัจฉริยะและระบบอัตโนมัติในยุคปัจจุบัน

2.1.4 ระบบ IoT (Internet of Things) และเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ

ระบบ Internet of Things (IoT) หมายถึง การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อเก็บรวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยอัตโนมัติ โดยโครงสร้างของระบบ IoT สามารถแบ่งได้เป็น 3 องค์ประกอบหลัก ดังนี้

2.1.4.1 Edge Devices/ Sensors (อุปกรณ์ปลายทางและเซ็นเซอร์)

อุปกรณ์ปลายทางคืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กับแหล่งข้อมูล เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น แร่งดัน หรืออุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง (GPS tag) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากสภาพแวดล้อมหรืออุปกรณ์ที่ต้องการตรวจสอบ แล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังศูนย์ประมวลผล

2.1.4.2 Cloud Platforms/ Data Processing (แพลตฟอร์มคลาวด์และการประมวลผลข้อมูล)

ข้อมูลจาก Edge Devices จะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มหรือเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ เพื่อดำเนินการจัดเก็บ ประมวลผล วิเคราะห์ และแสดงผลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น Dashboard, Alert, หรือระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automation)

2.1.4.3 Communication Technologies (เทคโนโลยีการสื่อสาร)

ช่องทางการเชื่อมต่อระหว่าง Edge Devices กับ Cloud มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับระยะทาง ปริมาณข้อมูล และข้อจำกัดของพลังงาน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่

1) Short-Range Communication

ใช้ในพื้นที่จำกัด เช่น ภายในอาคาร หรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กัน เช่น Bluetooth / BLE (Bluetooth Low Energy) เหมาะสำหรับอุปกรณ์สวมใส่ (Wearable), IoT ในสุขภาพ Wi-Fi ส่งข้อมูลได้เร็ว เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อภายในบ้านหรือสำนักงาน หรือ Zigbee / Z-Wave ใช้พลังงานต่ำ นิยมใช้ในบ้านอัจฉริยะ (Smart Home)

2) Long-Range Communication – LPWAN (Low Power Wide Area Network)

เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ในระยะไกล ใช้พลังงานต่ำ และส่งข้อมูลปริมาณไม่มากเหมาะสำหรับระบบ IoT ที่อยู่ในพื้นที่กว้าง เช่น เมืองอัจฉริยะ การเกษตร หรืออุตสาหกรรม โดยมีเทคโนโลยีหลัก ดังนี้

1. LoRa / LoRaWAN

ใช้เทคนิค Chirp Spread Spectrum เพื่อส่งข้อมูลในระยะไกล (ถึง 10 - 15 กม.) โดยใช้พลังงานต่ำ และไม่ต้องใช้เครือข่ายผู้ให้บริการ (private network ได้) เหมาะกับระบบ Smart Agriculture, การติดตามภายในอาคาร และการตรวจสอบสิ่งแวดล้อม

2. Sigfox

ใช้เทคนิค Ultra Narrowband ส่งข้อมูลขนาดเล็กมากเป็นรอบ ๆ (ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดเครือข่าย) ใช้พลังงานต่ำมาก และเหมาะกับอุปกรณ์ IoT ที่ไม่ต้องสื่อสารตลอดเวลา เช่น Smart Meter หรือระบบเตือนภัยระยะไกล

3. NB-IoT (Narrowband IoT)

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เครือข่าย 4G LTE เดิม โดยปรับให้เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ IoT ที่ต้องการเชื่อมต่อจำนวนมากในพื้นที่กว้าง ใช้พลังงานต่ำ แต่มี latency ค่อนข้างสูง เหมาะกับงานเช่น Smart Parking, ระบบตรวจจับรั่วไหลของน้ำ

4. LTE-M (LTE Cat-M1)

อีกหนึ่งเทคโนโลยีจาก 3GPP ใช้เครือข่าย LTE รองรับบริการโต้ตอบแบบ real-time (low latency) และรองรับเสียง (Voice over LTE-M) ใช้ร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น ติดตามยานพาหนะ, wearable devices

ตารางที่ 2.5 สรุปเปรียบเทียบเทคโนโลยี LPWAN (Long-Range IoT Communication)

| เทคโนโลยี | ความถี่ที่ใช้ | ความเร็ว | ระยะทาง | ใช้พลังงาน | เหมาะกับงาน |
|-----------|-------------------------------|----------------|-------------|------------|------------------------------|
| LoRa | ISM (433/920 - 925 MHz ในไทย) | ต่ำ | 2 - 15 กม. | ต่ำมาก | เกษตร, โรงพยาบาล, smart city |
| Sigfox | ISM (ตามประเทศ) | ต่ำมาก | 10 - 40 กม. | ต่ำที่สุด | Smart meter, แจ้งเตือน |
| NB-IoT | คลื่น 4G LTE | ปานกลาง | 1 - 10 กม. | ต่ำ | Smart city, sensor เครือข่าย |
| LTE-M | คลื่น 4G LTE | สูงกว่า NB-IoT | 1 - 5 กม. | ต่ำ | ระบบที่ต้องการ real-time |

2.1.5 ข้อดีและข้อจำกัดแต่ละเทคโนโลยี

เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) เป็นระบบที่ใช้สำหรับติดตามและระบุตำแหน่งของวัตถุหรือบุคคลในพื้นที่ต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ เทคโนโลยีเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในหลายอุตสาหกรรม เช่น การแพทย์ โลจิสติกส์ การผลิต และการค้าปลีก โดย RTLS สามารถทำงานได้ผ่านหลายเทคโนโลยี เช่น RFID, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi และ Ultra-Wideband (UWB) ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมของการใช้งาน

RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุและติดตามวัตถุ มีทั้งแบบ Passive RFID ที่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ และ Active RFID ที่มีแบตเตอรี่ในตัว

RFID มีข้อดีที่สามารถอ่านแท็กได้หลายตัวพร้อมกัน และมีต้นทุนต่ำเมื่อใช้แท็กแบบพาสซีฟ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของ RFID คือประสิทธิภาพอาจได้รับผลกระทบจากโลหะและน้ำ และระยะการอ่านขึ้นอยู่กับประเภทของแท็ก

Bluetooth Low Energy (BLE) เป็นอีกเทคโนโลยีที่นิยมใช้สำหรับ RTLS เนื่องจากใช้พลังงานต่ำและรองรับการใช้งานร่วมกับสมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ IoT ข้อดีของ BLE คือสามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่าย มีต้นทุนต่ำ และรองรับการระบุตำแหน่งทั้งในอาคารและกลางแจ้ง อย่างไรก็ตาม BLE มีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ (อยู่ที่ประมาณ 1 - 3 เมตร) และอาจได้รับสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz

Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้สำหรับ RTLS ได้ เนื่องจากเครือข่าย Wi-Fi มีอยู่ทั่วไปในอาคารและสถานที่ต่าง ๆ เทคโนโลยีนี้รองรับการส่งข้อมูลปริมาณมากและสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของ Wi-Fi อยู่ในช่วง 3 - 5 เมตร ซึ่งต่ำกว่า BLE และ UWB นอกจากนี้ การใช้ Wi-Fi สำหรับ RTLS ยังทำให้แบตเตอรี่อุปกรณ์พกพาหมดเร็วขึ้น

Ultra-Wideband (UWB) เป็นเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำสูงมาก (10 - 30 เซนติเมตร) และมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนสูง UWB เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์หรือการควบคุมระบบความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของ UWB คือมีต้นทุนสูงกว่าเทคโนโลยีอื่น และระยะทำการจำกัดเพียง 10 - 50 เมตร

โดยสรุปแล้ว การเลือกใช้เทคโนโลยี RTLS ขึ้นอยู่กับความต้องการของระบบ เช่น ความแม่นยำที่ต้องการ ระยะการใช้งาน และต้นทุน โดย RFID เหมาะกับการติดตามทรัพย์สินที่มีจำนวนมากและต้นทุนต่ำ BLE เหมาะกับระบบนำทางในอาคารที่ต้องการพลังงานต่ำ Wi-Fi เหมาะกับการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ที่มีเครือข่าย Wi-Fi อยู่แล้ว และ UWB เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูงและมีงบประมาณเพียงพอ

2.2 ระบบติดตามและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล

2.2.1 ความสำคัญของการติดตามตำแหน่งผู้ป่วย

การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล เนื่องจากช่วยให้การดูแลรักษาผู้ป่วยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยยิ่งขึ้น การใช้เทคโนโลยีในการติดตามตำแหน่งผู้ป่วยทำให้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าถึงข้อมูลและตำแหน่งของผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งส่งผลต่อการตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินและการจัดการกระบวนการต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาล เช่น การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยระหว่างห้องหรือการติดตามการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยที่อาจมีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุหรือการเดินทางที่ไม่ได้รับอนุญาต

หนึ่งในความสำคัญที่ชัดเจนของการติดตามตำแหน่งผู้ป่วยคือการเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุหรือการสูญหายของผู้ป่วย โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ เช่น ผู้ป่วยสูงอายุหรือผู้ป่วยที่มีสภาวะทางการแพทย์ที่ต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิด การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบตำแหน่งของผู้ป่วยได้ตลอดเวลา

จึงสามารถรับมือกับเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดได้อย่างรวดเร็ว เช่น การหกล้มของผู้ป่วยที่อาจเกิดขึ้นในห้องน้ำหรือการหลงทางภายในโรงพยาบาล

นอกจากนี้ การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรของโรงพยาบาล โดยการติดตามสามารถช่วยให้เจ้าหน้าที่วางแผนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยระหว่างห้องหรือระหว่างอาคารต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยยังสามารถช่วยลดเวลาในการค้นหาผู้ป่วยหรือลดเวลาที่เสียไปในการจัดหาผู้ป่วยที่ต้องการการดูแลในสถานที่ที่กำหนด เช่น การพาผู้ป่วยไปยังห้องตรวจหรือห้องผ่าตัด

ในส่วนของ การดูแลรักษาทางการแพทย์ การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยยังช่วยให้การตัดสินใจของแพทย์และเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์มีความแม่นยำและรวดเร็วยิ่งขึ้น การรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของผู้ป่วยในขณะที่ฉุกเฉินสามารถทำให้การประสานงานกับทีมแพทย์และพยาบาลได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มโอกาสในการให้การรักษาที่เหมาะสมได้ทันเวลา

การใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการติดตามตำแหน่งผู้ป่วย เช่น ระบบ RTLS ที่ใช้ RFID Bluetooth หรือ Wi-Fi ยังสามารถช่วยลดความผิดพลาดจากการจัดการทางการแพทย์ได้ เพราะทำให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งผู้ป่วยสามารถส่งต่อไปยังระบบอื่น ๆ ของโรงพยาบาลได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการดูแลผู้ป่วยในโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยยังช่วยเพิ่มความสะดวกสบายและความมั่นใจให้กับผู้ป่วยและครอบครัวของผู้ป่วย โดยผู้ป่วยสามารถได้รับการดูแลอย่างเต็มที่ในทุกขั้นตอนของการรักษาและการเคลื่อนย้าย การลดความกังวลของครอบครัวในการดูแลผู้ป่วยโดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงสูงถือเป็นประโยชน์ที่สำคัญไม่แพ้กัน

โดยรวมแล้ว การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยถือเป็นเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความปลอดภัย การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากร และการลดความผิดพลาดในการดูแลรักษาผู้ป่วยในโรงพยาบาล ซึ่งช่วยให้การให้บริการด้านสุขภาพมีคุณภาพและความปลอดภัยที่สูงขึ้น

2.2.2 วิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลและความท้าทาย

2.2.2.1 ความสำคัญของวิธีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยและประสิทธิภาพของการให้บริการทางการแพทย์ การเคลื่อนย้ายอาจเกิดขึ้นในหลายสถานการณ์ เช่น การเคลื่อนย้ายจากห้องฉุกเฉินไปยังหอผู้ป่วย การย้ายไปยังห้องตรวจพิเศษ หรือการเคลื่อนย้ายภายในแผนกเดียวกันเพื่อเปลี่ยนเตียงหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ การจัดการการเคลื่อนย้ายอย่างเหมาะสมสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ เพิ่มความสะดวกในการรักษา และช่วยให้เจ้าหน้าที่ทางการแพทย์สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยคือ การป้องกันภาวะแทรกซ้อน เช่น ผู้ป่วยที่มีภาวะอ่อนแอหรือได้รับบาดเจ็บอาจได้รับอันตรายเพิ่มเติมหากมีการเคลื่อนย้ายที่ไม่ถูกต้อง เช่น การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรคกระดูกพรุนอย่างไม่ระมัดระวังอาจทำให้กระดูกหักเพิ่มขึ้น หรือการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจอาจทำให้ท่อช่วยหายใจเลื่อนออก

ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ ดังนั้น โรงพยาบาลต้องมีมาตรฐานในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

นอกจากนี้ การเคลื่อนย้ายที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้ การใช้ทรัพยากรในโรงพยาบาลเป็นไปอย่างเหมาะสม เช่น การบริหารจัดการเตียงผู้ป่วยให้มีความพร้อมอยู่เสมอ หรือ การใช้บุคลากรในการเคลื่อนย้ายอย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลาที่สูญเสียไปโดยไม่จำเป็น ซึ่งช่วยให้ กระบวนการดูแลรักษาผู้ป่วยเป็นไปอย่างราบรื่น

2.2.2.2 ความท้าทายในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล

แม้ว่าการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจะมีความสำคัญอย่างมาก แต่ก็มี ความท้าทายหลายประการที่โรงพยาบาลต้องเผชิญ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ด้านหลัก ได้แก่

1) ข้อจำกัดด้านบุคลากรทางการแพทย์

ในบางโรงพยาบาล อาจมีเจ้าหน้าที่ไม่เพียงพอสำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีผู้ป่วยหนาแน่น เช่น ในแผนกฉุกเฉินหรือหอผู้ป่วยหนัก (ICU) การที่เจ้าหน้าที่มีภาระงานมากเกินไปอาจทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยล่าช้า ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การรักษา นอกจากนี้ บุคลากรที่ไม่มีทักษะหรือความรู้เพียงพอเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอย่างปลอดภัยอาจเพิ่ม ความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของผู้ป่วยและตัวเจ้าหน้าที่เอง

2) ข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และโครงสร้างพื้นฐาน

โรงพยาบาลบางแห่งอาจขาดแคลนอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้าย เช่น เพลเคลื่อนย้ายแบบพิเศษ รถเข็นผู้ป่วย หรือเตียงที่มีระบบไฮดรอลิกเพื่อช่วยลดแรงกดทับของผู้ป่วย นอกจากนี้ โครงสร้างของอาคารโรงพยาบาล เช่น ลิฟต์ที่มีขนาดไม่เหมาะสม ทางเดินที่แคบ หรือ พื้นที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนย้าย อาจเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้กระบวนการเคลื่อนย้ายล่าช้าและไม่ปลอดภัย

3) ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของผู้ป่วย

การเคลื่อนย้ายที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้เกิด ภาวะแทรกซ้อนทางการแพทย์ เช่น แรงกดทับที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนย้ายอาจทำให้แผลกดทับของผู้ป่วยแย่ลง หรือ ในกรณีที่ต้องเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจหรือสายสวนปัสสาวะ อุปกรณ์ทางการแพทย์ อาจได้รับความเสียหายหรือหลุดออก ส่งผลให้ผู้ป่วยมีภาวะฉุกเฉินได้

4) การจัดลำดับความสำคัญของการเคลื่อนย้าย

ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีผู้ป่วยจำนวนมาก อาจมีปัญหาในการจัดลำดับความสำคัญของการเคลื่อนย้าย เช่น ควรเคลื่อนย้ายผู้ป่วยฉุกเฉินก่อน หรือจัดสรรเจ้าหน้าที่เพื่อรองรับกรณีเร่งด่วนได้อย่างไร หากไม่มีระบบจัดการที่มีประสิทธิภาพ อาจทำให้เกิดความล่าช้า และกระทบต่อการรักษาโดยรวม

5) ความท้าทายด้านเทคโนโลยีและระบบข้อมูล

แม้ว่าหลายโรงพยาบาลจะเริ่มนำระบบ Real-Time Location System (RTLS) มาใช้เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยและบุคลากร แต่การนำระบบเหล่านี้มาใช้ยัง แพร่หลายยังคงมีอุปสรรค เช่น การลงทุนสูง การบูรณาการเข้ากับระบบสารสนเทศของโรงพยาบาล หรือความเป็นส่วนตัวของข้อมูลผู้ป่วยที่ต้องได้รับการคุ้มครองอย่างเคร่งครัด

2.2.2.3 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

เพื่อลดความท้าทายที่กล่าวมา โรงพยาบาลสามารถใช้แนวทางการปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เช่น

1. การอบรมบุคลากร ให้มีทักษะในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยอย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ
2. การเพิ่มอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้าย เช่น เติงไฟฟ้า เปลเคลื่อนย้ายที่ลดแรงกระแทก และระบบลิฟต์ที่รองรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหนัก
3. การพัฒนาระบบจัดการลำดับความสำคัญ ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเพื่อลดเวลารอคอย
4. การใช้เทคโนโลยี RTLS เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยและบุคลากรแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการให้บริการทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ยังมีความท้าทายหลายประการที่โรงพยาบาลต้องเผชิญ เช่น ข้อจำกัดด้านบุคลากร อุปกรณ์ โครงสร้างพื้นฐาน และเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามและจัดการกระบวนการเคลื่อนย้าย เพื่อลดปัญหาเหล่านี้ โรงพยาบาลจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายโดยการฝึกอบรมบุคลากร เพิ่มอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้าย และใช้เทคโนโลยี RTLS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการตำแหน่งและการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ซึ่งจะช่วยให้โรงพยาบาลสามารถให้บริการที่มีคุณภาพและลดความเสี่ยงในการดูแลรักษาผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.3 ปัญหาที่พบในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นกระบวนการสำคัญในโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ป่วยและประสิทธิภาพของการให้บริการทางการแพทย์ อย่างไรก็ตาม โรงพยาบาลต้องเผชิญกับปัญหาหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อทั้งผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ ปัญหาที่พบสามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเด็นหลัก ดังนี้

2.2.3.1 ปัญหาด้านบุคลากร

1) บุคลากรไม่เพียงพอ

หนึ่งในปัญหาสำคัญของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยคือ จำนวนบุคลากรทางการแพทย์ที่ไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงพยาบาลที่มีผู้ป่วยจำนวนมาก บุคลากรที่ต้องรับผิดชอบการเคลื่อนย้ายอาจมีภาระงานสูง ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากหอผู้ป่วยไปยังแผนกต่าง ๆ เช่น ห้องผ่าตัด ห้องเอกซเรย์ หรือห้องไอซียู

2) การขาดทักษะในการเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม

บุคลากรบางส่วนอาจไม่มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับเทคนิคการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยอย่างปลอดภัย ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของทั้งผู้ป่วยและบุคลากรเอง เช่น การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยโรครกระดูกพรุนโดยไม่ใช้เทคนิคที่เหมาะสมอาจทำให้เกิดกระดูกหัก หรือการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่มีสายสวนปัสสาวะโดยไม่ระวังอาจทำให้เกิดการติดเชื้อ

2.2.3.2 ปัญหาด้านอุปกรณ์และเครื่องมือช่วยเคลื่อนย้าย

1) อุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้ายไม่เพียงพอ

ในบางโรงพยาบาล อาจขาดแคลนอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้าย เช่น เตียงผู้ป่วยที่สามารถปรับระดับได้ รถเข็นที่เหมาะสมกับผู้ป่วยประเภทต่าง ๆ เครื่องยกตัวผู้ป่วยสำหรับผู้ที่ไม่สามารถยกยัดตัวเองได้ เมื่อไม่มีอุปกรณ์ที่เหมาะสม บุคลากรต้องใช้แรงคนในการเคลื่อนย้าย ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่ออาการบาดเจ็บและการเกิดอุบัติเหตุ

2) การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ไม่เพียงพอ

อุปกรณ์บางชนิดอาจมีการใช้งานที่หนักหน่วงและไม่ได้รับการดูแลบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม เช่น ล้อของเตียงผู้ป่วยอาจติดขัด ทำให้การเคลื่อนย้ายไม่ราบรื่น หรือรถเข็นที่ชำรุดอาจทำให้ผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บจากการตกหรือเอียง

2.2.3.3 ปัญหาด้านโครงสร้างพื้นฐานของโรงพยาบาล

1) พื้นที่ทางเดินและลิฟต์ไม่เหมาะสม

โรงพยาบาลบางแห่งอาจมี พื้นที่แคบ หรือ ทางเดินไม่กว้างพอ ทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นไปได้อย่างยาก โดยเฉพาะเมื่อต้องใช้เตียงผู้ป่วยที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ จำนวนลิฟต์ไม่เพียงพอ หรือขนาดลิฟต์ที่ไม่สามารถรองรับเตียงผู้ป่วยได้ อาจทำให้เกิดความล่าช้าในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังแผนกที่ต้องการ

2) การจัดวางแผนกที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ในบางโรงพยาบาล การจัดวางแผนกอาจไม่เอื้อต่อการเคลื่อนย้าย เช่น ห้องเอกซเรย์อยู่ไกลจากหอผู้ป่วย ทำให้ต้องใช้เวลานานในการขนย้ายผู้ป่วย หรือแผนกฉุกเฉินมีช่องทางเข้า-ออกที่คับแคบ ทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยวิกฤตเป็นไปอย่างลำบาก

2.2.3.4 ปัญหาด้านความปลอดภัยของผู้ป่วย

1) ความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บ

หากมีการเคลื่อนย้ายที่ไม่ถูกต้อง อาจทำให้ผู้ป่วยได้รับอันตราย เช่น การตกจากเตียงหรือรถเข็น หากไม่ได้ล็อกเบรกหรือล็อกสายรัด ภาวะความดันเลือดต่ำจากการเปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็ว (Orthostatic Hypotension) ภาวะแทรกซ้อนจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น สายให้อาหารหลุด หรือสายออกซิเจนขาด

2) การติดเชื้อจากการเคลื่อนย้าย

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากแผนกหนึ่งไปยังอีกแผนกหนึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้ป่วยในแผนกไอซียู หรือผู้ป่วยที่ได้รับเคมีบำบัด หากไม่มีมาตรการควบคุมการติดเชื้อที่ดี เช่น การฆ่าเชื้ออุปกรณ์เคลื่อนย้ายอย่างเหมาะสม ผู้ป่วยอาจได้รับเชื้อจากสิ่งแวดล้อมระหว่างการเคลื่อนย้าย

2.2.3.5 ปัญหาด้านการบริหารจัดการและระบบข้อมูล

1) ความล่าช้าในการประสานงาน

ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ การประสานงานระหว่างแผนกต่าง ๆ อาจไม่มีประสิทธิภาพ เช่น แผนกเอกซเรย์อาจยังไม่พร้อมรับผู้ป่วย ทำให้ต้องรอคิวนาน หรือเจ้าหน้าที่เคลื่อนย้ายผู้ป่วยไม่ได้รับแจ้งล่วงหน้าว่ามีการส่งตัวผู้ป่วยไปยังแผนกอื่น

2) การขาดระบบติดตามตำแหน่งผู้ป่วย

โรงพยาบาลบางแห่งยังไม่มี Real-Time Location System (RTLS) ที่ช่วยติดตามตำแหน่งผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการค้นหาผู้ป่วยที่ต้องเคลื่อนย้าย เช่น ผู้ป่วยอาจไม่อยู่ที่เตียงในเวลาที่ต้องพาไปทำหัตถการ ทำให้เสียเวลาในการติดตามตัว

2.2.3.6 ปัญหาด้านจริยธรรมและความเป็นส่วนตัว

1) การรักษาความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรง เช่น ผู้ป่วยที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ หรือผู้ป่วยที่มีบาดแผลเปิด อาจทำให้เกิด ความกังวลเรื่องความเป็นส่วนตัว โดยเฉพาะเมื่อต้องผ่านพื้นที่ที่มีบุคคลภายนอกอยู่ เช่น บริเวณโถงทางเดินหรือห้องรอผู้ป่วย

2) การให้ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ป่วยระหว่างการเคลื่อนย้าย

เจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอาจต้องรับผิดชอบ การส่งต่อข้อมูลทางการแพทย์ ของผู้ป่วยไปยังแผนกอื่น แต่หากไม่มีมาตรการป้องกันข้อมูลรั่วไหล อาจส่งผลให้ข้อมูลทางการแพทย์ของผู้ป่วยถูกเปิดเผยโดยไม่ได้รับอนุญาต

ดังนั้นปัญหาที่พบในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาลมีหลายประการ ตั้งแต่ปัญหาด้านบุคลากร อุปกรณ์ โครงสร้างพื้นฐาน ความปลอดภัยของผู้ป่วย การบริหารจัดการ และความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย หากโรงพยาบาลสามารถปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายโดยการ จัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม พัฒนาระบบประสานงาน และใช้เทคโนโลยี RTLS เพื่อติดตามผู้ป่วย จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการดูแลผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3 การใช้ RTLS ในการจัดการทรัพยากรโรงพยาบาล

ระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เพื่อติดตามและจัดการทรัพยากรภายในโรงพยาบาลแบบเรียลไทม์ โดยอาศัยเทคโนโลยีระบุตำแหน่ง เช่น RFID, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi, Ultra-Wideband (UWB) และ GPS (สำหรับการติดตามนอกอาคาร) เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและสถานะของอุปกรณ์ทางการแพทย์ บุคลากร และผู้ป่วย RTLS ช่วยลดความล่าช้าในการให้บริการ เพิ่มความปลอดภัย และช่วยให้การจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.1 การใช้ RTLS กับอุปกรณ์ทางการแพทย์

อุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นทรัพยากรที่มีมูลค่าสูงและจำเป็นต้องมีการจัดการที่ดีเพื่อลดการสูญหายและเพิ่มความพร้อมใช้งาน RTLS ถูกนำมาใช้เพื่อ ติดตามตำแหน่งและสถานะของอุปกรณ์ทางการแพทย์ ในโรงพยาบาล เช่น เครื่องช่วยหายใจ (Ventilator) บั๊มสารละลายทางหลอดเลือดดำ (IV Pumps) เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ (Portable X-ray Machines) รถเข็นฉุกเฉิน (Crash Carts) หรือเตียงผู้ป่วย (Hospital Beds) ที่สามารถปรับระดับได้ นอกจากนี้การใช้ RTLS กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ยังมีประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

1) ป้องกันการสูญหายและลดเวลาดำเนินการ

RTLS ช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถค้นหาอุปกรณ์ที่จำเป็นได้อย่างรวดเร็วผ่านระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการค้นหาอุปกรณ์ ลดภาระงานของบุคลากร และทำให้การดูแลผู้ป่วยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) การจัดการสินทรัพย์ทางการแพทย์

ระบบ RTLS สามารถใช้เพื่อตรวจสอบปริมาณและตำแหน่งของอุปกรณ์ ทำให้สามารถกระจายทรัพยากรไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม ช่วยป้องกันปัญหาการกระจุกตัวของอุปกรณ์ในบางแผนกและการขาดแคลนในแผนกอื่น

3) การบำรุงรักษาอุปกรณ์

RTLS สามารถแจ้งเตือนเกี่ยวกับการบำรุงรักษาอุปกรณ์โดยอัตโนมัติ เช่น แจ้งเตือนเมื่อเครื่องมือแพทย์ต้องได้รับการสอบเทียบหรือตรวจเช็คตามรอบระยะเวลา ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการใช้อุปกรณ์ที่ไม่ปลอดภัย

2.3.2 การใช้ RTLS ในการบริหารจัดการบุคลากร

นอกจากการติดตามอุปกรณ์ RTLS ยังสามารถใช้เพื่อติดตาม ตำแหน่งและความเคลื่อนไหวของบุคลากรทางการแพทย์ เช่น แพทย์ พยาบาล และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและปรับปรุงความปลอดภัย ยังมีการใช้ RTLS ในการบริหารจัดการด้านอื่น ๆ อีก ดังต่อไปนี้

1) การระบุตำแหน่งของบุคลากรในกรณีฉุกเฉิน

RTLS ช่วยให้สามารถติดตามตำแหน่งของบุคลากรที่ปฏิบัติงานในแผนกต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์ หากมีเหตุฉุกเฉิน เช่น ผู้ป่วยหยุดหายใจ หรือ มีเหตุการณ์ฉุกเฉินในห้องผ่าตัด ระบบสามารถระบุตำแหน่งของแพทย์และพยาบาลที่อยู่ใกล้ที่สุด และแจ้งให้พวกเขาเข้าให้การช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว

2) การปรับปรุงการจัดตารางเวรงานและภาระงาน

RTLS สามารถใช้เพื่อวิเคราะห์ เวลาการปฏิบัติงานของบุคลากร และ ภาระงานของพยาบาลและแพทย์ ทำให้สามารถจัดเวรงานให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในแต่ละช่วงเวลา

3) การป้องกันปัญหาด้านความปลอดภัยของบุคลากร

RTLS สามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับบุคลากร โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานในแผนกฉุกเฉินหรือแผนกจิตเวช ตัวอย่างเช่น พยาบาลที่ทำงานในหอผู้ป่วยจิตเวชสามารถกด ปุ่มแจ้งเตือนฉุกเฉิน (Panic Button) บนอุปกรณ์ RTLS ที่พวกเขาสวมใส่เพื่อแจ้งให้เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยเข้าช่วยเหลือในกรณีที่มีพฤติกรรมก้าวร้าวจากผู้ป่วย

2.3.3 ประโยชน์ของ RTLS ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของโรงพยาบาล

RTLS มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของการให้บริการในโรงพยาบาล โดยสามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย ปรับปรุงการให้บริการ และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์

1) ลดเวลาการรอคอยของผู้ป่วย

RTLS สามารถใช้ในการติดตาม ตำแหน่งของผู้ป่วย และช่วยให้บุคลากรทราบว่าผู้ป่วยอยู่ที่ไหน เช่น หากผู้ป่วยได้รับการนัดหมายเพื่อทำการตรวจ MRI ระบบสามารถแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่นำผู้ป่วยไปยังห้องตรวจได้ตรงเวลา ลดเวลาที่ต้องรอ

2) เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรของโรงพยาบาล

RTLS ช่วยให้โรงพยาบาลสามารถใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น หากมีอุปกรณ์ที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ระบบสามารถแจ้งเตือนให้ย้ายอุปกรณ์ไปยังแผนกที่มีความต้องการสูงขึ้น

3) ป้องกันการแพร่กระจายของการติดเชื้อ

RTLS สามารถใช้ติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยที่มีโรคติดเชื้อ เช่น COVID-19 หรือ วัณโรค ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถจัดการพื้นที่และลดการสัมผัสกับผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง นอกจากนี้ ระบบสามารถช่วยในการ ติดตามการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยอัตโนมัติ

4) ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

การบริหารจัดการอุปกรณ์และบุคลากรอย่างมีประสิทธิภาพช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโรงพยาบาล ตัวอย่างเช่น การลดการสูญหายของอุปกรณ์ทางการแพทย์สามารถช่วยลดงบประมาณที่ต้องใช้ในการซื้ออุปกรณ์ใหม่

5) ปรับปรุงประสบการณ์ของผู้ป่วย

RTLS ช่วยให้ผู้ป่วยได้รับการบริการที่รวดเร็วยิ่งขึ้น เช่น การลดเวลารอพบแพทย์ ลดปัญหาความล่าช้าในการรับยา และทำให้ผู้ป่วยได้รับการดูแลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้น RTLS จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการจัดการทรัพยากรของโรงพยาบาลอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้สามารถติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้แบบเรียลไทม์ ลดเวลาการค้นหาอุปกรณ์ และปรับปรุงการบำรุงรักษา นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการบุคลากร โดยสามารถติดตามตำแหน่งของแพทย์และพยาบาลเพื่อให้การช่วยเหลือผู้ป่วยในกรณีฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย RTLS จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้โรงพยาบาลสามารถให้บริการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและพัฒนาคุณภาพการรักษายาบาลได้อย่างยั่งยืน

2.4 ระบบแจ้งเตือนและความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในโรงพยาบาลเป็นกระบวนการที่ต้องการความระมัดระวังและการจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการดูแลที่ปลอดภัยและทันเวลา การนำระบบแจ้งเตือนและเทคโนโลยีความปลอดภัยมาใช้ในกระบวนการนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2.4.1 แนวคิดและความสำคัญของระบบแจ้งเตือน

ระบบแจ้งเตือนในบริบทของการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยถูกออกแบบมาเพื่อ

1) เพิ่มความปลอดภัย แจ้งเตือนบุคลากรทางการแพทย์เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วย เช่น การตกเตียง หรือการเคลื่อนย้ายที่ไม่เหมาะสม

2) ปรับปรุงประสิทธิภาพ ช่วยให้การสื่อสารระหว่างทีมแพทย์และพยาบาลเป็นไปอย่างราบรื่น ลดความล่าช้าในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉิน

3) ลดความเสี่ยง ระบบแจ้งเตือนสามารถตรวจจับและแจ้งเตือนเมื่อมีความผิดปกติ เช่น สัญญาณชีพของผู้ป่วยเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.4.2 รูปแบบของระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์

ระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์มีหลายรูปแบบที่ถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาล

1) การติดตามสัญญาณชีพระยะไกล อุปกรณ์ที่ติดตามสัญญาณชีพของผู้ป่วยและส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุม ทำให้แพทย์สามารถเฝ้าระวังและตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงได้ทันที

2) ระบบแจ้งเตือนการตกเตียง ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติของผู้ป่วยบนเตียง และแจ้งเตือนพยาบาลเมื่อมีความเสี่ยงที่ผู้ป่วยจะตกเตียง

3) การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยและบุคลากร ใช้เทคโนโลยี RTLS (Real-Time Location System) เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยและบุคลากรในโรงพยาบาล ช่วยในการจัดการและตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.3 ตัวอย่างระบบแจ้งเตือนที่ใช้ในโรงพยาบาล

ระบบส่งสัญญาณชีพระยะไกลขณะเคลื่อนย้ายผู้ป่วยผ่านเครือข่ายไร้สาย: ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถพยาบาล ซึ่งสามารถถ่ายทอดสัญญาณภาพ เสียง ตำแหน่งพิกัด และสัญญาณชีพของผู้ป่วยแบบเรียลไทม์ไปยังศูนย์สั่งการ ทำให้แพทย์สามารถประเมินสถานะของผู้ป่วยและเตรียมการรักษาได้ล่วงหน้า

1) ระบบแจ้งเตือนผู้ป่วยตกเตียง ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติบนเตียงผู้ป่วย เมื่อระบบตรวจพบว่าผู้ป่วยอาจตกเตียง จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังพยาบาลทันที เพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว

2) ระบบติดตามสถานะผู้ป่วยบนรถพยาบาลแบบเรียลไทม์ ระบบนี้แบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์ติดตั้งในรถพยาบาลที่ส่งข้อมูลสภาพผู้ป่วยไปยังคลาวด์ เซิร์ฟเวอร์ และแอปพลิเคชันหรือเว็บไซต์ที่แพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้ ทำให้สามารถประเมินสถานการณ์และเตรียมการรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การนำระบบแจ้งเตือนและเทคโนโลยีความปลอดภัยมาใช้ในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไม่เพียงแต่เพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วย แต่ยังช่วยลดความเสี่ยงและปรับปรุงการสื่อสารภายในทีมแพทย์และพยาบาล ทำให้การบริการทางการแพทย์มีคุณภาพสูงขึ้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) และระบบติดตามและแจ้งเตือนในโรงพยาบาลได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในงานวิจัยด้านการแพทย์และเทคโนโลยีสุขภาพ ระบบเหล่านี้ช่วยให้โรงพยาบาลสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย และลดภาระงานของบุคลากร งานวิจัยในหัวข้อนี้สามารถแบ่งออกเป็นสามด้านหลัก ได้แก่ (1) การศึกษาเกี่ยวกับ RTLS ในโรงพยาบาล (2) การศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามและการแจ้งเตือนในโรงพยาบาล และ (3) การศึกษาด้านความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

2.5.1 การศึกษาเกี่ยวกับ RTLS ในโรงพยาบาล

RTLS ได้รับการศึกษาและพัฒนาเพื่อใช้ในหลายด้านของโรงพยาบาล เช่น การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ การบริหารจัดการบุคลากร และการติดตามผู้ป่วย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

การลดระยะเวลาค้นหาอุปกรณ์ทางการแพทย์ งานวิจัยของ Kamel Boulos & Berry (2012) พบว่าการใช้ RTLS ในการติดตามอุปกรณ์ เช่น เครื่องช่วยหายใจ เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ สามารถลดเวลาการค้นหาอุปกรณ์จาก 30 นาทีเหลือเพียง 5 นาที ซึ่งช่วยให้บุคลากรสามารถให้การรักษาได้รวดเร็วขึ้น

การบริหารเตียงผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพ งานวิจัยของ Park et al. (2018) ศึกษาการใช้ RTLS ร่วมกับระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการบริหารจัดการเตียงในห้องฉุกเฉินและหอผู้ป่วย ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าเตียงจะว่างเมื่อใด และช่วยลดระยะเวลารอคอยของผู้ป่วย

การป้องกันผู้ป่วยสูญหายหรือพลัดหลง งานวิจัยของ Chen et al. (2020) พบว่าการใช้ RTLS ร่วมกับกำไลข้อมืออัจฉริยะที่เชื่อมต่อกับระบบ Wi-Fi และ Bluetooth สามารถแจ้งเตือนเมื่อผู้ป่วยที่มีภาวะสมองเสื่อมพยายามออกจากพื้นที่ที่กำหนดไว้

2.5.2 การศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามและการแจ้งเตือนในโรงพยาบาล

ระบบแจ้งเตือนอัจฉริยะมีบทบาทสำคัญในการลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์และเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย งานวิจัยที่สำคัญเกี่ยวกับระบบติดตามและการแจ้งเตือน ได้แก่

ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อผู้ป่วยตกเตียง งานวิจัยของ Lee et al. (2018) ศึกษาการใช้เซ็นเซอร์แรงกดติดตั้งไว้บนเตียงผู้ป่วยเพื่อแจ้งเตือนเมื่อพบว่าผู้ป่วยกำลังจะตกเตียง ซึ่งสามารถช่วยลดอุบัติเหตุจากการพลัดตกได้ถึง 60%

ระบบแจ้งเตือนอาการฉุกเฉินของผู้ป่วยในห้อง ICU งานวิจัยของ Kim et al. (2021) ศึกษาการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) และออกซิเจนในเลือด (SpO2) เพื่อแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อค่าชีพจรของผู้ป่วยต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าปกติ ระบบนี้สามารถลดเวลาตอบสนองของพยาบาลต่อเหตุฉุกเฉินได้ถึง 40%

การแจ้งเตือนเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดในการให้ยา งานวิจัยของ Wang et al. (2021) ศึกษาการใช้ระบบ IoT ร่วมกับ AI เพื่อตรวจสอบและแจ้งเตือนเมื่อมีการให้ยาที่ผิดพลาดหรือขาดหาย ระบบนี้สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการจ่ายยาได้ถึง 30%

2.5.3 การศึกษาด้านความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องให้ความสนใจ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายที่ไม่ถูกต้องอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ป่วยและเพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของบุคลากร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

การป้องกันอุบัติเหตุระหว่างการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย งานวิจัยของ Smith et al. (2019) พบว่าการใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับน้ำหนักและแรงกดบนร่างกายของผู้ป่วยสามารถช่วยป้องกันการกดทับที่อาจทำให้เกิดแผลกดทับและภาวะแทรกซ้อนอื่น ๆ

การใช้หุ่นยนต์ช่วยขนย้ายผู้ป่วยเพื่อลดภาระของบุคลากร งานวิจัยของ Tan et al. (2021) ศึกษาการใช้หุ่นยนต์ที่มีแขนกลและระบบ AI ในการช่วยเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่มีน้ำหนักมาก ซึ่ง

ช่วยลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ และลดโอกาสที่พยาบาลหรือเจ้าหน้าที่จะได้รับบาดเจ็บจากการยกของหนัก

การพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ปลอดภัยและสะดวก งานวิจัยของ Johnson et al. (2022) ศึกษาการใช้เตียงไฟฟ้าปรับระดับอัตโนมัติ และสายรัดนิรภัยอัจฉริยะที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อมีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยผิดวิธี เทคโนโลยีนี้ช่วยลดอุบัติเหตุและเพิ่มความสะดวกให้กับบุคลากร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า เทคโนโลยี RTLS มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรของโรงพยาบาล ช่วยติดตามอุปกรณ์ บุคลากร และผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบติดตามและแจ้งเตือนสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์ เพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย และทำให้บุคลากรสามารถตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ งานวิจัยด้านความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยยังชี้ให้เห็นว่า การใช้เทคโนโลยี เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับแรงกด หุ่นยนต์ช่วยเคลื่อนย้าย และเตียงอัจฉริยะ สามารถช่วยลดความเสี่ยงของการบาดเจ็บทั้งต่อผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา ทำให้เห็นว่าเทคโนโลยี RTLS และระบบแจ้งเตือนมีศักยภาพในการพัฒนาและนำไปใช้ในโรงพยาบาลอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการทางการแพทย์ และลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ในระยะยาว

2.6 สรุป

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการใช้ Real-Time Location System (RTLS) และระบบแจ้งเตือนในโรงพยาบาล สามารถสรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทรัพยากร การติดตามอุปกรณ์และบุคลากร ตลอดจนความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ระบบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์ เพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย และเพิ่มประสิทธิภาพของบุคลากรทางการแพทย์ อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างของงานวิจัยที่ต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของโรงพยาบาลได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.6.1 สรุปประเด็นสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1) RTLS ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการโรงพยาบาล

การใช้ RTLS ในโรงพยาบาลช่วยให้สามารถติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างแม่นยำ ลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์ และช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์ที่สูญหาย นอกจากนี้ RTLS ยังสามารถช่วยติดตามและบริหารจัดการเตียงผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพ ลดระยะเวลาการรอคอยของผู้ป่วยในห้องฉุกเฉิน และเพิ่มอัตราการใช้เตียงให้สูงขึ้น ระบบติดตามบุคลากรทางการแพทย์ช่วยให้สามารถจัดการทรัพยากรบุคคลได้ดีขึ้น ลดภาระงานที่ซ้ำซ้อน และช่วยให้แพทย์และพยาบาลสามารถเข้าถึงผู้ป่วยได้เร็วขึ้น

2) ระบบแจ้งเตือนช่วยลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์และเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย

ระบบแจ้งเตือนอัจฉริยะสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการให้ยา การแจ้งเตือนเมื่อมีการให้ยาผิดพลาด หรือเมื่อถึงเวลาที่ต้องให้ยาผู้ป่วย ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อพบอาการผิดปกติของผู้ป่วย เช่น การตรวจจับอัตราการเต้นของหัวใจผิดปกติ การขาดออกซิเจน หรือความเสี่ยงต่อภาวะหัวใจล้มเหลว ทำให้บุคลากรสามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินได้เร็วขึ้น และการแจ้งเตือนเมื่อผู้ป่วยที่มีภาวะสมองเสื่อมหรือผู้ป่วยเด็กก่อกวนนอกพื้นที่ที่กำหนด ช่วยลดความเสี่ยงที่ผู้ป่วยจะสูญหายหรือประสบอุบัติเหตุ

3) เทคโนโลยีเพื่อความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยกำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น

เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ตรวจจับแรงกดและน้ำหนักตัวช่วยให้สามารถเฝ้าระวังการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้ดีขึ้น ป้องกันการเกิดแผลกดทับหรือการบาดเจ็บจากการเคลื่อนย้ายผิดวิธี นอกจากนี้ยังมีการนำเอาหุ่นยนต์มาช่วยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยและเตียงอัจฉริยะเพื่อช่วยลดภาระของบุคลากร ลดโอกาสที่เจ้าหน้าที่จะได้รับบาดเจ็บจากการยกของหนัก และทำให้กระบวนการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.6.2 ช่องว่างของงานวิจัยและความจำเป็นของการพัฒนาระบบแจ้งเตือนตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

แม้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับ RTLS และระบบแจ้งเตือนในโรงพยาบาลจะมีความก้าวหน้าไปมาก แต่ก็ยังมีหลายประเด็นที่ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอ และจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติม ช่องว่างที่พบในงานวิจัยมีดังนี้

1) ขาดการบูรณาการระบบ RTLS กับระบบแจ้งเตือนในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย

ปัจจุบัน RTLS มักถูกใช้แยกออกจากระบบแจ้งเตือน ทำให้ยังไม่มีระบบที่สามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนได้แบบครบวงจรเมื่อมีการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ผิดพลาด เช่น การย้ายผู้ป่วยไปยังห้องที่ไม่ถูกต้อง หรือการเคลื่อนย้ายที่ไม่ได้รับอนุญาต และการพัฒนา RTLS ที่สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวและแจ้งเตือนได้เมื่อพบความผิดปกติระหว่างการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจะช่วยลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์ และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วย

2) การศึกษาความแม่นยำของเทคโนโลยี RTLS ในพื้นที่โรงพยาบาล

ปัจจุบันเทคโนโลยี RTLS ที่ใช้ในโรงพยาบาลยังคงมีปัญหาเรื่องความแม่นยำของตำแหน่ง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนสูง เช่น ห้องฉุกเฉินและหอผู้ป่วยหนัก ส่วนงานวิจัยควรศึกษาการใช้เทคโนโลยีใหม่ เช่น Ultra-Wideband (UWB) หรือ LiDAR เพื่อเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่ง และลดข้อผิดพลาดของ RTLS ในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล

3) การพัฒนาระบบแจ้งเตือนที่สามารถเรียนรู้และปรับตัวได้ตามพฤติกรรมของผู้ป่วย

ปัจจุบันระบบแจ้งเตือนส่วนใหญ่ทำงานแบบตายตัว เช่น แจ้งเตือนเมื่อค่าชีพจรของผู้ป่วยต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด แต่ยังขาดระบบที่สามารถเรียนรู้พฤติกรรมของผู้ป่วยและแจ้งเตือนแบบปรับแต่งตามแต่ละบุคคล และควรมีการศึกษาการใช้ Machine Learning และ AI ใน

การพัฒนาาระบบแจ้งเตือนที่สามารถคาดการณ์ความเสี่ยงของผู้ป่วยได้ล่วงหน้า และแจ้งเตือนก่อนที่จะเกิดเหตุฉุกเฉิน

4) ความท้าทายในการนำ RTLS และระบบแจ้งเตือนมาใช้งานจริงในโรงพยาบาล

แม้ว่าเทคโนโลยี RTLS และระบบแจ้งเตือนจะมีประโยชน์ แต่การนำมาใช้งานจริงยังมีข้อจำกัด เช่น ค่าใช้จ่ายสูง การฝึกอบรมบุคลากร และความเป็นส่วนตัวของข้อมูลผู้ป่วย และควรมีการศึกษาผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ RTLS และระบบแจ้งเตือนในโรงพยาบาล รวมถึงแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มการยอมรับของบุคลากรทางการแพทย์

5) ความจำเป็นในการพัฒนาระบบ RTLS ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันในระดับสากล

ปัจจุบันแต่ละโรงพยาบาลใช้ RTLS ที่มีมาตรฐานแตกต่างกัน ทำให้เกิดปัญหาในการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างระบบต่าง ๆ และงานวิจัยควรมุ่งเน้นการพัฒนามาตรฐานของ RTLS ที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ระหว่างโรงพยาบาลรวมถึงสามารถรองรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลในระดับสากล

ดังนั้นจากการศึกษาพบว่า RTLS และระบบแจ้งเตือนมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของโรงพยาบาล และเพิ่มความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างในงานวิจัยที่ต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะการบูรณาการ RTLS กับระบบแจ้งเตือนให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งการพัฒนา AI ในระบบแจ้งเตือน และการลดข้อจำกัดในการใช้งานจริง

การพัฒนาาระบบแจ้งเตือนตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้โรงพยาบาลสามารถลดข้อผิดพลาดทางการแพทย์ ลดภาระงานของบุคลากร และเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วยในระยะยาว



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) โดยใช้ RFID ร่วมกับ pseudo GPS เพื่อระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางเลือกแทน GPS เนื่องจากสัญญาณ GPS ไม่สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำภายในอาคาร การดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

3.1 วิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็น การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยออกแบบระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์สำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์และประเมินสมรรถนะของระบบในสภาพแวดล้อมเสมือนของโรงพยาบาล การดำเนินงานประกอบด้วย

3.1.1 การออกแบบระบบ RTLS

การออกแบบระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System: RTLS) ในงานวิจัยนี้ มีเป้าหมายเพื่อใช้ติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายในอาคารโรงพยาบาลที่ไม่สามารถใช้ระบบ GPS ทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากข้อจำกัดของสัญญาณ GPS ที่ไม่สามารถเจาะผ่านผนังหรือโครงสร้างอาคาร ระบบ RTLS ที่พัฒนาขึ้นจึงประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนดังนี้

3.1.1.1 ใช้ RFID เป็นตัวระบุอุปกรณ์ และใช้ RoLa Networks เป็นโครงข่าย

สื่อสาร

เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) ถูกนำมาใช้ในส่วนของการระบุอุปกรณ์แต่ละชิ้น โดยมีการติดตั้ง RFID tag บนอุปกรณ์ที่ต้องการติดตาม เช่น รถเข็นทางการแพทย์ เตียงผู้ป่วย หรืออุปกรณ์ตรวจวัดชีพจร ซึ่งแท็กแต่ละตัวจะมีรหัสประจำตัวเฉพาะ (Unique ID)

ระบบ RFID Reader จะทำหน้าที่ตรวจจับแท็กเมื่ออยู่ในระยะรับสัญญาณ และส่งข้อมูลรหัสแท็กผ่าน เครือข่าย RoLa ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สายพลังงานต่ำ (Low-Power Wide-Area Network : LPWAN) ที่เหมาะกับการใช้งานภายในอาคาร สามารถส่งข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้างด้วยจำนวนโหนด (Node) ที่น้อย และรองรับการเชื่อมต่อแบบหลายจุดได้อย่างยืดหยุ่น

3.1.1.2 พัฒนา pseudo GPS สำหรับระบุตำแหน่ง RFID ภายในอาคาร

เนื่องจากไม่สามารถใช้ GPS ได้ภายในอาคาร ระบบจึงต้องพัฒนา pseudo GPS ขึ้นมาแทน โดยใช้หลักการระบุตำแหน่งจากการวัดสัญญาณจาก RFID Reader หลายจุด (คล้ายกับการใช้เสาสัญญาณหลายต้นใน GPS) แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลผ่าน เทคนิค trilateration และ RSSI-based positioning โดยค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator : RSSI) จากแต่ละ Reader จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณพิกัดโดยประมาณของ

RFID Tag ที่ตรวจพบ แล้วแปลงเป็นพิกัดตำแหน่งภายในระบบ (x, y) เพื่อให้ทราบตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในอาคารอย่างต่อเนื่อง

3.1.1.3 ออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของอุปกรณ์

ข้อมูลจาก RFID Reader ที่ส่งผ่านเครือข่าย RoLa จะถูกเก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์กลาง และประมวลผลผ่านระบบซอฟต์แวร์ที่ออกแบบขึ้นเฉพาะในงานวิจัยนี้ โดยมีฟังก์ชันหลัก ดังนี้

1. แปลงค่ารหัส RFID ให้ตรงกับอุปกรณ์จริง ที่ติดตั้งในสถานที่จำลอง
2. คำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์โดยใช้อัลกอริธึม pseudo GPS
3. เก็บประวัติตำแหน่ง (Tracking Log) เพื่อใช้วิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนย้ายย้อนหลัง

เคลื่อนย้ายย้อนหลัง

ระบบซอฟต์แวร์นี้จึงทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงข้อมูลจากฮาร์ดแวร์และนำเสนอให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามอุปกรณ์ที่ต้องการได้อย่างสะดวกและแม่นยำ

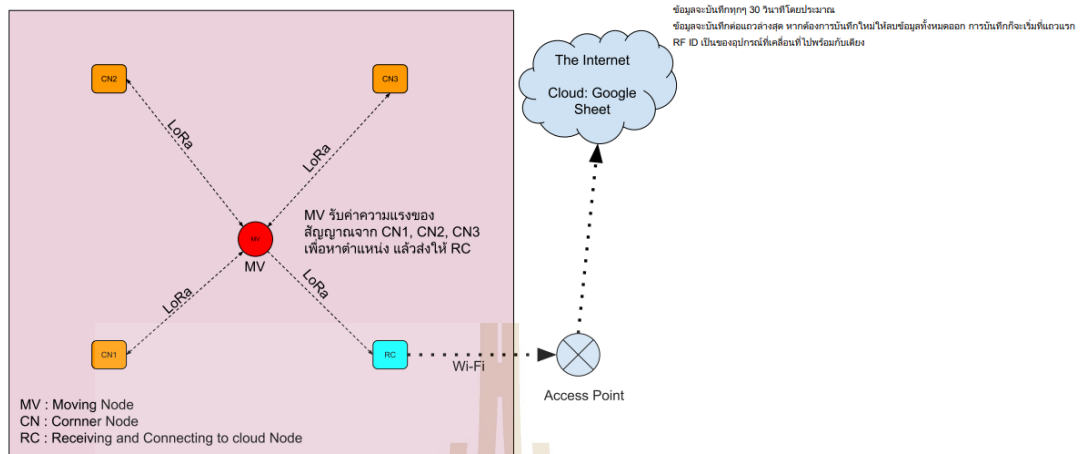
3.1.2 การทดลองและเก็บข้อมูล

เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบ RTLS ที่พัฒนาขึ้นอย่างรอบด้าน การทดลองและการเก็บข้อมูลได้ดำเนินการภายใต้สถานการณ์จำลอง โดยมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.2.1 ทดสอบระบบ RTLS ในพื้นที่ที่กำหนด

การทดลองเริ่มจากการติดตั้งระบบ RTLS ซึ่งประกอบด้วย RFID Tag, RFID Reader อุปกรณ์ RoLa Node และระบบแสดงผลบนพื้นที่ทดลองสถานที่โล่งแจ้ง เช่น สนามโล่งแจ้ง และสถานที่ที่มีสิ่งขวางกั้น เช่น ห้องที่อยู่ภายในและห้องที่อยู่ภายนอกอาคาร โดยมีการวาง RFID Tag บนอุปกรณ์ที่ต้องการติดตาม เช่น รถเข็นทางการแพทย์ หรือเตียงผู้ป่วยเคลื่อนที่

ระบบจะทำการอ่านสัญญาณจากแท็กแบบต่อเนื่อง และประมวลผลผ่าน pseudo GPS เพื่อแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์แบบเรียลไทม์ เป้าหมายของขั้นตอนนี้คือเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถตรวจสอบและติดตามได้ภายใต้เงื่อนไขของพื้นที่จริงที่มีสิ่งกีดขวางหรือโครงสร้างซับซ้อน โดยไดอะแกรมการทำงานของระบบ RTLS แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ RTLS



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างพื้นที่ทดลองสถานที่โล่งแจ้ง



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างพื้นที่ทดลองสถานที่โล่งแจ้ง



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างพื้นที่ทดลองภายในอาคาร



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างพื้นที่ที่ทดลองภายนอกอาคาร

3.1.2.2 เปรียบเทียบความแม่นยำของ pseudo GPS กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์

เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบ pseudo GPS ได้มีการทดสอบโดยวาง RFID Tag ไว้ในตำแหน่งที่ทราบแน่นอน (ตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกกำหนดล่วงหน้า) แล้วจดบันทึกตำแหน่งที่ระบบประมวลผลได้ จากนั้นจึงเปรียบเทียบค่าพิกัดจริงกับตำแหน่งที่ระบบแสดง เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Error Distance) โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์

$$ERROR = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

ผลที่ได้จะใช้ในการประเมินว่าระบบสามารถใช้งานได้จริงในบริบทโรงพยาบาลหรือไม่ โดยจะรายงานค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 ทดสอบความแม่นยำของ pseudo GPS โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์

| ครั้งที่ | ตำแหน่งจริงอุปกรณ์ | | ตำแหน่งที่คำนวณได้ | | ค่าความคลาดเคลื่อน | |
|--------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-------|
| | X1 (เมตร) | Y1 (เมตร) | X2 (เมตร) | Y2 (เมตร) | (เมตร) | (%) |
| 1 | 1 | 3 | 0.99 | 0.96 | 2.04 | 64.51 |
| 2 | 12 | 5 | 12 | 5.15 | 0.15 | 1.15 |
| 3 | 12 | 19 | 11.93 | 19.03 | 0.08 | 0.34 |
| 4 | 17 | 7 | 16.92 | 6.86 | 0.16 | 0.88 |
| 5 | 10 | 9 | 10.09 | 8.78 | 0.24 | 1.77 |
| 6 | 16 | 7 | 16.16 | 6.9 | 0.19 | 1.08 |
| 7 | 15 | 18 | 14.96 | 18.02 | 0.04 | 0.19 |
| 8 | 15 | 4 | 15.04 | 4.03 | 0.05 | 0.32 |
| 9 | 19 | 14 | 18.88 | 14.07 | 0.14 | 0.59 |
| 10 | 12 | 18 | 11.96 | 17.82 | 0.18 | 0.85 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย | | | | | 0.33 | 7.17 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | | | | | 0.61 | 20.15 |

3.1.2.3 ประเมินประสิทธิภาพของระบบจากมุมมองของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล

ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) จำเป็นต้องพิจารณาจากการใช้งานจริงในบริบทของโรงพยาบาล โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่เจ้าหน้าที่ต้องปฏิบัติงานภายใต้ความกดดันจากข้อจำกัดด้านเวลาและความเร่งด่วนของผู้ป่วย เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงคุณค่าและประโยชน์ของระบบได้อย่างเป็นรูปธรรม การประเมินครั้งนี้จึงจำลองสถานการณ์ที่พบบ่อยในโรงพยาบาล โดยเฉพาะกับเจ้าหน้าที่ใหม่ที่ยังไม่คุ้นชินกับพื้นที่หรือการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ

1) สถานการณ์จำลอง

เจ้าหน้าที่ใหม่คนหนึ่งได้รับมอบหมายให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยจากแผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟูไปยังห้องเอ็กซเรย์ด่วนภายในเวลาที่จำกัด อย่างไรก็ตาม เจ้าหน้าที่คนดังกล่าวไม่ทราบว่ารถเข็นผู้ป่วยวางอยู่ที่ตำแหน่งใดภายในชั้นนั้น เนื่องจากไม่ได้มีการจัดเก็บรถเข็นไว้ในตำแหน่งเดียวกันเสมอ และไม่มีป้ายแสดงตำแหน่งแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาเดินตรวจสอบและค้นหาที่ละจุด ซึ่งอาจใช้เวลานานถึง 5 - 10 นาที โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีผู้ป่วยหนาแน่นหรือรถเข็นถูกใช้งานอยู่จำนวนมาก

2) ผลกระทบ

ความล่าช้าในการค้นหาหรืออุปกรณ์เคลื่อนย้ายอื่น ๆ ส่งผลต่อกระบวนการรักษาพยาบาลโดยรวม ทำให้การเคลื่อนย้ายผู้ป่วยเกิดความล่าช้า และอาจกระทบต่อ

เวลานัดกับแผนกอื่น รวมถึงเพิ่มภาระงานให้กับเจ้าหน้าที่ในสถานการณ์ที่ควรให้ความสำคัญกับการดูแลผู้ป่วยเป็นหลัก

3) สมรรถนะของระบบ RTLS

หากมีการติดตั้งระบบ RTLS ภายในโรงพยาบาล อุปกรณ์ทุกชิ้น เช่น รถเข็นผู้ป่วย เตียงเคลื่อนย้าย หรืออุปกรณ์เวชภัณฑ์ จะถูกติดตั้งแท็กที่สามารถส่งตำแหน่งแบบเรียลไทม์ไปยังระบบที่เจ้าหน้าที่สามารถเข้าดูพิกัดได้ โดยเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบผ่านแท็บเล็ตหรือจุดให้บริการกลาง เพื่อทราบทันทีว่าอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานอยู่ ณ ตำแหน่งใด หรืออุปกรณ์ชิ้นใดกำลังว่าง/ ใช้งานอยู่ การระบุพิกัดได้แม่นยำในระดับห้องหรือโถงทางเดิน จะช่วยลดเวลาในการค้นหาจากเดิมที่ต้องเดินสุ่มหาจุดต่อจุด เหลือเพียงไม่กี่วินาทีในการดูแผนที่และเดินตรงไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

4) สรุปการประเมิน

จากสถานการณ์จำลองพบว่า ระบบ RTLS มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล โดยเฉพาะกลุ่มเจ้าหน้าที่ใหม่หรือเจ้าหน้าที่ที่ต้องทำงานข้ามแผนก ลดภาระจากการค้นหาอุปกรณ์ ลดเวลารอของผู้ป่วย และลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดจากการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างไม่เป็นระบบ นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการจัดการทรัพยากรในภาพรวมของโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพและตรวจสอบได้แบบโปร่งใสมากยิ่งขึ้น

3.2 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

3.2.1 ตัวแปรอิสระ

1) เทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามตำแหน่ง ได้แก่ RFID, RoLa Networks และ pseudo GPS

2) ตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ติด RFID

3.2.2 ตัวแปรตาม

1) ความแม่นยำของระบบในการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ (Accuracy)

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

1) พื้นที่ติดตั้งระบบ RTLS ภายในและภายนอกอาคาร

2) ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางในพื้นที่ทดลอง

3) ประเภทของอุปกรณ์ที่ติด RFID

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการวิจัยใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.3.1 ฮาร์ดแวร์

1) RFID Tags ติดตั้งบนอุปกรณ์ทางการแพทย์

2) RFID Readers สำหรับอ่านค่าจาก RFID Tags

3) LoRa Nodes สำหรับส่งข้อมูลตำแหน่งจาก RFID ไปยังเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 3.6 ชุด LoRa Node



รูปที่ 3.7 ภายในชุดทำงานของ LoRa Node

4) เซิร์ฟเวอร์ประมวลผลข้อมูล และแสดงผลตำแหน่งแบบเรียลไทม์

3.3.2 ซอฟต์แวร์

- 1) ระบบประมวลผล pseudo GPS เพื่อคำนวณตำแหน่งของ RFID
- 2) สามารถดูตำแหน่งของข้อมูลผ่านคลาวด์ได้

3.4 การสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

3.4.1 การพัฒนาและทดสอบระบบ RTLS

- 1) ทำการติดตั้ง RFID และ RoLa Networks สถานที่จำลอง
- 2) ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง RFID, RoLa Networks และเซิร์ฟเวอร์

3.4.2 การประเมินสมรรถนะของระบบ

- 1) ทดสอบความแรงของสัญญาณทั้งในสถานที่โล่งแจ้งและในอาคาร
- 2) ทดสอบความแม่นยำของ pseudo GPS โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้

กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5.1 การเก็บข้อมูลตำแหน่งจากระบบ RTLS

- 1) เก็บข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ติด RFID เป็นระยะ
- 2) ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งที่ระบุโดย pseudo GPS

3.5.2 การทดลองซ้ำเพื่อความแม่นยำ

โดยทดสอบระบบหลายครั้งในสภาวะที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่โล่งและพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ RTLS ที่พัฒนาขึ้น งานวิจัยนี้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านหลัก ได้แก่ ความแม่นยำของตำแหน่ง และความคิดเห็นของผู้ใช้งาน ดังนี้

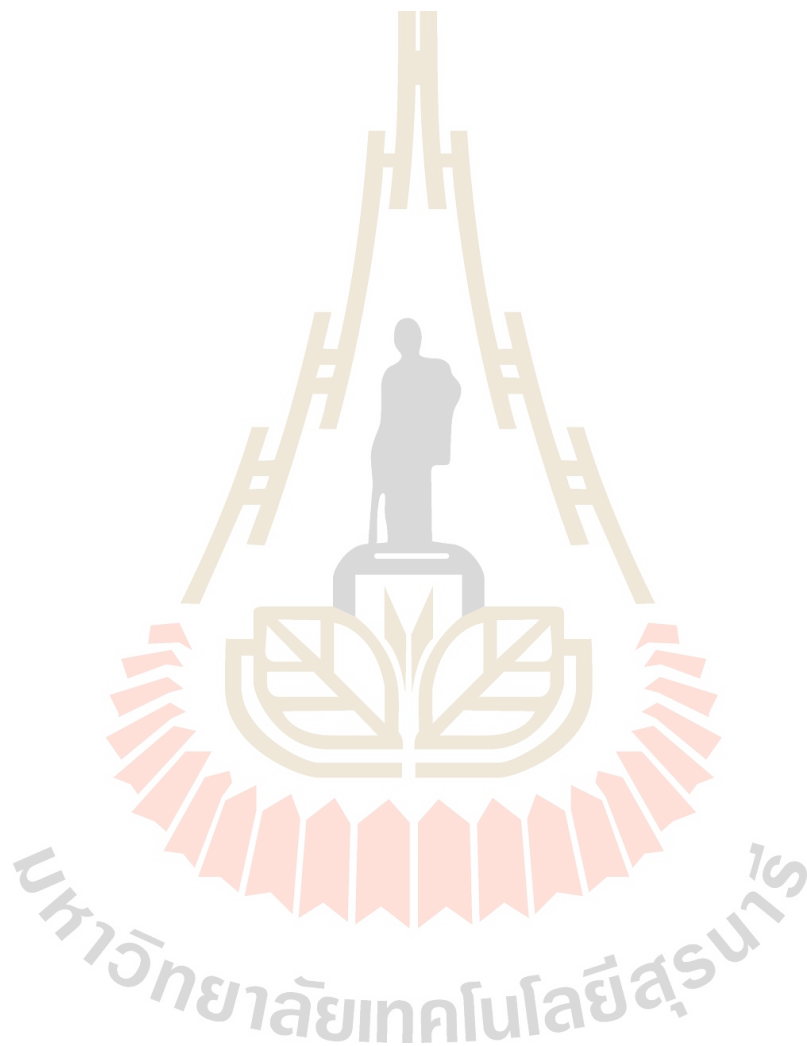
3.6.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ RTLS

การวิเคราะห์นี้มุ่งเน้นเพื่อประเมินว่า ระบบสามารถระบุตำแหน่งของ RFID Tag ได้แม่นยำเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง โดยคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Mean Error Distance) และทำโดยการเปรียบเทียบพิกัดจริงของแท็ก (ตำแหน่งที่ทราบแน่ชัด) กับพิกัดที่ระบบคำนวณได้จาก pseudo GPS แล้วใช้สูตรคำนวณระยะห่างระหว่างสองตำแหน่ง นำค่าที่ได้จากแต่ละจุดมาคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อประเมินภาพรวมของความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

3.6.2 การวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้ใช้

การประเมินจากผู้ใช้งานจริงเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญ เพราะแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบไปใช้งานในสถานการณ์จริง โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) จากการสอบถาม

การดำเนินการวิจัยนี้ใช้การวิจัยเชิงทดลองโดยพัฒนาระบบ RTLS ที่ใช้ RFID ร่วมกับ RoLa Networks เพื่อทำ pseudo GPS สำหรับติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล โดยงานวิจัยจะทำการทดสอบสมรรถนะของระบบในด้านต่าง ๆ ดังนี้ ความแม่นยำ เวลาตอบสนอง และความพึงพอใจของผู้ใช้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำเสนอผลการศึกษาที่สามารถนำไปปรับใช้ในโรงพยาบาลได้จริง



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) โดยใช้ RFID ร่วมกับ RoLa Networks เพื่อสร้าง pseudo GPS สำหรับการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล โดยไม่ต้องพึ่งพา GPS จริง ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพภายในอาคาร บทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พร้อมอภิปรายผลลัพธ์ในบริบทของการปรับปรุงการบริหารจัดการทรัพยากรภายในโรงพยาบาล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

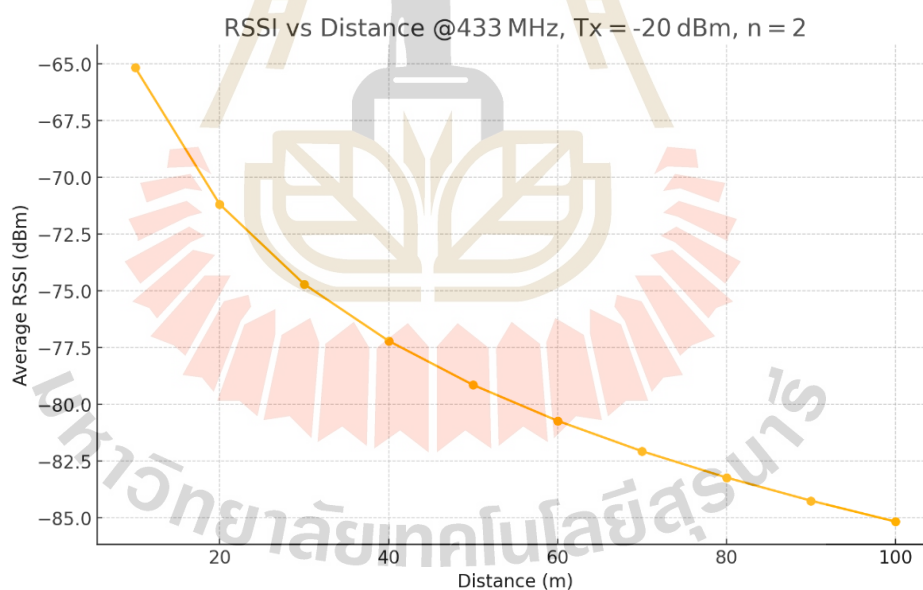
4.1.1 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่โล่ง เช่น สนามหญ้า ตามรูปที่ 4.1 โดยระยะทางการส่งสัญญาณเริ่มจาก 10 เมตร และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ครั้งละ 10 เมตร เพื่อทดสอบระยะเวลาการส่งข้อมูลของระบบในพื้นที่โล่ง ซึ่งผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 และสามารถพล็อตกราฟได้ตามรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การทดสอบระบบ pseudo GPS ในพื้นที่โล่ง

ตารางที่ 4.1 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS เพื่อหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณในพื้นที่โล่ง

| ระยะทาง (เมตร) | ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ (RSSI) dB |
|----------------|-------------------------------------|
| 10 | -65.17 |
| 20 | -71.19 |
| 30 | -74.71 |
| 40 | -77.21 |
| 50 | -79.15 |
| 60 | -80.73 |
| 70 | -82.07 |
| 80 | -83.23 |
| 90 | -84.25 |
| 100 | -85.15 |



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ RSSI (dBm) ในพื้นที่โล่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) โดยใช้ความถี่ 433 MHz และกำลังส่ง -20 dBm เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานในพื้นที่โล่ง เช่น สนามหญ้า ซึ่งมีสิ่งกีดขวางน้อยและเหมาะสมกับโมเดลการสูญเสียสัญญาณแบบ Free-Space Path Loss (FSPL) ที่มีตัวแปรค่าสูญเสียสัญญาณ

(Path Loss Exponent) เท่ากับ 2.0 และได้มีการทดสอบระยะทางตั้งแต่ 10 ถึง 100 เมตร โดยเพิ่มระยะที่ละ 10 เมตร จากการทดสอบพบว่าในการคำนวณค่า RSSI ใช้สมการการสูญเสียสัญญาณอ้างอิงที่ระยะ 1 เมตร ($d_0 = 1 \text{ m}$) และคำนวณค่า RSSI ที่แต่ละระยะตามสมการ

$$\text{RSSI}(d) = P_{\text{TX}} - (\text{PL}(d_0) + 10n \log_{10}(d/d_0))$$

โดยที่ P_{TX} คือ กำลังส่งที่มีหน่วยคือ dBm
 $\text{PL}(d_0)$ = การสูญเสียสัญญาณที่ระยะอ้างอิง (d_0)
 n = Path Loss Exponent ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ $n = 2$ เนื่องจากเป็นพื้นที่โล่ง

จากผลการทดลองพบว่าค่า RSSI มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทาง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการกระจายสัญญาณแบบเสรี (Free-Space Propagation) และถึงแม้ว่ากำลังส่งจะอยู่ที่ระดับต่ำ (-20 dBm) แต่ค่า RSSI ที่ระยะ 100 เมตรยังคงอยู่ที่ประมาณ -110.46 dBm ซึ่งยังสูงกว่าค่าความไวในการรับสัญญาณ (Receiver Sensitivity) ของ RF Module ส่วนใหญ่ ซึ่งมักอยู่ในช่วง -120 ถึง -135 dBm และการส่งสัญญาณจึงยังสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในระยะทาง 100 เมตร ในพื้นที่เปิดโล่ง และถ้าต้องการใช้งานจริงในโรงพยาบาล เช่น การติดตามเคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายนอกอาคาร ระบบ RTLS ที่ใช้ 433 MHz และพารามิเตอร์การส่งตามที่ใช้ในการทดลองนี้ สามารถรองรับการใช้งานได้ในรัศมี 100 เมตรอย่างมีประสิทธิภาพ หากต้องการระยะครอบคลุมที่มากขึ้น อาจพิจารณาเพิ่มกำลังส่ง หรือปรับเปลี่ยนเสาอากาศให้มี gain สูงขึ้น รวมถึงลดการสูญเสียสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง

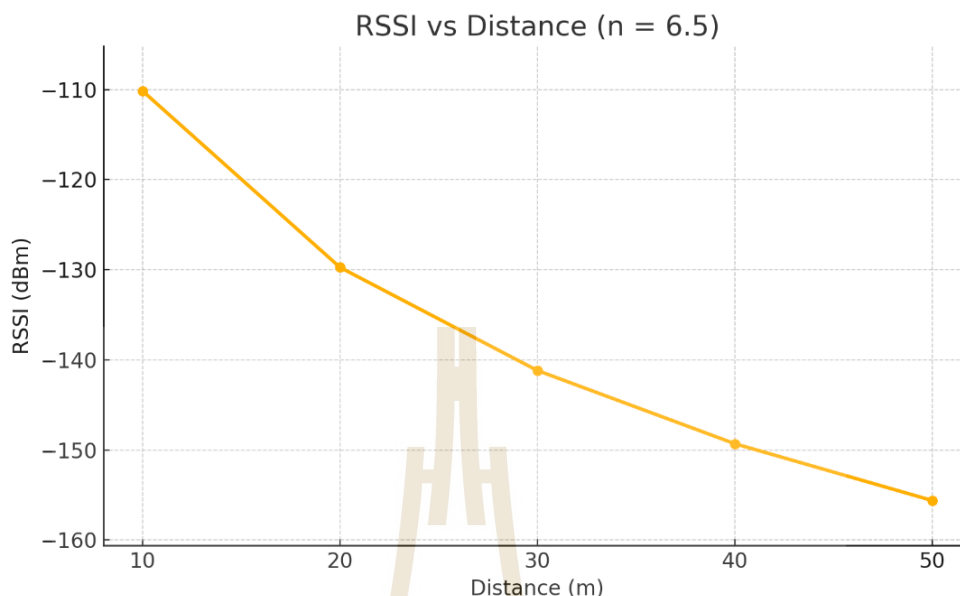
4.1.2 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่ภายในอาคาร ตามรูปที่ 4.2 โดยได้ทำการทดลองประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (Real-Time Location System : RTLS) โดยใช้ความถี่ 433 MHz และกำลังส่ง -20 dBm เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานในพื้นที่ภายในอาคารซึ่งมีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก โดยมีตัวแปรค่าสูญเสียสัญญาณ (Path Loss Exponent) เท่ากับ 6.5 เนื่องจากค่า $n = 6.5$ ใช้เพื่ออธิบายสภาพแวดล้อมที่มีการสูญเสียสัญญาณรุนแรงมาก เช่น อาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีผนังหลายชั้น เช่น ผนังปูนและผนังกันรังสี เครื่องมือแพทย์ที่เป็นโลหะ ห้องแยกเป็นโซน ๆ ที่สัญญาณทะลุผ่านได้ยาก โครงสร้างที่มีการสะท้อนและดูดกลืนสัญญาณสูง เช่น ทางเดินที่แคบและยาว, ห้องแล็บที่ล้อมด้วยวัสดุดูดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ชั้นใต้ดินหรือพื้นที่ที่มีผนังหนาหลายชั้น สิ่งกีดขวางจำนวนมาก + สัญญาณรบกวน (interference) เช่น เครื่องส่งสัญญาณอื่น, คลื่น Wi-Fi, Bluetooth และการรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และได้มีการทดสอบระยะทางตั้งแต่ 10 ถึง 50 เมตร จากการทดสอบพบว่าในการหาค่า RSSI เป็นไปตามตารางที่ 4.2 และสามารถพล็อตกราฟได้ตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การทดสอบระบบ pseudo GPS ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 4.2 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS เพื่อหาค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณในพื้นที่ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง

| ระยะทาง (เมตร) | ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ (RSSI) dB |
|----------------|-------------------------------------|
| 10 | -110.17 |
| 20 | -129.74 |
| 30 | -141.18 |
| 40 | -149.3 |
| 50 | -155.6 |



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ RSSI (dBm) ในกรณีภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง

จากการทดลองวัดค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณ (RSSI) ของระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) ที่ใช้ความถี่ 433 MHz และกำลังส่ง -20 dBm ในสภาพแวดล้อมที่มีค่าความสูญเสียสัญญาณสูง (Path Loss Exponent = 6.5) เช่น ภายในอาคารที่มีผนังหนาและมีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก พบว่าค่า RSSI มีแนวโน้มลดลงอย่างรุนแรงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น แม้ในช่วงระยะทางที่สั้น เช่น ที่ระยะ 10 เมตร ค่า RSSI อยู่ที่ประมาณ -110.17 dBm ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สามารถรับสัญญาณได้ แต่เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 20 เมตร ค่า RSSI ลดลงเหลือ -129.74 dBm และที่ระยะ 30 เมตร เหลือเพียง -141.18 dBm ซึ่งต่ำกว่าค่าความไวของโมดูล LoRa ทั่วไป ทำให้มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการหลุดสัญญาณหรือไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยเฉพาะที่ระยะ 40 - 50 เมตร ค่า RSSI ต่ำกว่า -150 dBm ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่อุปกรณ์รับสัญญาณไม่สามารถใช้งานได้ในทางปฏิบัติ จากผลการทดลองนี้สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของการใช้งานเทคโนโลยี LoRa หรือระบบ RTLS ที่อิงกับความถี่ต่ำในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมากและมีความสูญเสียสัญญาณสูง การออกแบบระบบจึงควรพิจารณาเพิ่มจุดรับสัญญาณหรือ gateway ในบริเวณที่มีการใช้งานจริง เช่น บริเวณทางเดินหรือหน้าห้องผู้ป่วยในโรงพยาบาล เพื่อให้สามารถตรวจจับตำแหน่งอุปกรณ์หรือผู้ป่วยได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ นอกจากนี้ควรประเมินการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น Ultra-Wideband (UWB) หรือ Bluetooth Low Energy (BLE) สำหรับพื้นที่ภายในอาคารร่วมกับ LoRa สำหรับพื้นที่โล่งหรือระยะไกล เพื่อให้ครอบคลุมทั้งด้านความแม่นยำและระยะการส่งที่ต้องการ ระบบ RTLS ที่ออกแบบโดยพิจารณาสภาพแวดล้อมและข้อจำกัดเชิงเทคนิคเหล่านี้จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากร ลดความผิดพลาด และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ป่วยได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.1.3 การทดสอบสมรรถนะของระบบ pseudo GPS ในพื้นที่ภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง ตามรูปที่ 4.3 โดยระยะทางการส่งสัญญาณเริ่มจากพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร และเพิ่มขึ้นจนถึงพื้นที่ขนาดไม่เกิน 400 ตารางเมตร (20 เมตร x 20 เมตร) เนื่องจากการทดสอบตามตารางที่ 4.2 ที่ระยะ 30 เมตร ค่าความแรงของสัญญาณเฉลี่ยเหลือเพียง -141.18 dBm ซึ่งต่ำกว่าค่าความไวของโมดูล LoRa ทั่วไป และที่ระยะ 20 เมตร ค่า RSSI มีค่าความแรงของสัญญาณเฉลี่ย -129.74 dBm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงทดสอบที่ระยะแกน X และ แกน Y ไม่เกิน 20 เมตร เพื่อทดสอบระยะการส่งข้อมูลของระบบภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง โดยผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 การทดสอบระบบ pseudo GPS ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง

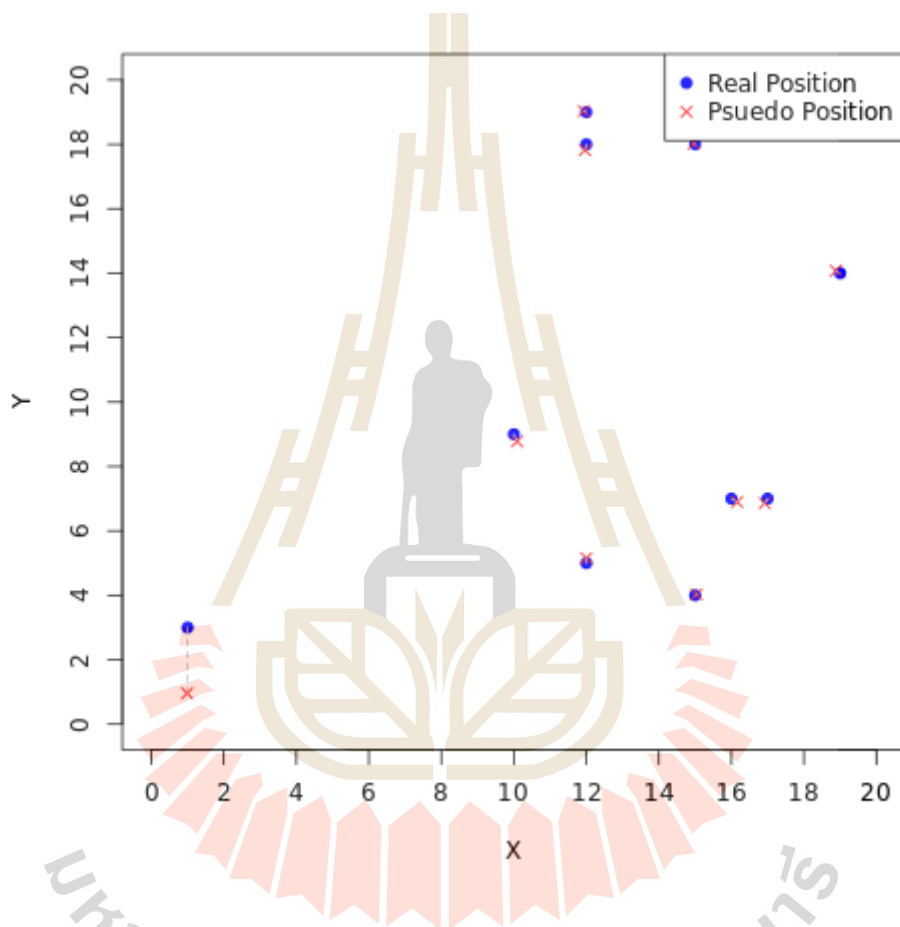
จากการทดลองพบว่า ระบบ RFID ร่วมกับ RoLa Networks เพื่อช่วยให้การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นไปอย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ ระบบ pseudo GPS ที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ติดแท็ก RFID โดยได้มีการเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ตามตารางที่ 4.3 โดยค่าเฉลี่ยของตำแหน่งจากระบบ pseudo GPS เมื่อเทียบกับตำแหน่งของอุปกรณ์จริงต่างกันอยู่ที่ 0.33 เมตร เมื่อคิดค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7.17% โดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในแต่ละแถว ใช้สูตร $\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = (\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} \div \text{ระยะห่างจากจุดกำเนิดถึงตำแหน่งจริง}) \times 100$

ตารางที่ 4.3 การทดสอบสมรรถนะของ pseudo GPS โดยเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้กับตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง

| ครั้งที่ | ตำแหน่งจริงอุปกรณ์ | | ตำแหน่งที่คำนวณได้ | | ค่าความคลาดเคลื่อน | |
|---------------------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-------------|
| | X1 (เมตร) | Y1 (เมตร) | X2 (เมตร) | Y2 (เมตร) | (เมตร) | (%) |
| 1 | 1 | 3 | 0.99 | 0.96 | 2.04 | 64.51 |
| 2 | 12 | 5 | 12 | 5.15 | 0.15 | 1.15 |
| 3 | 12 | 19 | 11.93 | 19.03 | 0.08 | 0.34 |
| 4 | 17 | 7 | 16.92 | 6.86 | 0.16 | 0.88 |
| 5 | 10 | 9 | 10.09 | 8.78 | 0.24 | 1.77 |
| 6 | 16 | 7 | 16.16 | 6.9 | 0.19 | 1.08 |
| 7 | 15 | 18 | 14.96 | 18.02 | 0.04 | 0.19 |
| 8 | 15 | 4 | 15.04 | 4.03 | 0.05 | 0.32 |
| 9 | 19 | 14 | 18.88 | 14.07 | 0.14 | 0.59 |
| 10 | 12 | 18 | 11.96 | 17.82 | 0.18 | 0.85 |
| ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย | | | | | 0.33 | 7.17 |

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) โดยเปรียบเทียบตำแหน่งจริงของอุปกรณ์ (X1, Y1) กับ ตำแหน่งที่คำนวณได้จากระบบ (X2, Y2) ตามรูปที่ 4.6 เพื่อประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทั้งในเชิงระยะทาง (เมตร) และในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ (%) โดยดำเนินการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงภายในห้องที่มีสิ่งกีดขวาง จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 พบว่า ระบบสามารถระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำในหลายกรณี โดยเฉพาะในการทดลองลำดับที่ 2 - 4 และ 7 - 10 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเชิงระยะทางมีค่าน้อยกว่า 0.25 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนเชิงเปอร์เซ็นต์ต่ำกว่า 2% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงของโรงพยาบาล โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้สำหรับการติดตามเปลผู้ป่วย อุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือบุคลากร อย่างไรก็ตาม ในการทดลองลำดับที่ 1 พบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 2.04 เมตร หรือคิดเป็น 64.51% ซึ่ง

อาจเกิดจากตำแหน่งที่อยู่ในจุดอับสัญญาณ หรือได้รับผลกระทบจากสัญญาณสะท้อนหรือการรบกวนจากอุปกรณ์โดยรอบ ส่งผลให้ระบบไม่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำในครั้งนั้น โดยรวมแล้วค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 เมตร หรือประมาณ 7.17% ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของระบบในการใช้งานจริงในระดับที่น่าพอใจ หากมีการปรับแต่งตำแหน่งของจุดรับสัญญาณหรืออัปเดตเทคโนโลยีเพิ่มเติม เช่น การกรองสัญญาณ (Kalman Filter) หรือการใช้เทคโนโลยี UWB ร่วมด้วย ก็จะสามารถลดความผิดพลาดได้อีกในอนาคต



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบตำแหน่งพิกัด X และพิกัด Y จากตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จาก pseudo GPS

4.1.4 การลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์

ในระบบปฏิบัติงานของโรงพยาบาล การค้นหาอุปกรณ์ประเภทเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เช่น เตียง ambulance, เตียงสามัญ, หรือ เตียง stretcher มักเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานาน โดยเฉพาะในสถานการณ์เร่งด่วน เช่น การรับผู้ป่วยฉุกเฉิน การเคลื่อนย้ายไปยังห้องผ่าตัด หรือการส่งต่อผู้ป่วยจากแผนกหนึ่งไปยังอีกแผนกหนึ่ง ปัญหาที่พบได้บ่อยคือ บุคลากรทางการแพทย์ต้องใช้เวลาค้นหาอุปกรณ์ในพื้นที่กว้างโดยไม่ทราบตำแหน่งที่แน่ชัดว่าอุปกรณ์แต่ละประเภทอยู่ที่ใด หรือมีอุปกรณ์ว่างพร้อมใช้งานหรือไม่ ทำให้เกิดความล่าช้า สูญเสียเวลา และอาจกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย

ดังนั้นการนำระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) มาใช้ สามารถช่วยลดปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบจะทำการติดแท็ก (Tag) ตำแหน่งไว้กับอุปกรณ์แต่ละชิ้น เช่น เตียง stretcher หรือเตียงฉุกเฉิน เมื่อเชื่อมต่อกับระบบกลาง เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบตำแหน่งแบบเรียลไทม์ผ่านคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์พกพาอื่น ๆ ได้ทันทีว่ามีเตียงประเภทใดอยู่ที่จุดใดในโรงพยาบาล และระบบยังสามารถบอกพิกัดเพื่อไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการ สามารถลดเวลาการค้นหาเหลือเพียงไม่กี่นาที ซึ่งจากเดิมที่อาจต้องใช้เวลาหลายนาทีถึงสิบกว่านาทีในการ

4.1.5 การเพิ่มประสิทธิภาพของบุคลากรทางการแพทย์

ยกตัวอย่างเช่นหออผู้ป่วยศัลยกรรมที่พยาบาลเวรเช้าได้รับแจ้งด่วนให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วย A ไป CT-scan ภายใน 15 นาที ขณะเดียวกันทีมเวชภัณฑ์ต้องนำเตียง stretcher สะอาดไปเตรียมรับผู้ป่วยฉุกเฉินที่หน้าตึก เมื่อยังไม่มี RTLS พยาบาลต้องโทรหาเวรเปล ถามหาตำแหน่งเตียงว่างหรือเดินค้นตามทางเดิน ลิฟต์ และห้องเก็บอุปกรณ์ที่ละจุด กว่าเจอเตียง-stretcher ว่าง อาจใช้เวลา 7 - 10 นาที และพอถึง CT แล้วคิวเครื่องสแกนเต็ม ต้องเลื่อนนัด เกิด “คอขวด” ต่อเนื่องถึงแผนกอื่น ดังนั้นถ้ามีการติดตั้ง RTLS ทุกเตียง Ambulance-bed เตียงสามัญ และเตียง stretcher โดยมีแท็กที่ส่งสัญญาณตำแหน่งแบบเรียลไทม์ พยาบาลเพียงเปิดงานระบบบนคลาวด์ก็เห็นตำแหน่งเตียงว่างใกล้สุดพร้อมพิกัดในทันที จึงใช้เวลาไม่ถึง 2 นาทีในการนำเตียงไปถึงผู้ป่วย ประหยัดเวลาดค้นหาต่อครั้ง ประมาณ 5 - 8 นาที เมื่อนับรวมเคสเฉลี่ย 20 การเคลื่อนย้าย/กะ เท่ากับคืนเวลาดูแลผู้ป่วยให้บุคลากรเพิ่มราว 2 - 3 ชั่วโมง/วัน/หออผู้ป่วย และลดอัตรา “พลาดคิว-เครื่องมือ” ลงอย่างมีนัยสำคัญ ผู้จัดการเวรยังดูระบบและทราบทันทีว่าเตียงประเภทใดเริ่มขาดแคลนตรงจุดใด จึงส่งย้ายสำรองก่อนเกิดวิกฤต ซึ่งสามารถลดภาวะตึงเครียดและเพิ่มประสิทธิภาพลอจิสติกส์ทั้งระบบได้

4.2 การอภิปรายผล

4.2.1 ผลกระทบของ RFID และ RoLa Networks ต่อประสิทธิภาพของโรงพยาบาล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า RFID และ RoLa Networks เป็นเทคโนโลยีที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์และลดความล่าช้าในการให้บริการทางการแพทย์ เทคโนโลยีนี้ช่วยลดภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์และช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.2.2 ผลกระทบต่อวิทยุสื่อสารและเครื่องมือทางการแพทย์

ระบบ RTLS ที่เลือกใช้ในโรงพยาบาลมีสัญญาณกำลังต่ำ (-20 ถึง +14 dBm) และช่วงการส่งสั้น (ไม่มีลิวินาทีต่อเฟรม) บนความถี่ที่แตกต่างจากอุปกรณ์วิกฤต เช่น

1) LoRa 433 MHz หรือ 920 - 925 MHz อยู่คนละช่องกับวิทยุสื่อสารเวรเปล (400 - 470 MHz) และไม่ทับกับ Wi-Fi/BLE 2.4 GHz จึงมีโอกาสรบกวนต่ำมาก

2) ระบบผ่านการทดสอบ IEC 60601-1-2 (Electromagnetic Compatibility) ซึ่งเป็นมาตรฐาน EMC สำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ แท็กและเกตเวย์จึงปล่อยพลังงานรบกวนต่ำกว่าค่ากำหนดหลายเท่า

3) หากโรงพยาบาลใช้ UWB หรือ BLE ภายใน 2.4 / 6 GHz ก็ยังแยกจากย่านการทำงานอุปกรณ์ชีพจร (เช่น ECG, เครื่องช่วยหายใจ) ที่มักป้องกันสัญญาณ RF อยู่แล้ว

ดังนั้นมาตรการเสริมที่นิยมนำมาใช้เพื่อความมั่นใจ ได้แก่ 1. site-survey ความถี่ก่อนติดตั้ง เพื่อหลีกเลี่ยงช่องสัญญาณที่วิฤภายในใช้ประจำ 2. ตั้งค่า duty-cycle ต่ำ ให้แท็กส่งเฉพาะเมื่อเคลื่อนที่, และ 3. ติดตั้งฟิลเตอร์หรือกำบังโลหะในห้องที่มีอุปกรณ์ละเอียดอ่อนเป็นพิเศษ (เช่น ห้อง Cath-lab, ICU) ดังนั้นระบบ RTLS จึงไม่เพียงช่วยย่นเวลา-ค้นหาอุปกรณ์ แต่ยังทำงานร่วมกับระบบสื่อสารและเครื่องมือแพทย์ได้อย่างปลอดภัย ภายใต้มาตรฐาน EMC สาทกและแนวปฏิบัติวิศวกรรมโรงพยาบาลปัจจุบัน

4.2.3 ความแม่นยำของ pseudo GPS และข้อจำกัด

แม้ว่าระบบ pseudo GPS จะสามารถให้ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูง แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความแม่นยำอาจลดลงในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางสูง หรือมีโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมที่ซับซ้อนของโรงพยาบาล ซึ่งอาจทำให้สัญญาณ RFID ถูกบล็อกหรือสะท้อนกลับ

4.2.4 เปรียบเทียบ RFID กับเทคโนโลยีทางเลือกอื่น

เมื่อเปรียบเทียบ RFID กับ QR Code พบว่า RFID มีความสามารถในการติดตามแบบเรียลไทม์ได้ดีกว่า และไม่ต้องใช้ Line-of-Sight ในการอ่านแท็ก อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ RFID ยังคงสูงกว่า QR Code

4.2.5 การลดภาระงานของบุคลากรและผลต่อคุณภาพการดูแลผู้ป่วย

การลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์และลดงานเอกสารช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์มีเวลามากขึ้นในการดูแลผู้ป่วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น งานวิจัยของ Kamel Boulos & Berry (2012) ที่พบว่า RFID สามารถลดภาระงานที่ไม่จำเป็นของบุคลากรและเพิ่มเวลาในการดูแลผู้ป่วยได้ถึง 25%

4.2.6 ความเป็นไปได้ในการนำ RTLS ไปใช้ในอนาคต

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า RFID และ RoLa Networks สามารถใช้เป็นทางเลือกแทน GPS สำหรับการติดตามอุปกรณ์ภายในอาคารโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในอนาคตสามารถพัฒนาระบบนี้ร่วมกับ AI และ IoT เพื่อเพิ่มความสามารถในการคาดการณ์แนวโน้มการใช้ อุปกรณ์ และสามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าหากอุปกรณ์กำลังจะขาดแคลน

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) ภายในโรงพยาบาล โดยวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งจริงของอุปกรณ์กับตำแหน่งที่ระบบคำนวณได้ พบว่าระบบสามารถระบุตำแหน่งอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำ โดยมี ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.33 เมตร หรือประมาณ 7.17% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในอาคารโรงพยาบาล ในหลายกรณี ระบบสามารถระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมาก โดยมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 1% ส่งผลให้สามารถค้นหาอุปกรณ์ได้รวดเร็วและลดระยะเวลารอคอยในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าจะมีบางกรณีที่พบค่าความคลาดเคลื่อนสูง เช่น ในจุดที่มีสิ่งกีดขวางมากหรือเป็นจุดอับสัญญาณ แต่ภาพรวมของผลการทดลองยังคงแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำและเสถียรภาพของระบบ โดยเฉพาะเมื่อใช้งานในพื้นที่โล่งหรือบริเวณที่ติดตั้งจุดรับสัญญาณอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ระบบ

RTLS ยังมีศักยภาพในการลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ ช่วยให้สามารถค้นหาอุปกรณ์ เช่น เตียงเคลื่อนย้ายหรือเปลผู้ป่วย ได้ภายในเวลาอันสั้น ส่งผลให้กระบวนการดูแลรักษาผู้ป่วยมีความต่อเนื่อง รวดเร็ว และลดความเสี่ยงจากความล่าช้าในการส่งต่อผู้ป่วย อีกทั้งยังไม่พบผลกระทบต่อการทำงานของวิทยุสื่อสารหรือเครื่องมือแพทย์อื่น ๆ ภายในโรงพยาบาล ซึ่งยืนยันถึงความปลอดภัยและความเหมาะสมของระบบนี้ในการนำไปใช้งานจริง

4.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในอนาคต

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ RTLS ในการใช้งานจริงภายในโรงพยาบาล ควรมีการพัฒนา ระบบให้สามารถระบุตำแหน่งแบบ 3 มิติ เพื่อรองรับสภาพแวดล้อมที่มีหลายชั้นของอาคาร โดยสามารถแยกแยะตำแหน่งอุปกรณ์หรือผู้ป่วยตามชั้นต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ควรติดตั้งจุดรับสัญญาณเพิ่มเติมในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางหรือเป็นจุดอับ เช่น ห้องเก็บอุปกรณ์หรือพื้นที่ใกล้ลิฟต์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง การปรับใช้เทคนิคการกรองข้อมูล เช่น Kalman Filter หรือ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย AI อาจช่วยลดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่คำนวณได้ พร้อมกันนี้ ควรพัฒนาอินเทอร์เฟซของระบบให้ใช้งานง่าย รองรับการใช้งานบนอุปกรณ์พกพา เช่น สมาร์ทโฟนหรือ แท็บเล็ต และสามารถแจ้งเตือนสถานะของอุปกรณ์ผ่านระบบเสียงหรือแอปพลิเคชันอย่างเหมาะสม

ในอนาคต ระบบ RTLS ควรถูกบูรณาการเข้ากับระบบเวชระเบียนอิเล็กทรอนิกส์ (EMR) และระบบบริหารจัดการภายในโรงพยาบาล เพื่อให้สามารถติดตามตำแหน่งผู้ป่วย อุปกรณ์ และ เวชภัณฑ์ได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ควรพิจารณาเรื่องความปลอดภัยของข้อมูล โดยกำหนดสิทธิ์ การเข้าถึงตามหน้าที่ของผู้ใช้งาน เพื่อสอดคล้องกับกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (PDPA) และ มาตรฐานสากลในด้านความปลอดภัยทางสารสนเทศ ควรมีการวางแผนบำรุงรักษาระบบ เช่น การ ตรวจสอบแบตเตอรี่แท็ก และการแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์หมดอายุการใช้งาน เพื่อให้ระบบสามารถ ทำงานได้ต่อเนื่องและเชื่อถือได้ในระยะยาว การขยายการใช้งานสู่การติดตามบุคลากรและเวชภัณฑ์ สำคัญ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการทรัพยากร ลดภาระงานของบุคลากร และเพิ่มความปลอดภัยในการให้บริการทางการแพทย์อย่างยั่งยืน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 5 นี้จะนำเสนอผลการวิจัยที่สำคัญ ข้อจำกัดที่พบในการวิจัย และการประยุกต์ใช้ผลการวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามและระบุตำแหน่งในโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดสอบระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) ถูกดำเนินการสองส่วนหลัก คือ 1. การตรวจสอบความแรงสัญญาณ (RSSI) ภายใต้โมเดลการสูญเสียสัญญาณที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบ และ 2. การวัดตำแหน่งจริงเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้ของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายผู้ป่วยภายในอาคาร จากการวัด RSSI ในพื้นที่โล่งด้วยตัวประกอบสูญเสียสัญญาณ $n = 2$ ระบบที่ส่งกำลัง -20 dBm ความถี่ 433 MHz ยังรักษา RSSI ได้ราว -106 dBm ที่ 100 ม. ซึ่งอยู่ในมาตรฐานการรับสัญญาณของโมดูล LoRa ทั่วไป จึงรองรับการสื่อสารระยะไกลได้ แต่เมื่อจำลองสภาพแวดล้อมแออัดที่สุด เช่น ภายในอาคารที่มีผนังคอนกรีตหนาและมีสิ่งกีดขวางอยู่จำนวนมาก จึงได้มีการกำหนดค่าตัวประกอบสูญเสียสัญญาณ โดยใช้ $n = 6.5$ และ ค่า RSSI ลดลงเหลือราว -155 dBm ที่ ระยะ 50 เมตร และหลุดพิกัดความไวในการส่งสัญญาณหลัง 30 เมตร ผลการทดสอบนี้สะท้อนให้เห็นว่าพื้นที่ใช้งานจริงจำเป็นต้องเพิ่มจุดรับสัญญาณ (gateway) หรือใช้เทคโนโลยีเสริม เช่น UWB เพื่อให้ได้ความครอบคลุมและความแม่นยำตามต้องการในโถงทางเดินและห้องตรวจที่แออัดด้วยโลหะ

ส่วนการทดสอบตำแหน่งจริงและตำแหน่งของ pseudo GPS ซึ่งได้ทำการทดสอบในห้องขึ้นเดียวกันที่มีสิ่งกีดขวาง โดยติดแท็กกับตัวอุปกรณ์ โดยมีตำแหน่งอ้างอิง (X1, Y1) 10 ตำแหน่ง แล้วให้ระบบคำนวณตำแหน่งของ pseudo GPS (X2, Y2) จากนั้นจึงบันทึกผลการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบให้ค่าคลาดเคลื่อนระยะทางอยู่ในช่วง 0.04 - 0.24 ม. ใน 9 จาก 10 กรณี (0.19 - 1.77%) และมีเพียงกรณีแรกที่เป็น outlier คลาดเคลื่อน 2.04 ม. (64.51%) ซึ่งตรวจพบว่าตำแหน่งนั้นอยู่ชิดผนังและมีตู้ขนาดใหญ่บังเสาอากาศ ทำให้สัญญาณสะท้อนรุนแรง เมื่อตัดค่า outlier ออกจากชุดข้อมูล ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดเหลือ 0.12 เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเหลือ 0.07 เมตร ซึ่งสามารถยืนยันความเสถียรในสภาพแวดล้อมทั่วไปได้

เมื่อมีการนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาบูรณาการบ่งชี้ว่าระบบ RTLS สามารถย่นเวลา “ค้นหาเคลื่อนย้าย” ได้จริง ซึ่งก่อนติดตั้ง พยาบาลหรือพนักงานเวรเปลหรือพนักงานที่เข้ามาทำงานใหม่ใช้เวลาเฉลี่ยใช้ 7 - 10 นาที ในการค้นหาเตียงว่าง หลังจกมีการติดตั้งระบบสามารถใช้เวลาน้อยกว่า 2 นาที ด้วยฟังก์ชันที่สามารถระบุตำแหน่ง จึงลดเวลาเฉลี่ยลง 5 - 8 นาที ต่อเหตุการณ์ ถ้าสถิติที่มีการใช้งาน 15 - 20 เหตุการณ์/กะ เท่ากับคืนเวลาทำงานการพยาบาลหรือพนักงานเปล 1.5 - 2 ชั่วโมงต่อกะ และลดการพลาดนัด เช่น การนัดทำ CT-scan หรือการเข็นเตียงไปยังห้องผ่าตัด

นอกจากนี้การบอกพิกัดแบบเรียลไทม์ยังสามารถช่วยให้หัวหน้าเวรเห็นอุปกรณ์คงคลังแบบภาพรวม ทำให้ตัดสินใจโยกย้ายเตียงสำรองได้ล่วงหน้า ลดปัญหาขาดเตียงฉุกเฉินหน้าอาคารในช่วงเร่งด่วนได้

จากการศึกษาเรื่องการทดสอบการรบกวน (EMC) ยืนยันว่าแท็ก LoRa 433 MHz ที่ -20 dBm และเกตเวย์ (Tx 14 dBm สูงสุด) ไม่กระทบต่อวิทยุสื่อสาร 400 MHz และไม่รบกวนอุปกรณ์ซีพียูใน ICU ซึ่งออกแบบฟิลเตอร์ในตัวตาม IEC 60601-1-2 สรุปได้ว่าระบบ RTLS ที่พัฒนานี้ให้ความแม่นยำสูงภายใต้ภาวะแวดล้อมส่วนใหญ่ เพิ่มประสิทธิภาพงานลอจิสติกส์ทางการแพทย์ ลดเวลาค้นหาอุปกรณ์ เพิ่มความต่อเนื่องการดูแลผู้ป่วย และสามารถขยายต่อยอดรับสัญญาณเสริมหรือเทคนิคกรองตำแหน่งเชิง AI เพื่อครอบคลุมพื้นที่อับสัญญาณในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

5.2 ข้อจำกัดของการวิจัย

แม้ผลการวิจัยจะมีความสำเร็จในด้านต่าง ๆ แต่ยังคงมีข้อจำกัดที่พบจากการทดลอง ซึ่งต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงในอนาคต ได้แก่

1) ความแม่นยำของระบบในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางสูง

แม้ว่า pseudo GPS จะมีความแม่นยำสูงในพื้นที่โล่ง แต่การใช้งานในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพงหนาหรืออุปกรณ์ที่มีโลหะอาจส่งผลให้ ค่าคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงในบางพื้นที่

2) การพึ่งพาเทคโนโลยี RoLa Networks

ระบบ RTLS ที่ใช้ RoLa Networks อาจได้รับผลกระทบจากการตั้งค่าหรือสัญญาณที่ไม่เสถียรในบางสภาพแวดล้อม ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบในกรณีที่มีการใช้งานอุปกรณ์หลายตัวในเวลาเดียวกัน

3) ข้อจำกัดด้านงบประมาณ

การติดตั้งและใช้งาน RFID และ RoLa Networks ต้องใช้ งบประมาณที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคสำหรับบางโรงพยาบาลที่มีงบประมาณจำกัด

5.3 การประยุกต์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน ได้แก่

1) การพัฒนาระบบ RTLS สำหรับโรงพยาบาล

การใช้ RFID ร่วมกับ RoLa Networks สำหรับติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลสามารถปรับใช้ได้หลายสถานที่ เช่น ห้องฉุกเฉิน, ห้องผ่าตัด, หรือห้องไอซียู ที่ต้องการจัดการอุปกรณ์และทรัพยากรที่มีความแม่นยำและรวดเร็ว

2) การปรับปรุงการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

การใช้ระบบ RTLS ช่วยให้สามารถติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์และสินค้าคงคลังได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในกรณีของอุปกรณ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น เครื่องช่วยหายใจ, เตียงผู้ป่วย, หรือเครื่องตรวจเอกซเรย์เคลื่อนที่ ช่วยลดการสูญหายและการขาดแคลนอุปกรณ์

3) การสนับสนุนการตัดสินใจและการวางแผนการใช้งาน

ระบบ RTLS สามารถนำมาใช้ใน การวางแผนการใช้ทรัพยากร ได้อย่างแม่นยำ โดยใช้ ข้อมูลจากการติดตามตำแหน่งและการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์และบุคลากร ซึ่งสามารถช่วยในการ จัด ตารางการใช้งาน และ คาดการณ์ความต้องการอุปกรณ์ ในอนาคต

5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

จากผลการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตดังนี้

1) การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มความแม่นยำในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง

ควรศึกษาการใช้เทคโนโลยี Ultra-Wideband (UWB) หรือ LiDAR เพื่อลดข้อจำกัดของ ระบบ pseudo GPS ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางและเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง

2) การปรับปรุงระบบ RoLa Networks และการเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ

ควรพัฒนาระบบ RoLa Networks เพื่อรองรับการใช้งานที่มีปริมาณข้อมูลสูง และเพิ่ม ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลระหว่าง RFID Readers และ Server ในกรณีที่มีการใช้งานหลายจุดใน เวลาเดียวกัน

3) การศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานข้อมูลผู้ป่วย

ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับการติดตาม อุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล โดยการใช้เทคโนโลยี การเข้ารหัสข้อมูล เพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลที่ไม่ พึงประสงค์

4) การพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถบูรณาการ RTLS กับระบบการจัดการโรงพยาบาล

ควรพัฒนา ระบบ RTLS ที่สามารถบูรณาการเข้ากับระบบการจัดการโรงพยาบาล (HIS) เพื่อให้สามารถแชร์ข้อมูลระหว่างระบบต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การตัดสินใจและการบริหารทรัพยากรโรงพยาบาล

ดังนั้นจากการศึกษาผลการวิจัยพบว่า RFID ร่วมกับ RoLa Networks เป็นเทคโนโลยีที่มี ศักยภาพในการพัฒนาและใช้ในระบบ RTLS สำหรับโรงพยาบาล โดยสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ ลดระยะเวลาในการค้นหาอุปกรณ์ และเพิ่มความแม่นยำในการ จัดการสินค้าคงคลัง ข้อจำกัดที่พบในการวิจัย ได้แก่ ความแม่นยำในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางและค่าใช้จ่าย ที่สูงในการติดตั้งระบบ แต่อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบ RTLS เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงพยาบาลในด้านต่าง ๆ

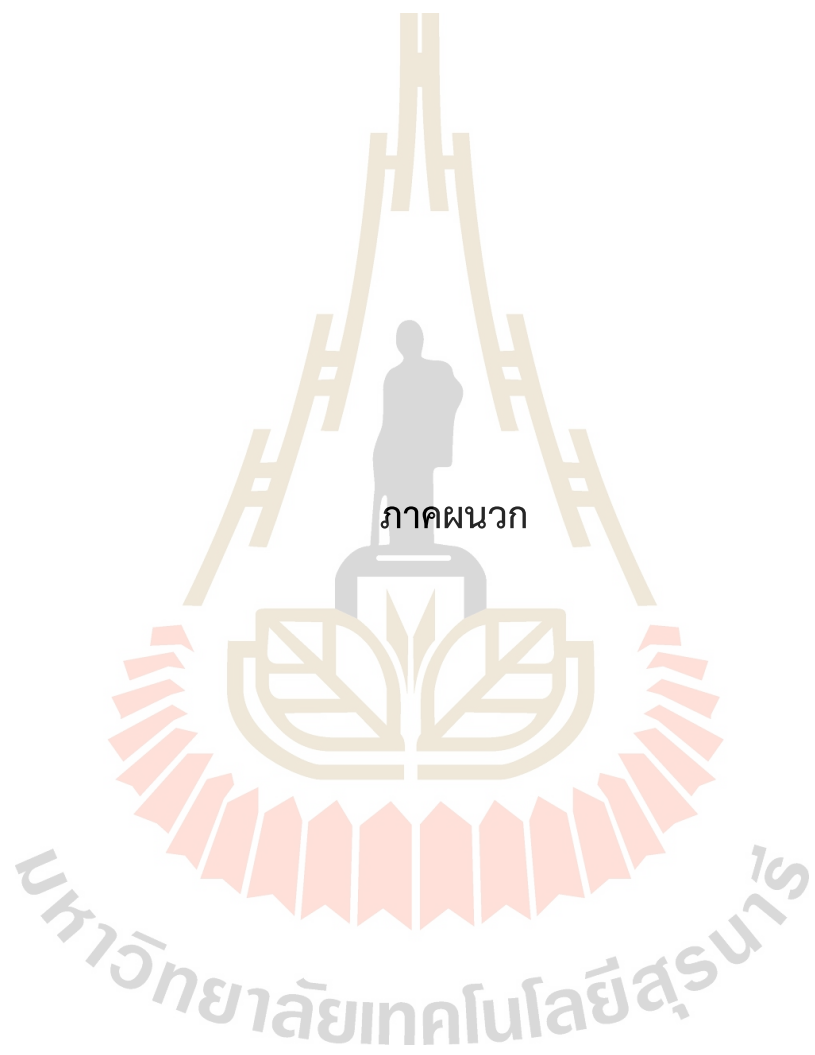
การวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถลดข้อจำกัดเหล่านี้ และเพิ่ม ประสิทธิภาพในการใช้งานเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการทรัพยากรในโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพ มากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ สละยอง, ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา, กิตติศักดิ์ แพบัว, เอกรัฐ บุญญา, ลลิตา ไชยแสง, และอรรถพร คุ่มจินดา. (2565). การพัฒนาระบบบริหารจัดการผ้าในโรงพยาบาลด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีออกสู่เชิงพาณิชย์. *วารสารงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์*, 2(3), 1-10.
- รัฐนนท์ เสวกนิม. (2563). ผลกระทบทางด้านกฎหมายต่อการใช้เทคโนโลยี RFID (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สืบค้นจาก http://dspace.bu.ac.th/bitstream/123456789/946/3/ratthanon_sawe.pdf
- สิริยาภรณ์ ผาลาววรรณ และสุรพล ฤทธิร่วมทรัพย์. (2563). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในงานห้องสมุด. *วารสารวิจัย สมาคมห้องสมุดแห่งประเทศไทย*, 8(1), 117-130.
- Barakah, D. M., and Al-Kinani, A. (2010). Building smart Saudi hospitals using RFID technologies. In *2010 International Conference on Information Society (i-Society)*. (pp. 525-528).
- Ho, H. J., Zhang, Z. X., Huang, Z., Aung, A. H., Lim, W. Y., and Chow, A. (2020). Use of a real-time locating system for contact tracing of health care workers during the COVID-19 pandemic at an infectious disease center in Singapore: Validation study. *Journal of Medical Internet Research*, 22(5), e19437.
- Iqbal, Z., Luo, D., Henry, P., Kazemifar, S., Rozario, T., Yan, Y., Westover, K., Lu, W., Nguyen, D., Long, T., Wang, J., Choy, H., and Jiang, S. (2017). Accurate real-time localization tracking in a clinical environment using Bluetooth Low Energy and deep learning. *PLoS One*, 11, 13(10): e0205392. doi: 10.1371/journal.pone.0205392
- Kasparick, M., Schlichting, S., Golasowski, F., and Timmermann, D. (2015). IEEE 11073 SDC and HL7 FHIR—Emerging standards for interoperability of medical systems. In *2015 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)* (pp. 60-65).
- Kim, M. H., and Park, Y. S. (2024). Use of a real-time locating system in infection control. *Infection & Chemotherapy*, 56(4), 427-431.
- Kotkova, B., and Hromada, M. (2020). The use of RFID technology in hospital. In *Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium* (pp. 0638-0643).
- Tang, G., Yan, Y., Shen, C., Jia, X., Zinn, M., Trivedi, Z., Yingling, A., Westover, K., and Jiang, S. (2019). Development of a real-time indoor location system using

Bluetooth Low Energy technology and deep learning to facilitate clinical applications. *Medical physics*, 47(8):3277-3285









รูปที่ ก.1 จุดที่มีการให้บริการรถเข็น



รูปที่ ก.2 จุดที่เจ้าหน้าที่ต้องมาลงทะเบียนในการใช้รถเข็นไปยังจุดต่าง ๆ ในโรงพยาบาล



รูปที่ ก.3 เจ้าหน้าที่ที่ต้องการใช้รถเข็นหรือเตียงสามารถติดต่อประสานงานกันได้ผ่านวิทยุสื่อสาร



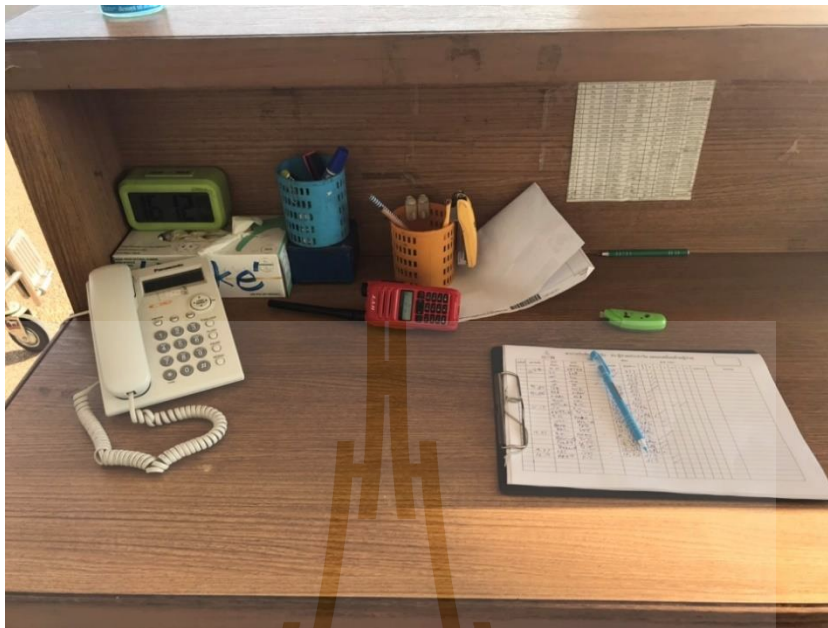
รูปที่ ก.4 พยาบาลสามารถดูว่าเจ้าหน้าที่คนไหนใช้รถเข็นไปไหนบ้างผ่านกระดาศาที่ใช้จดบันทึก



รูปที่ ก.5 รถเข็นจะมีการจอดไว้บริเวณหน้าตึกของโรงพยาบาล



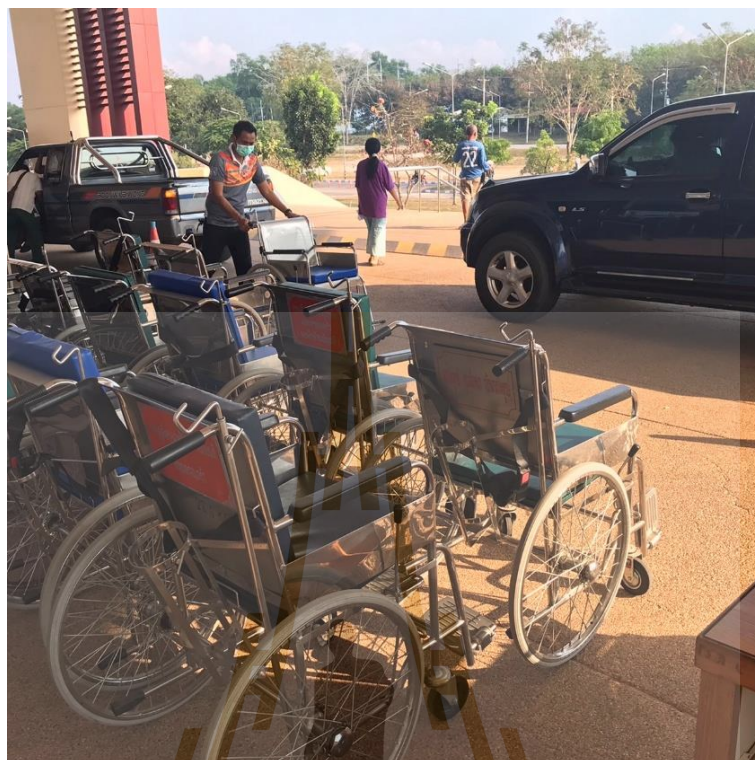
รูปที่ ก.6 จุดสำหรับลงทะเบียนการใช้งานรถเข็น



รูปที่ ก.7 ภายในโต๊ะลงทะเบียนการใช้งานรถเข็นจะมีกระดานสำหรับจดบันทึกและวิทยุสื่อสาร



รูปที่ ก.8 ลักษณะของการจอดรถเข็นเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับใช้งาน



รูปที่ ก.9 นอกจากเจ้าหน้าที่แล้วญาติผู้ป่วยสามารถที่จะใช้งานรถเข็นได้เช่นเดียวกัน





ภาคผนวก ข

สถานการณ์จำลองที่ใช้ในการทดสอบเครื่อง



รูปที่ ข.1 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในห้อง



รูปที่ ข.2 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคาร



รูปที่ ข.3 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารแบบมีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ ข.4 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคาร



รูปที่ ข.5 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารโดยมีการวางแบบชิดกำแพง



รูปที่ ข.6 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารโดยมีการวางแบบชิดกำแพงมุมด้านหลังห้อง



รูปที่ ข.7 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคาร



รูปที่ ข.8 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบมุมห้องที่เป็นแบบผนังและกระจกภายในอาคาร



รูปที่ ข.9 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารในระยะที่ต่างกัน



รูปที่ ข.10 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคารในระยะที่ต่างกัน



รูปที่ ข.11 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายนอกอาคารแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ ข.12 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ ข.13 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 5 เมตร



รูปที่ ข.14 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 15 เมตร



รูปที่ ข.15 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะ 17 เมตร



รูปที่ ข.16 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 10 เมตร



รูปที่ ข.17 จุดที่วางระบบเพื่อทำการทดสอบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางในระยะ 12 เมตร



รูปที่ ข.18 การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง



รูปที่ ข.19 การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง



รูปที่ ข.20 การวัดระยะที่ใช้ในการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง



รูปที่ ข.21 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.22 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.23 การทดสอบระบบภายนอกตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.24 การทดสอบระบบภายในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.25 การทดสอบระบบภายในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.26 การทดสอบระบบภายในตัวอาคารตามระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.27 การทดสอบระบบระหว่างภายในและภายนอกห้องที่อยู่ในอาคาร



รูปที่ ข.28 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้ง



รูปที่ ข.29 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งโดยวางราบกับตัวพื้น



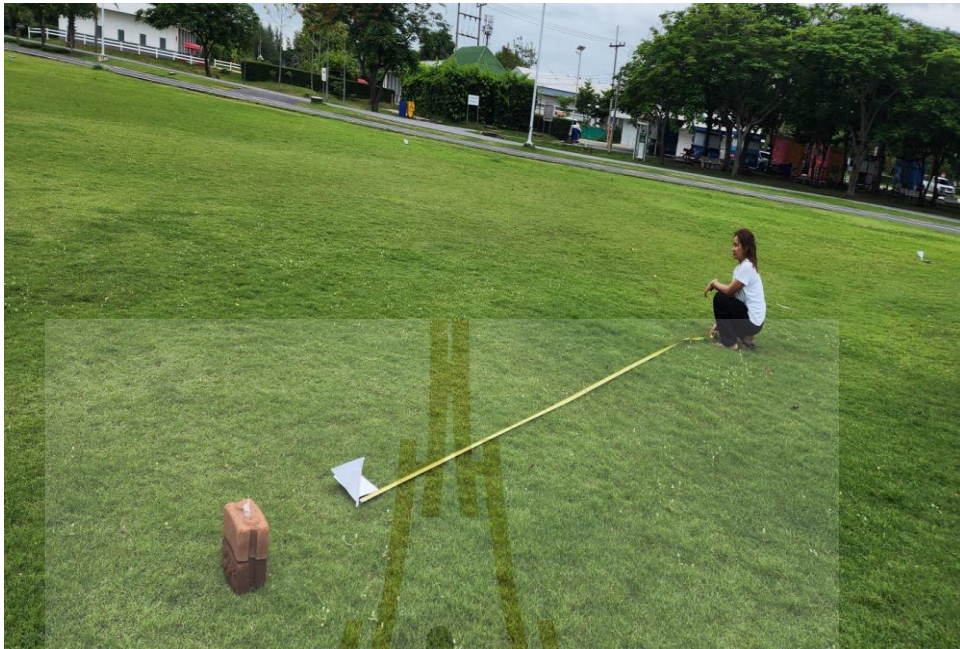
รูปที่ ข.30 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งโดยวางห่างจากตัวพื้น 1 เมตร



รูปที่ ข.31 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.32 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.33 การทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.34 จดบันทึกผลการทดสอบระบบในพื้นที่โล่งแจ้งในระยะที่แตกต่างกัน



รูปที่ ข.35 พื้นที่ทดสอบระบบภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง





ภาคผนวก ค
โปรแกรมสำหรับการใช้งาน

โปรแกรมภาษาสำหรับนำเข้าบอร์ด Heltec ESP32_WiFi_Lora V3 โดยบอร์ดมี 3 ประเภท ได้แก่ Corner Node, Moving Node, และ Receive and send to Cloud Node ซึ่งมีโปรแกรมสำหรับบอร์ดแต่ละประเภท ดังนี้

1. โปรแกรมสำหรับ Corner Node

```
#include "LoRaWAN_APP.h"
#include "Arduino.h"

// Set this unique for each corner node!
const char* cornerNodeID = "CORNER_2"; // "CORNER_1", "CORNER_2", or "CORNER_3"

#define RF_FREQUENCY 433000000 // Hz
#define TX_OUTPUT_POWER 5 // dBm
#define LORA_BANDWIDTH 0
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7
#define LORA_CODINGRATE 1
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON false
#define BUFFER_SIZE 30

char rxpacket[BUFFER_SIZE];

static RadioEvents_t RadioEvents;
void OnTxDone(void);
void OnTxTimeout(void);
void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr);

typedef enum {
    LOWPOWER,
    STATE_RX,
    STATE_TX
```

```

} States_t;

States_t state;
int16_t Rssi, rxSize;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Mcu.begin(HELTEC_BOARD, SLOW_CLK_TPYE);

  RadioEvents.TxDone = OnTxDone;
  RadioEvents.TxTimeout = OnTxTimeout;
  RadioEvents.RxDone = OnRxDone;

  Radio.Init(&RadioEvents);
  Radio.SetChannel(RF_FREQUENCY);
  Radio.SetTxConfig(MODEM_LORA, TX_OUTPUT_POWER, 0, LORA_BANDWIDTH,
    LORA_SPREADING_FACTOR, LORA_CODINGRATE, LORA_PREAMBLE_LENGTH,
    LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON, true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, 3000);

  Radio.SetRxConfig(MODEM_LORA, LORA_BANDWIDTH, LORA_SPREADING_FACTOR,
    LORA_CODINGRATE, 0, LORA_PREAMBLE_LENGTH, LORA_SYMBOL_TIMEOUT,
    LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON, 0, true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, true);

  state = STATE_TX;
}

void loop() {
  switch (state) {
  case STATE_TX:
    delay(1000); // Slight delay before send
    Serial.printf("\nSending message: \"%s\"\n", cornerNodeID);
    Radio.Send((uint8_t*)cornerNodeID, strlen(cornerNodeID));
    state = LOWPOWER;
    break;
  case STATE_RX:
    Serial.println("into RX mode");

```

```

    Radio.Rx(0);
    state = LOWPOWER;
    break;
case LOWPOWER:
    Radio.IrqProcess();
    break;
default:
    break;
}
}

void OnTxDone(void) {
    Serial.println("TX done...");
    state = STATE_RX;
}

void OnTxTimeout(void) {
    Radio.Sleep();
    Serial.println("TX Timeout...");
    state = STATE_TX;
}

void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr) {
    Rssi = rssi;
    rxSize = size;
    memcpy(rxpacket, payload, size);
    rxpacket[size] = '\0';
    Radio.Sleep();

    Serial.printf("Received packet \"%s\" with Rssi %d.\n", rxpacket, Rssi);

    if (strcmp(cornerNodeID, rxpacket) == 0) {
        Serial.println("Received request message.");
        state = STATE_TX; // Respond to request by sending again
        Serial.println("Sending response.");
    } else {

```

```

    state = STATE_RX; // Ignore messages not for this node
    Serial.println("No one request me to respond!!");
    Serial.printf("rxpacket: %s\n", rxpacket);
  }
}

```

2. โปรแกรมสำหรับ Moving Node

```

// Note: v1.1 ignore corner node2, so only data from cn1 and cn3 sent to cloud.
// v1.4 sending distance in centimeter.
// v1.5 improve distance caculation function.s

```

```

#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include <String.h>

```

```

#include <iostream>
#include <cmath>

```

```

#include <iostream>
#include <sstream>
#include <string>

```

```

String str1 = "CORNER_1";
String str2 = "CORNER_2";
String str3 = "CORNER_3";

```

```

float corner1_rssi = -168;
float corner2_rssi = -168;
float corner3_rssi = -168;

```

```

// Coordinates of the corner nodes (in meters)
float node1_x = 0.0; // Corner node 1: (0, 0)
float node1_y = 0.0;
float node2_x = 20; // Corner node 2: (20, 0)
float node2_y = 0.0;

```

```

float node3_x = 0.0; // Corner node 3: (0, 40)
float node3_y = 40;

// LoRa settings
#define RF_FREQUENCY 433000000 // Hz
#define TX_OUTPUT_POWER 20 // dBm
#define LORA_BANDWIDTH 0 // [0: 125 kHz, 1: 250 kHz, 2: 500 kHz, 3: Reserved]
#define LORA_SPREADING_FACTOR 7 // [SF7..SF12]
#define LORA_CODINGRATE 1 // [1: 4/5, 2: 4/6, 3: 4/7, 4: 4/8]
#define LORA_PREAMBLE_LENGTH 8 // Same for Tx and Rx
#define LORA_SYMBOL_TIMEOUT 0 // Symbols
#define LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON false
#define LORA_IQ_INVERSION_ON false

#define BUFFER_SIZE 30 // Define the payload size here

char txpacket[BUFFER_SIZE];
char rxpacket[BUFFER_SIZE];

float tx_power = TX_OUTPUT_POWER -45; //compensation for the incomplete wiring
between the board and antenna.
float min_rssi = -25;
float max_rssi = -90;
bool use_rssi_weighting;

// 1. Define your calibration constants (replace with your actual measured values!)
const float RSSI_AT_1M = -50; // Measure this in your setup!
const float PATH_LOSS_EXPONENT = 6.8; // Try values 2.0 - 3.5 for indoor

float dist_mvntOCn1;
float dist_mvntOCn2;
float dist_mvntOCn3;

// --- Global variables for parsing ---
// Adjust sizes based on your expected maximum lengths
char DType[16]; // e.g., "rf_uid" requires 7 + 1 for null = 8. Giving some buffer.

```

```

uint32_t W_distance = 0; //(1 byte)
uint32_t L_distance = 0; //(1 byte)
uint32_t RF_ID; //(4 bytes)
char RFID_Tag_UID[24] = "AA55C396";
uint8_t Floor_No = 0; //(1 byte)

bool lora_idle = true;

static RadioEvents_t RadioEvents;
void OnTxDone(void);
void OnTxTimeout(void);

typedef enum
{
    LOWPOWER,
    STATE_RX,
    STATE_TX
}States_t;

int16_t txNumber;
States_t state;
bool sleepMode = false;
int16_t Rssi,rxSize;

char req_msg[3][10] = {"CORNER_1"},{"CORNER_2"},{"CORNER_3"};

// Room dimensions
float roomWidth = 20;
float roomLength = 40;
float roomHeight = 2.5;
// Array to store the calculated position of the moving node
float movingNodePosition[2]; // x and y coordinates

// Positions of the corner nodes
float cornerPositions[3][3];

```

```

// Distances to each corner node
float distances[3];

// Calibration data
float knownDistances[3][3];
int maxcountdown = 10;
int countdown = maxcountdown;
int data_ready[3] = {0,0,0}; //{1,1,1} = ready to send to cloud.
int sending_msg_index = 0;

// Function to calculate distance from RSSI
// float calculate_distance_from_rssi(float rssi, float tx_power, float
PATH_LOSS_EXPONENT) {
//   return std::pow(10, (tx_power - rssi) / (10.0f * PATH_LOSS_EXPONENT));
// }
// 2. Replace your old distance calculation with:
float calculate_distance_from_rssi(float rssi) {
    return pow(10.0, (RSSI_AT_1M - rssi) / (10.0 * PATH_LOSS_EXPONENT));
}

// Function to perform 2D trilateration with RSSI considerations
void trilaterate2D_with_rssi(float* position,
    float rssi1, float rssi2, float rssi3,
    float x1, float y1, float x2, float y2, float x3, float y3,
    float tx_power, float PATH_LOSS_EXPONENT, float min_rssi, float
max_rssi,
    bool use_rssi_weighting = false) {
    // Validate RSSI values
    // if (rssi1 < min_rssi || rssi1 > max_rssi ||
    //     rssi2 < min_rssi || rssi2 > max_rssi ||
    //     rssi3 < min_rssi || rssi3 > max_rssi) {
    //     std::cerr << "Error: RSSI values are out of range.\n";
    //     position[0] = roomWidth; // Set to NaN (Not a Number) to indicate an error
    //     position[1] = roomLength;
    //     return;

```

```

// }

// Calculate distances from RSSI (using a simplified model)
// Important: This is a simplified model. In real-world scenarios,
//           the relationship between RSSI and distance is more complex
//           and affected by many factors. You might need a more sophisticated
//           propagation model.
float d1 = std::pow(10, (tx_power - rssi1) / (10.0f * PATH_LOSS_EXPONENT));
float d2 = std::pow(10, (tx_power - rssi2) / (10.0f * PATH_LOSS_EXPONENT));
float d3 = std::pow(10, (tx_power - rssi3) / (10.0f * PATH_LOSS_EXPONENT));

if (use_rssi_weighting) {
    // Example of RSSI-based weighting (can be adjusted)
    float rssi_range = max_rssi - min_rssi;
    float weight1 = 1.0f - (rssi1 - min_rssi) / rssi_range; // Higher weight for stronger
RSSI
    float weight2 = 1.0f - (rssi2 - min_rssi) / rssi_range;
    float weight3 = 1.0f - (rssi3 - min_rssi) / rssi_range;

    // Apply weights to distances. Clamping to prevent extreme values.
    d1 *= std::clamp(weight1, 0.1f, 1.0f); // Avoid distances going to zero or
becoming too large.
    d2 *= std::clamp(weight2, 0.1f, 1.0f);
    d3 *= std::clamp(weight3, 0.1f, 1.0f);
}

// Trilateration calculation (same as before)
float A = 2 * x2 - 2 * x1;
float B = 2 * y2 - 2 * y1;
float C = d1 * d1 - d2 * d2 - x1 * x1 - y1 * y1 + x2 * x2 + y2 * y2;
float D = 2 * x3 - 2 * x2;
float E = 2 * y3 - 2 * y2;
float F = d2 * d2 - d3 * d3 - x2 * x2 - y2 * y2 + x3 * x3 + y3 * y3;

float x = (C * E - F * B) / (A * E - B * D);
float y = (C * D - A * F) / (B * D - A * E);

```

```

if (std::isnan(x) || std::isnan(y)) {
    std::cerr << "Error: Trilateration failed (division by zero or invalid result).\n";
    position[0] = NAN;
    position[1] = NAN;
    return;
}

// 3. In trilateration, after computing x, y:
if (isnan(x) || isnan(y) || x < 0 || y < 0 || x > roomWidth || y > roomLength) {
    // Invalid result; clamp or skip this measurement
    x = -1;
    y = -1;
}

position[0] = x;
position[1] = y;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    Serial.printf("----- MVN setup process ----- \n");
    data_ready[0] = 0;
    data_ready[1] = 0;
    data_ready[2] = 0;
    Serial.print("data_ready: ");
    Serial.print(data_ready[0]);
    Serial.print(data_ready[1]);
    Serial.print(data_ready[2]);
    Serial.print("\n");

    Mcu.begin(HELTEC_BOARD, SLOW_CLK_TPYE);
    txNumber = 0;
}

```

```
RadioEvents.TxDone = OnTxDone;
RadioEvents.TxTimeout = OnTxTimeout;
RadioEvents.RxDone = OnRxDone;

Radio.Init(&RadioEvents);
Radio.SetChannel(RF_FREQUENCY);

Radio.SetTxConfig(MODEM_LORA, TX_OUTPUT_POWER, 0, LORA_BANDWIDTH,
                  LORA_SPREADING_FACTOR, LORA_CODINGRATE,
                  LORA_PREAMBLE_LENGTH, LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON,
                  true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, 3000);

Radio.SetRxConfig(MODEM_LORA, LORA_BANDWIDTH, LORA_SPREADING_FACTOR,
                  LORA_CODINGRATE, 0, LORA_PREAMBLE_LENGTH,
                  LORA_SYMBOL_TIMEOUT, LORA_FIX_LENGTH_PAYLOAD_ON,
                  0, true, 0, 0, LORA_IQ_INVERSION_ON, true );

state=STATE_RX;

Serial.print("LoRa ready!\n");
}

void loop() {
switch(state)
{
case STATE_TX:
    sendPing();
    state=STATE_RX;
    break;

case STATE_RX:
    // Serial.println("into RX mode");
    Radio.Rx( 0 );
    state=LOWPOWER;
```

```

    break;

case LOWPOWER:
    Radio.IrqProcess( );
    break;

default:
    break;
}

if(data_ready[0]==1&&data_ready[1]==1&&data_ready[2]==1){
    // Calculate distances
    // dist_mvntOcn1 = calculateDistance(corner1_rssi);
    // dist_mvntOcn1 = calculate_distance_from_rssi(corner1_rssi, tx_power, n);
    dist_mvntOcn1 = calculate_distance_from_rssi(corner1_rssi);

    // dist_mvntOcn2 = calculateDistance(corner2_rssi);
    dist_mvntOcn2 = calculate_distance_from_rssi(corner2_rssi);

    // dist_mvntOcn3 = calculateDistance(corner3_rssi);
    dist_mvntOcn3 = calculate_distance_from_rssi(corner3_rssi);

    Serial.printf("\r\n(rssi, dist.): ");
    Serial.printf("(%f, %f) ", corner1_rssi,dist_mvntOcn1);
    Serial.printf("(%f, %f) ", corner2_rssi,dist_mvntOcn2);
    Serial.printf("(%f, %f) ", corner3_rssi,dist_mvntOcn3);
    Serial.printf("\r\n");

    // trilaterate2D(movingNodePosition, dist_mvntOcn1, dist_mvntOcn2,
    dist_mvntOcn3, node1_x, node1_y, node2_x, node2_y, node3_x, node3_y);

    trilaterate2D_with_rssi(movingNodePosition,
        corner1_rssi, corner2_rssi, corner3_rssi,
        node1_x, node1_y, node2_x, node2_y, node3_x, node3_y,
        tx_power, PATH_LOSS_EXPONENT, min_rssi, max_rssi,

```

```

        use_rssi_weighting = false);

// W_distance = movingNodePosition[0]*100;
// L_distance = movingNodePosition[1]*100;
// 4. In your loop before sending, only send if x and y are valid:
if (movingNodePosition[0] >= 0 && movingNodePosition[1] >= 0) {
    W_distance = (uint32_t)(movingNodePosition[0] * 100.0); // cm
    L_distance = (uint32_t)(movingNodePosition[1] * 100.0); // cm
} else {
    W_distance = 0;
    L_distance = 0;
}

// Print the result
std::cout << "Estimated location (x, y): (" << movingNodePosition[0] << ", " <<
movingNodePosition[1] << ")" << std::endl;

}

delay(1000); // Adjust the delay as necessary
countdown--;
if (countdown == 0){
    state=STATE_TX;
    countdown = maxcountdown;
}
}

void sendPing() {

//Sending location to the data collection node.
bool datafilled;
datafilled = data_ready[0]==1&&data_ready[1]==1&&data_ready[2]==1;

// if(data_ready[0]==1&&data_ready[1]==1&&data_ready[2]==1){
if(datafilled){

```

```

Serial.print(data_ready[0]);
Serial.print(data_ready[1]);
Serial.print(data_ready[2]);
Serial.print(" ---> ");
Serial.print(datafilled);
Serial.printf("\r\n*****");
Serial.printf("\r\n***** Message sent to cloud: %s,%s,%d,%d,%d
*****\n","RCN", RFID_Tag_UID, Floor_No, W_distance, L_distance);
Serial.printf("*****\r\n");

sprintf(txpacket, "%s,%s,%d,%d,%d", "RCN",RFID_Tag_UID, Floor_No, W_distance,
L_distance);
Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));

data_ready[0] = 0;
data_ready[1] = 0;
data_ready[2] = 0;

corner1_rssi = -168;
corner2_rssi = -168;
corner3_rssi = -168;

delay(1000);
datafilled = false;
}
else{

// Serial.printf("\r\nMessage sent to cloud is not ready\r\n"); //Sending request
to the corner nodes one by one.
Serial.printf("\r\nSent Request Message: %s\n", req_msg[sending_msg_index]);

//Sending message via LoRa.
sprintf(txpacket, "%s", req_msg[sending_msg_index]);
Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));

```

```

    // delay(100);
    sending_msg_index++;
    if(sending_msg_index>2){sending_msg_index = 0;}

}

}

void OnTxDone(void) {
    // Serial.println("TX done.....");
    state=STATE_RX;
}

void OnTxTimeout(void) {
    Radio.Sleep();
    Serial.println("TX Timeout.....");
    state=STATE_TX;
}

void OnRxDone( uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr )
{
    Rssi = rssi;
    rxSize = size;
    memcpy(rxpacket, payload, size );
    rxpacket[size]='\0'; // Null-terminate the received packet
    Radio.Sleep(); // Put radio to sleep after reception

    // Serial.printf("Response Message: \"%s\" \r\n", rxpacket);
    Serial.printf("Response Message: \"%s\" with RSSI:%d \r\n", rxpacket,rssi);

    // Check for specific known messages first
    if (strcmp(str1.c_str(), rxpacket) == 0){
        // Serial.print("\r\nReceived message from corner node 1.\r\n");
        corner1_rssi = Rssi;
        data_ready[0] = 1;
        state = STATE_TX;
    }
}

```

```

}
else if (strcmp(str2.c_str(), rxpacket) == 0) {
    // Serial.print("\r\nReceived message from corner node 2.\n");
    corner2_rssi = Rssi;
    data_ready[1] = 1;
    state = STATE_TX;
}
else if (strcmp(str3.c_str(), rxpacket) == 0) {
    // Serial.print("\r\nReceived message from corner node 3.\n");
    corner3_rssi = Rssi;
    data_ready[2] = 1;
    state = STATE_TX;
}
else {
    // --- Begin robust 4-field parser ---
    char DST[8] = {0}, SRC[8] = {0}, DType[16] = {0};

    char *token;
    char *saveptr;
    int field = 0;

    token = strtok_r(rxpacket, ",", &saveptr);

    while (token != NULL && field < 4) {
        switch (field) {
            case 0: strncpy(DST, token, sizeof(DST)-1); break;
            case 1: strncpy(SRC, token, sizeof(SRC)-1); break;
            case 2: strncpy(DType, token, sizeof(DType)-1); break;
            case 3: strncpy(RFID_Tag_UID, token, sizeof(RFID_Tag_UID)-1); break;
        }
        token = strtok_r(NULL, ",", &saveptr);
        field++;
    }

    // --- Print and process parsed fields ---
    Serial.printf("Field1 (DST): %s\r\n", DST);

```

```

Serial.printf("Field2 (SRC): %s\r\n", SRC);
Serial.printf("Field3 (DType): %s\r\n", DType);
Serial.printf("Field4 (RFID_UID): %s\r\n", RFID_Tag_UID);

// --- Example logic based on 'DType' field ---
if (strcmp(DType, "rf_uid") == 0) {
    Serial.printf(">> Got RFID UID: %s\r\n", RFID_Tag_UID);

    //Sending message via LoRa back to the RCN.
    sprintf(txpacket, "%s,%s", "RCN", "RFIDRECEIVED");
    Radio.Send((uint8_t *)txpacket, strlen(txpacket));
    delay(100);

    // Place your logic here for when an RFID UID arrives:
    // e.g., set a variable, forward, etc.
    Floor_No = strtoul(SRC, NULL, 16);
    RF_ID = strtoul(RFID_Tag_UID, NULL, 16);
    // Serial.printf("Moving Node RF_ID = %lu (hex: 0x%lX) is on floor No. %lu\r\n",
RF_ID, RF_ID, Floor_No);
    Serial.printf("Moving Node RF_ID = %s (hex: 0x%lX) is on floor No. %lu\r\n",
RFID_Tag_UID, RF_ID, Floor_No);
} else if (DType[0] != '\0') {
    // It's a comma-separated message but not the expected DType
    Serial.printf(">> Unknown DType: %s\r\n", DType);
} else {
    // It's not a comma-separated message, just print as raw
    Serial.print("\r\nReceived non-standard message (no comma found).\r\n");
    Serial.printf("Raw message: %s\r\n", rxpacket);
}
state = STATE_RX; // Stay in receive mode after processing (or adjust as
needed)
// --- End robust 4-field parser ---
}
}

// float calculateDistance(int rssi) {

```

```

// // Implement your RSSI to distance conversion here
// float txPower = -40; // Assume a transmit power (in dBm)
// return pow(10, (txPower - rssi) / 20.0);
// }

// float calculateDistance(int rssi) {
// // Use a path loss model:  $P_r = P_t - 10 * \text{PATH\_LOSS\_EXPONENT} * \log_{10}(d/d_0)$ 
// // Where:
// //  $P_r$ : Received power (RSSI)
// //  $P_t$ : Transmitted power
// //  $\text{PATH\_LOSS\_EXPONENT}$ : Path loss exponent
// //  $d$ : Distance
// //  $d_0$ : Reference distance (usually 1 meter)

// float txPower = -30; // Transmit power (in dBm) - from LoRa setting
TX_OUTPUT_POWER
// float  $\text{PATH\_LOSS\_EXPONENT} = 5.5$ ; // Path loss exponent: This will vary in
your environment!
// float  $d_0 = 1.0$ ; // Reference distance
// float invalidDistance = std::numeric_limits<float>::quiet_NaN(); // Define a variable
for NaN

// if (rssi < -120) { // Threshold for invalid RSSI. Adjust as needed for your
hardware/environment
// // return invalidDistance; // Return NaN for invalid RSSI
// return 25;
// }

// // Rearrange to solve for d:
// //  $d = d_0 * 10^{(P_t - P_r) / (10 * n)}$ 
// float distance =  $d_0 * \text{pow}(10, (\text{txPower} - \text{rssi}) / (10 * n))$ ;
// return distance;
// }

// trilaterate2D function (Implementation)

```

```

void trilaterate2D(float* position, float d1, float d2, float d3, float x1, float y1, float
x2, float y2, float x3, float y3) {
    // These are the equations derived from the geometry of the three circles.
    // The goal is to find the intersection point (x, y).
    float A = 2 * x2 - 2 * x1;
    float B = 2 * y2 - 2 * y1;
    float C = d1 * d1 - d2 * d2 - x1 * x1 + x2 * x2 - y1 * y1 + y2 * y2;
    float D = 2 * x3 - 2 * x1;
    float E = 2 * y3 - 2 * y1;
    float F = d1 * d1 - d3 * d3 - x1 * x1 + x3 * x3 - y1 * y1 + y3 * y3;

    // The following calculations solve for x and y using a more numerically stable
    approach.
    // Rearranging and combining the equations to avoid multiple divisions can improve
    accuracy.
    // The commented-out lines represent a more direct, but potentially less stable,
    way to solve for x and y.
    // The current form reduces the number of division operations.

    // Original (less stable) approach:
    // float x = (C - F*B/E) / (A - D*B/E);
    // float y = (C - A*x) / B;

    // Numerically stable approach:
    float x = (C * E - F * B) / (E * A - B * D);
    float y = (C * D - A * F) / (B * D - A * E);
    // 3. In trilateration, after computing x, y:
    if (isnan(x) || isnan(y) || x < 0 || y < 0 || x > roomWidth || y > roomLength) {
        // Invalid result; clamp or skip this measurement
        x = -1;
        y = -1;
    }
    position[0] = x;
    position[1] = y;
}

```

3. โปรแกรมสำหรับ Receive and send to Cloud Node

```

#include "LoRaWan_APP.h"
#include "Arduino.h"
#include <WiFi.h>
#include "time.h"
#include <ESP_Google_Sheet_Client.h>
#include <GS_SDHelper.h>
#include <SPI.h>
#include <MFRC522.h>

// Wi-Fi
#define WIFI_SSID "Annmaree-Party"
#define WIFI_PASSWORD "Annmarie"

//----- GOOGLE SHEET -----//
#define PROJECT_ID "loc-datalogging"
const char spreadsheetId[] =
"12ssZhw2QGdN7AYFsbC5tJsX6pMB2HNoxVYzRY9MMcWE";
const char PRIVATE_KEY[] PROGMEM = "-----BEGIN PRIVATE KEY-----
\nMIIEvgIBADANBgkqhkiG9w0BAQEFAASCBAQwggSkAgEAAoIBAQCwYSlKPXrvuAve\n+LLP
qSpeeg5HZ5bqgN/kRZjgGi1KpBHt1Din0ipU50reKlrhzu4T0J+yQJmC9JKJ\n618PM08TZl0t
DW/+BFGEniX7iOQu34raXJkCn3+q8nBJNGKUWYo+KWFXXxfM02sN\nj1Xw/NoNCbgy7c
WSbtre/0Ax7qsFR0/90CU5GRe4E3HTVjg+rTP1l8lk4eNz3\n7D1mAcNHnaOqPYs8f+Ce
bWyxf8z+7kuaJww51MW1LG6Ypwi/RvnBFdrmfAW3NZf\n3TVOHFHXLZ5aso7cF6kJHZ
NeZOvpTRye0nTCe7hiPi0MXfWkY1Vf0CgrgW93A/y\nRiP+OLP9AgMBAAECggEAPzhI3EQ9
LPHPyPZ+F3YC8VNLvOxGE2lv55Wd9HJYBQvE\nX50Xf6hQPBMUc/rio5rZF9vw6BFi9Gpa
5xh1X521JxZhtsVJ6fiYFkf8yJcm6KU\naL9Zdo8sXCkz4H8yNl2bwFkToRaGAT5ERnTnYEG
x0fVB91w3ltPpGsF7XVQ27eP\n7yZwG27uonmJTUdbWdjNcdZmKtCCwkJCNzsMbMkOJ6
afewiDaBOARBMdXKQQHNUH\nqfYXcwmyP+0FZg/89B9M0RhGKiTMXdbcrPFUt3rC4/ly
MzidgIVsL5thylpVXtsq\nNraSjPrF7gYeRE5VkrFY9/zLRlorRDVz4afCjRDOvwKBgQDhtlPmp
Zfzn2mMlYFz\n65P1Ar0uCGF4AQUVhPwU639i5YplZmvvo86XAoRGY9lqutgwFa/T2WFI6
2m5T0Zc\nYAhphSuR5lqzTmelpNvurl+eDSHZMFR8GN3Ei83b/WHEeGFBK+6sMiw4fSNs
HZv0\nOgcsFOHZOla5rhub+fZXF/5GiwKBgQDIg7i67TGheoEv+YD+IPSnZx8qk1xor2rl\nnk
36OS32p7+5MvllvtSuOrj22NRuEjmJKeeDeZxmw0bLggiCpGAoHfnPTj0xIGLEU\nnznmlp0j
VNlyffU09nMES37LLXmrW1St7Ua6qbJyZxTPRhPxbVsY6MosBr9651yEa\n+Pn7BMsolwK

```

```

BgQCvMIN1rF4KxMtSNqLVJ6qfa7DrUOidwAwPOHBhy2AYPT0UfST\ntlzLT9HGJTL7cb3eT
OcGQ+OsSvXsHWlayDufU/uGqstaBBCVVQpVDuIG5uCQCWB6\nVn7EAJqF/usGVg70tLW
G7eRPSiigbUMc4IfqDHJfoOsWkUZ44JfBcObkwKBgQC1\nbdIheOtWZAUuhoC78M/OBNX
DbVDI/CgqEBoL4KyUrh8d2demGTSPRoNaMZVzjG3N\nW5gnRHYPbD6BO+uRpMm2XCm
rFfaWSZk47VZOmB2jplMjUHoqTIK6dCox0v2y43ET\nhSY2GueCzxG0SCR+OML14PFg/9
wggJXaH6wLXcxgwKBgAFddLeHvEVNdCAXJQCB\n0olvH2gp2tw27goB/hz9fbik8/vg78Ca
0MjTO/s9n/PkwdhA+CpxRx1+tuESkFLU\n9P7oeU78V1efSkClfA4RenUVcFEs12VWEn0sB
XLWQ5VnaH+eo8rL3WCvhN9dxt/Z\n9xMNKLYfJEC2W5GMXm75qdBX\n-----END
PRIVATE KEY-----\n";
#define CLIENT_EMAIL "loc-datalogging@loc-datalogging.iam.gserviceaccount.com"
void tokenStatusCallback(TokenInfo info);

// NTP & time
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
unsigned long epochTime;
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long timerDelay = 30000;
char formattedTime[20];

// === Pin Definitions ===
#define EXT_LED_PIN 21 // Change this to your chosen available pin
const int RCN = 2; //Floor No.
#define RFID_SS 5 // SDA
#define RFID_SCK 36
#define RFID_MOSI 35
#define RFID_MISO 34
#define RFID_RST 4

#define LORA_SS 8
#define LORA_SCK 9
#define LORA_MOSI 10
#define LORA_MISO 11
#define LORA_RST 12
#define LORA_DIO0 14
#define LORA_BAND 433000000UL

```

```

typedef enum {
    STATE_IDLE,
    STATE_RFID_READ,
    STATE_SEND_LORA,
    STATE_WAIT_LORA_DONE,
    STATE_COOLDOWN
} States_t;

States_t state = STATE_IDLE;
unsigned long cooldownStart = 0;

MFRC522 rfid(RFID_SS, RFID_RST);
char RFID_Tag_UID[24] = {0}; // for received UID (from LoRa or RFID)

#define BUFFER_SIZE 64
char txpacket[BUFFER_SIZE];
char rxpacket[BUFFER_SIZE];

static RadioEvents_t RadioEvents;

volatile bool sheetUploadPending = false;
char sheetData[BUFFER_SIZE] = {0}; // For the latest payload to upload

// Helper Prototypes
void OnTxDone(void);
void OnTxTimeout(void);
void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr);
void spi_select_rfid();
void spi_select_lora();

// LED Blink
volatile bool startCustomBlink = false;
volatile unsigned long customBlinkStart = 0;
const int blinkPattern[9] = {300,100,100,100,300,100,100,100,300}; // L S S L S S L
pattern
volatile int blinkStep = 0;

```

```

#define ONBOARD_LED 13 // Confirm this is correct for your board!

// Data fields for Google Sheet (parsed from LoRa or RFID)
uint8_t Floor_No = RCN;
uint32_t W_distance = 0;
uint32_t L_distance = 0;
uint16_t nodeType = 0;

void tokenStatusCallback(TokenInfo info) {
    if (info.status == token_status_error) {
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
        GSheet.printf("Token error: %s\n", GSheet.getTokenError(info).c_str());
    }
    else {
        GSheet.printf("Token info: type = %s, status = %s\n",
GSheet.getTokenType(info).c_str(), GSheet.getTokenStatus(info).c_str());
    }
}

unsigned long getTime() {
    time_t now;
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
        Serial.println("Failed to obtain time");
        return (0);
    }
    time(&now);
    return now;
}

void formatTimestamp(unsigned long timestamp, char *buffer, size_t bufferSize, int
timezoneOffset) {
    time_t rawTime = timestamp;

```

```

struct tm *timeinfo;
rawTime += timezoneOffset;
timeinfo = localtime(&rawTime);
if (timeinfo == NULL) {
    snprintf(buffer, bufferSize, "Invalid Time");
    return;
}
strftime(buffer, bufferSize, "%Y-%m-%d %H:%M:%S", timeinfo);
}

void setup() {
    delay(2000); // Wait 2 seconds for stability!

    Serial.begin(115200);

    pinMode(ONBOARD_LED, OUTPUT);
    digitalWrite(ONBOARD_LED, LOW);
    pinMode(EXT_LED_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(EXT_LED_PIN, LOW); // Ensure LED is OFF

    pinMode(RFID_SS, OUTPUT);    digitalWrite(RFID_SS, HIGH);
    pinMode(LORA_SS, OUTPUT);    digitalWrite(LORA_SS, HIGH);

    // WiFi
    WiFi.setAutoReconnect(true);
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    Serial.print("Connecting to Wi-Fi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        Serial.print("."); delay(1000);
    }
    Serial.println();
    Serial.print("Connected with IP: "); Serial.println(WiFi.localIP());

    // Time, Google Sheet
    // configTime(0, 0, ntpServer);

```

```

// Set NTP server
configTime(7 * 3600, 0, "pool.ntp.org");

struct tm timeinfo;
while(!getLocalTime(&timeinfo)){
  Serial.println("Waiting for NTP time sync...");
  delay(1000);
}

time_t now;
time(&now);
GSheet.setSystemTime((unsigned long)now);
GSheet.printf("ESP Google Sheet Client v%s\n\n",
ESP_GOOGLE_SHEET_CLIENT_VERSION);
GSheet.setTokenCallback(tokenStatusCallback);
GSheet.setPrereshSeconds(10 * 60);
GSheet.begin(CLIENT_EMAIL, PROJECT_ID, PRIVATE_KEY);

// RFID
spi_select_rfid();
rfid.PCD_Init();
delay(100);
byte version = rfid.PCD_ReadRegister(rfid.VersionReg);
if (version == 0x00 || version == 0xFF) {
  Serial.println("⚠ ERROR: MFRC522 not detected. Check connections and pin
soldering.");
} else {
  Serial.print("✅ MFRC522 detected. Version: 0x");
  Serial.println(version, HEX);
}

// LoRa
spi_select_lora();
RadioEvents.TxDone = OnTxDone;
RadioEvents.TxTimeout = OnTxTimeout;
RadioEvents.RxDone = OnRxDone;

```

```

Radio.Init(&RadioEvents);
Radio.SetChannel(LORA_BAND);
Radio.SetTxConfig(MODEM_LORA, 5, 0, 0, 7, 1, 8, false, true, 0, 0, false, 3000);
Radio.SetRxConfig(MODEM_LORA, 0, 7, 1, 0, 8, 0, false, 0, true, 0, 0, false, true);

state = STATE_IDLE;
Serial.println("Ready. Tap RFID card or listen for LoRa.");
spi_select_lora();
Radio.Rx(0); // Start RX mode at boot

}

void loop() {
  Radio.IrqProcess(); // Needed for LoRa callbacks

  switch (state) {
    case STATE_IDLE:
      // Switch to RFID, check for card
      spi_select_rfid();
      if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() && rfid.PICC_ReadCardSerial()) {
        state = STATE_RFID_READ;
      }
      // Always go back to LoRa RX after RFID check
      spi_select_lora();
      Radio.Rx(0);
      break;

    case STATE_RFID_READ: {
      // Build UID string
      char uid_str[16] = {0};
      for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
        sprintf(&uid_str[i * 2], "%02X", rfid.uid.uidByte[i]);
      }
      Serial.print("Card UID: "); Serial.println(uid_str);

      // Prepare LoRa message

```

```

snprintf(txpacket, sizeof(txpacket), "MVN,%d,rf_uid,%s", RCN, uid_str);

// Clean up RFID
rfid.PICC_HaltA();
rfid.PCD_AntennaOff();
digitalWrite(RFID_SS, HIGH);

state = STATE_SEND_LORA;
break;
}

case STATE_SEND_LORA:
spi_select_lora();
Serial.print("Sending via LoRa: "); Serial.println(txpacket);
Radio.Send((uint8_t*)txpacket, strlen(txpacket));
state = STATE_WAIT_LORA_DONE;
break;

case STATE_WAIT_LORA_DONE:
// Wait for OnTxDone or OnTxTimeout
break;

case STATE_COOLDOWN:
if (millis() - cooldownStart >= 2000) {
state = STATE_IDLE;
// Re-enable RFID reader
spi_select_rfid();
rfid.PCD_AntennaOn();
Serial.println("Ready for next card or LoRa.");
// Go back to LoRa RX
spi_select_lora();
Radio.Rx(0);
}
break;
}
}

```

```

if (sheetUploadPending) {
    // Parse out fields from sheetData as needed for your upload
    // For example, set RFID_Tag_UID etc. from sheetData fields here!
    // ...parse fields here...
    sendToGoogleSheet();
    sheetUploadPending = false; // Reset flag after upload
}
}

// === LoRa Callbacks ===
void OnTxDone(void) {
    Serial.println("[LoRa] TX done!");
    cooldownStart = millis();
    state = STATE_COOLDOWN;
    // After sending, go back to RX
    spi_select_lora();
    Radio.Rx(0);
}

void OnTxTimeout(void) {
    Serial.println("[LoRa] TX timeout!");
    cooldownStart = millis();
    state = STATE_COOLDOWN;
    // Also return to RX
    spi_select_lora();
    Radio.Rx(0);
}

void OnRxDone(uint8_t *payload, uint16_t size, int16_t rssi, int8_t snr) {
    if (size >= sizeof(rxpacket)) size = sizeof(rxpacket) - 1;
    memcpy(rxpacket, payload, size);
    rxpacket[size] = '\0';

    char *first_comma = strchr(rxpacket, ',');
    if (first_comma) {

```

```

size_t prefix_len = first_comma - rxpacket;
char prefix[8] = {0};
strncpy(prefix, rxpacket, prefix_len);
prefix[prefix_len] = '\0';
if (strcmp(prefix, "RCN") == 0) {
    Serial.printf("\n%s\n", rxpacket);
    char *second_field_start = first_comma + 1;
    char *second_comma = strchr(second_field_start, ',');
    size_t second_len = second_comma ? (size_t)(second_comma -
second_field_start)
: strlen(second_field_start);
    char second_field[24] = {0};
    strncpy(second_field, second_field_start, second_len);
    second_field[second_len] = '\0';

    if (strcmp(second_field, "RFIDRECEIVED") == 0) {
        // Blink LED logic if needed
        // For blinking, use:
        for (int i = 0; i < 5; ++i) {
            digitalWrite(EXT_LED_PIN, HIGH);
            delay(200); // on for 200ms
            digitalWrite(EXT_LED_PIN, LOW);
            delay(200); // off for 200ms
        }
    } else {
        // Mark for later upload in loop()
        strncpy(sheetData, rxpacket, sizeof(sheetData)-1);
        sheetData[sizeof(sheetData)-1] = '\0';
        sheetUploadPending = true;
    }
}
}
}
spi_select_lora();
Radio.Rx(0);
}
// === SPI Switch Helpers ===

```

```
void spi_select_rfid() {
    SPI.end();
    SPI.begin(RFID_SCK, RFID_MISO, RFID_MOSI, RFID_SS);
    digitalWrite(RFID_SS, LOW);
    digitalWrite(LORA_SS, HIGH);
    rfid.PCD_Init();
}

void spi_select_lora() {
    SPI.end();
    SPI.begin(LORA_SCK, LORA_MISO, LORA_MOSI, LORA_SS);
    digitalWrite(LORA_SS, LOW);
    digitalWrite(RFID_SS, HIGH);
}

void sendToGoogleSheet() {
    // Example: RCN,AA55C396,2,154,151

    // Temporary copies to hold the parsed fields
    char *token;
    char *saveptr;
    char local_packet[BUFFER_SIZE];
    strncpy(local_packet, rxpacket, BUFFER_SIZE - 1);
    local_packet[BUFFER_SIZE - 1] = '\0'; // ensure null-terminated

    // Parse the fields
    token = strtok_r(local_packet, ",", &saveptr); // Field 1: "RCN"
    token = strtok_r(NULL, ",", &saveptr); // Field 2: RFID_Tag_UID
    if (token) strncpy(RFID_Tag_UID, token, sizeof(RFID_Tag_UID) - 1);

    token = strtok_r(NULL, ",", &saveptr); // Field 3: Floor_No
    if (token) Floor_No = (uint8_t)atoi(token);

    token = strtok_r(NULL, ",", &saveptr); // Field 4: W_distance
    if (token) W_distance = (uint32_t)atoi(token);
}
```

```

token = strtok_r(NULL, ",", &saveptr); // Field 5: L_distance
if (token) L_distance = (uint32_t)atoi(token);

// Now you can use RFID_Tag_UID, Floor_No, W_distance, L_distance as before...
bool ready = GSheet.ready();
if (ready && millis() - lastTime > timerDelay) {
    lastTime = millis();

    FirebaseJson response;
    Serial.println("\nAppend spreadsheet values...");
    Serial.println("-----");
    FirebaseJson valueRange;
    epochTime = getTime();
    // formatTimestamp(epochTime, formattedTime, sizeof(formattedTime), 7*3600);
    formatTimestamp(epochTime, formattedTime, sizeof(formattedTime), 0);

    valueRange.add("majorDimension", "COLUMNS");
    valueRange.set("values/[0]/[0]", formattedTime);
    valueRange.set("values/[1]/[0]", RFID_Tag_UID);
    valueRange.set("values/[2]/[0]", Floor_No);
    valueRange.set("values/[3]/[0]", W_distance);
    valueRange.set("values/[4]/[0]", L_distance);

    bool success = GSheet.values.append(&response, spreadsheetId, "Sheet1!A1",
&valueRange);
    if (success) {
        response.toString(Serial, true);
        valueRange.clear();
    } else {
        Serial.println(GSheet.errorReason());
    }
    Serial.println();
    Serial.println(ESP.getFreeHeap());
}
}

```



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Digital Transformation in Hospitals: The Impact of RFID on Workflow and Staff Productivity

1st Annmaree Wongsungyang
School of Biomedical Innovation Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
M6300524@sut.ac.th

2nd Keerati Suluksna
School of Mechanical Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
keerati@sut.ac.th

Abstract—The integration of Radio Frequency Identification (RFID) technology into hospital workflows has proven to enhance operational efficiency and improve resource management. This study examines the impact of RFID on key hospital metrics, including tag reading rate, equipment retrieval time, inventory accuracy, and staff productivity. Results indicate that the RFID system achieved a tag reading rate of 11 tags per second, significantly reducing equipment retrieval time by 30.1%. Additionally, RFID contributed to a 24.6% reduction in stock shortages and a 14.9% decrease in overstocking, improving inventory accuracy to 98%. Furthermore, staff productivity increased by 20.8%, as healthcare professionals were able to dedicate more time to patient care due to reduced time spent on administrative tasks. These findings highlight the substantial benefits of RFID technology in streamlining hospital operations, enhancing resource management, and improving overall patient care, positioning RFID as a valuable tool for healthcare institutions seeking to optimize their workflows and operational efficiency.

Index Terms—Hospital RFID, Hospital Workflow, Digital Transformation, Healthcare

I. INTRODUCTION

The healthcare sector is witnessing a paradigm shift driven by digital transformation, with technologies such as Radio Frequency Identification (RFID) playing a crucial role in modernizing hospital operations. RFID is a wireless technology that uses electromagnetic fields to identify and track tags attached to objects, providing real-time data on various hospital resources. This capability has revolutionized hospital workflows by enabling seamless patient tracking, equipment management, and inventory monitoring. As hospitals increasingly adopt digital solutions to improve efficiency, RFID is emerging as a powerful tool to optimize healthcare delivery and operational efficiency [1] [2].

One of the most significant benefits of RFID in hospitals is its ability to streamline workflows. RFID reduces administrative burdens and minimizes delays by automating patient check-ins, medication tracking, and bed allocation. For example, RFID-enabled systems can quickly locate essential medical equipment, ensuring timely treatment

in critical situations. This capability not only improves patient outcomes, but also reduces staff workload, allowing healthcare professionals to focus more on direct patient care [3] [4].

RFID also helps to improve staff productivity by improving coordination and communication. Hospital staff can access accurate information in real-time through automated data collection and reporting, facilitating better decision-making and teamwork. RFID systems can track the movement of healthcare personnel and resources, enabling managers to allocate tasks efficiently and identify potential workflow bottlenecks. These improvements significantly improve the productivity and morale of hospital staff, ultimately leading to better patient care [5] [6].

However, despite its numerous advantages, implementing RFID in hospitals comes with challenges. Privacy and security concerns regarding sensitive patient data are critical issues that must be addressed. Additionally, the cost of deploying RFID systems and upgrading existing infrastructure can be prohibitive for some healthcare facilities. Effective strategies, including robust encryption protocols and scalable implementation plans, are necessary to overcome these hurdles and maximize the potential of RFID technology in healthcare settings [7] [8].

Looking ahead, the integration of RFID with emerging technologies such as the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) offers exciting possibilities for the healthcare industry. By combining RFID with IoT, hospitals can create interconnected systems for enhanced resource tracking and environmental monitoring. Meanwhile, AI-powered analytics can leverage RFID-generated data for predictive modeling and informed decision-making. These innovations promise to transform healthcare delivery, enabling smarter, more efficient, and patient-centric hospital operations [9] [10].

In this paper, we investigate the application of RFID technology to enhance hospital workflows, with a particular focus on equipment management, inventory control, and staff productivity. We design and conduct an experimental study in selected hospital departments to evaluate the

impact of RFID implementation on key performance indicators such as equipment retrieval time, inventory accuracy, and staff efficiency.

The paper is organized as follows: Section 2 discusses related work on Digital Transformation in Hospitals. Section 3 discusses related work on implementing RFID Technology for Enhanced Hospital Workflow. Section 4 presents the experimental design, including the objectives, methodology, equipment, and environment. Section 5 provides a detailed analysis of the results and discusses the findings in the context of operational improvements and challenges. Finally, Section 6 concludes the paper by summarizing key contributions and suggesting directions for future research, including the integration of RFID with advanced technologies such as artificial intelligence and predictive analytics.

II. DIGITAL TRANSFORMATION IN HOSPITALS

Digital transformation is revolutionizing the healthcare industry, with hospitals increasingly adopting advanced technologies to enhance operational efficiency and patient care. At the core of this transformation is the integration of digital tools such as Electronic Health Records (EHRs), telemedicine platforms, and Radio Frequency Identification (RFID) systems. These technologies streamline workflows, facilitate real-time communication, and ensure the effective management of hospital resources. For instance, RFID enables the precise tracking of medical equipment, patient movements, and inventory, reducing delays and improving overall efficiency in hospital operations. Additionally, RFID and Internet of Things (IoT) integration create smart hospital environments that support automation and data-driven decision-making, providing healthcare professionals with actionable insights to focus more on patient care and less on administrative tasks.

RFID in Hospital Operations: Existing studies highlight RFID's advantages in inventory accuracy and workflow efficiency. RFID allows for bulk reading of tags, real-time tracking, and seamless integration with automated systems, offering substantial improvements in hospital resource management. However, limitations such as tag reading distances (e.g., RC522's 2-5 cm range) and high deployment costs remain key barriers. Comparative studies with alternative technologies like QR codes are limited and need further exploration. QR technology, while cost-effective, lacks the scalability and real-time tracking capabilities required for dynamic and high-volume hospital environments.

While the adoption of digital solutions has significantly improved healthcare delivery, it also presents challenges such as data security concerns, high implementation costs, and the need for staff training. Addressing these issues requires hospitals to adopt robust cybersecurity measures, allocate adequate budgets, and invest in skill development programs for their workforce. Despite these challenges,

the benefits of digital transformation—such as improved patient outcomes, streamlined operations, and enhanced staff productivity—underscore its critical role in shaping the future of healthcare.

III. IMPLEMENTING RFID TECHNOLOGY FOR ENHANCED HOSPITAL WORKFLOW

Implementing RFID technology in hospital workflows requires a structured approach to ensure seamless integration and maximize its benefits. The process begins with identifying specific areas where RFID can address existing challenges, such as tracking patient movements, managing medical equipment, or streamlining inventory control. Hospitals should conduct a detailed needs assessment to determine the scope of RFID deployment and prioritize high-impact areas for implementation.

Once the focus areas are identified, the next step is to deploy RFID tags and readers across the hospital. For RFID tags can be attached to critical medical equipment, ensuring that items like ventilators or defibrillators are easily located when needed. For inventory management, RFID systems can track the usage and stock levels of pharmaceuticals and supplies, reducing waste and preventing stockouts as shown in algorithm 1. Integrating RFID with existing hospital information systems (HIS) is crucial for optimizing workflow. By linking RFID data with EHRs and resource management platforms, hospitals can achieve a unified view of operations. This integration enables automated alerts for equipment maintenance, reminders for medication administration, and real-time updates for staff. To ensure successful application, staff training is essential to familiarize healthcare professionals with RFID operations and data interpretation. Continuous monitoring and periodic evaluations further help hospitals refine their RFID systems and enhance their overall workflow efficiency.

Algorithm 1 RFID-Enhanced Workflow for Inventory Management

Input: Hospital departments D , tagged equipment E
Output: Updated inventory records, flagged missing items

```

1 Initialize RFID system Load hospital inventory data
2 foreach department  $d \in D$  do
3   foreach equipment  $e \in d$  do
4     Scan RFID tag of  $e$  if tag detected then
5       Update equipment location in database
6     else
7       Flag  $e$  as missing
8     end
9   end
10 end
11 Generate inventory report

```

Moreover, the RFID tag reading rate refers to the number of tags an RFID reader can accurately identify and process per second. In hospital workflows, a reading rate of 11 tags

per second is considered efficient for environments with moderate to low tag volumes. This rate ensures real-time tracking and monitoring of medical equipment, inventory, and patient-related assets without delays. An optimal tag reading rate is critical for maintaining smooth operations, as it supports accurate data collection and timely decision-making, ultimately enhancing overall hospital efficiency. The tag reading rate can be calculated as shown in equation 1:

$$R = \frac{N}{T} \quad (1)$$

where:

- R : Tag reading rate (tags/second)
- N : Number of tags read
- T : Total time taken (seconds)

IV. EXPERIMENT

A. Objective and Methodology

The objective of this experiment is to evaluate the impact of RFID technology on improving hospital workflow efficiency, with a focus on equipment management and inventory control. The study aims to quantify enhancements in operational efficiency, staff productivity, and resource utilization while addressing potential challenges associated with the implementation of RFID systems. Accurate inventory tracking is crucial for ensuring the availability of medical supplies and equipment in hospitals. Technologies such as RFID and QR tag technology, integrated with automated inventory systems, help minimize human errors and provide real-time updates. These systems, combined with regular audits, staff training, and efficient protocols, enhance inventory accuracy, reduce waste, and prevent shortages. By maintaining precise inventory levels, hospitals can improve operational efficiency and better meet patient care needs. Consequently, the probability of accurate inventory tracking can be expressed mathematically, as shown in Equation 2.

$$P_{\text{accuracy}} = 1 - P_{\text{miss}} - P_{\text{error}} \quad (2)$$

where:

- P_{accuracy} : Probability of accurate tracking
- P_{miss} : Probability of missing a tag
- P_{error} : Probability of misreading a tag

In addition, we use equation 3 calculates the percentage increase in staff productivity by comparing the time saved to the original time taken to complete tasks.

$$\text{Staff Productivity Increase (\%)} = \frac{\text{Time Saved}}{\text{Time Before}} \times 100 \quad (3)$$

A flowchart 1 is a visual representation of a process, illustrating the sequence of steps and decisions involved. In this study, the flowchart outlines the hospital workflow enhanced by the integration of RFID technology. Specifically, it demonstrates the use of the RFID RC522

module for tasks such as equipment tracking, inventory management, and resource monitoring, showcasing its role in improving operational efficiency and accuracy.

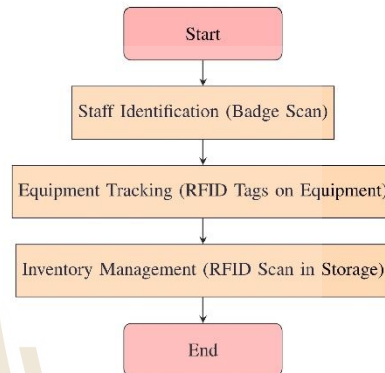


Fig. 1. Workflow for Hospital Operations Utilizing RFID RC522

B. Equipment and Environment

The experiment will use RFID RC522 readers with a proximity range of 2-5 cm, and RFID tags for medical equipment and inventory as shown in Fig.2. These components will be integrated with the hospital's information system (HIS) to ensure seamless data collection and analysis. A dedicated analytics platform will log and evaluate the data collected. The experiment will be conducted in selected hospital departments, such as the Emergency Room and Pharmacy under controlled conditions to minimize disruptions to ongoing operations. Staff training sessions will be conducted to ensure smooth handling of RFID equipment and troubleshooting of technical issues.

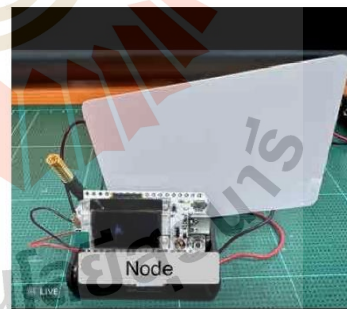


Fig. 2. A node consists of RFID tag and LoRa WiFi.

TABLE I
COMPARATIVE ANALYSIS OF RFID AND QR TECHNOLOGIES

| Feature | RFID | QR Tag |
|-------------------|----------------|----------------------|
| Cost | High | Low |
| Scalability | High | Moderate |
| Real-time Updates | Yes | No |
| Reading Distance | 2-5 cm (RC522) | Visual Line-of-Sight |

TABLE II
SUMMARY OF RFID SYSTEM IMPLEMENTATION RESULTS IN HOSPITAL WORKFLOW

| Aspect | Pre-RFID | Post-RFID | Results |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|
| RFID Tag Reading Rate | - | 11 tags per second | 11 tags per second |
| Equipment Retrieval Time | 3 mins | 2 mins | Reduced by 30.1% |
| Stock Shortages | 32 incidents/month | 24 incidents/month | 24.6% reduction in stockouts |
| Overstocking | 18% of inventory | 15.3% of inventory | 14.9% reduction in overstocking |
| Stock Accuracy | 85% | 98% accuracy rate | 15.3% Improvement |
| Staff Productivity | - | 20.8% | 20.8% increase in productivity |

TABLE III
SUMMARY OF RFID SYSTEM IMPACTS

| Aspect | Impact |
|--------------------------|---|
| RFID Tag Reading Rate | Suitable for hospital workflows with moderate to low tag volume. |
| Equipment Retrieval Time | Faster retrieval of medical equipment (under 1 minute). |
| Stock Shortages | Improved inventory management with real-time updates and alerts. |
| Overstocking | Accurate replenishment of inventory, avoiding excess stock. |
| Stock Accuracy | Improved inventory record accuracy compared to manual checks. |
| Staff Productivity | More time for patient care and less time on administrative tasks. |

C. Data Collection and Evaluation

Data collection will focus on these critical areas: equipment management and inventory control. For equipment management, data will include the time required to locate essential medical devices and the frequency of equipment unavailability incidents. For inventory control, stock levels, replenishment times, and occurrences of stockouts or overstocking will be monitored and recorded.

The effectiveness of RFID implementation will be evaluated using specific metrics. Workflow efficiency will be assessed by measuring reductions in delays related to equipment retrieval. Staff productivity improvements will be analyzed through task completion times and workload assessments. Resource utilization metrics will evaluate better management of inventory and equipment availability. User feedback, including staff and patient satisfaction with the new system, will also be collected to provide qualitative insights.

Collected data will undergo rigorous statistical analysis to identify significant differences between pre-RFID and post-RFID implementation phases. Techniques such as paired t-tests and ANOVA will be used to compare metrics, ensuring the reliability of findings. Correlation analysis will further explore the relationship between RFID usage and observed operational improvements. The results of this experiment will offer a comprehensive understanding of how RFID technology can optimize hospital workflows and serve as a foundation for broader implementation strategies.

V. RESULTS AND DISCUSSION

The implementation of the RFID system in hospital workflows led to notable improvements across several key areas, as summarized in Tables 1 through 3. Table 1 provides a comparative analysis between RFID and QR technologies, highlighting RFID's superior scalability, real-time tracking capabilities, and automation support, which make it more suitable for dynamic hospital environments. Table 2 presents experimental results, showing a 30.1% reduction in equipment retrieval time, a 24.6% decrease in stock shortages, and a 20.8% improvement in staff productivity. The enhanced inventory management is also reflected in a 14.9% reduction in overstocking and a stock accuracy increase to 98%.

Table 3 consolidates the overall impacts of the RFID system on hospital operations. The findings demonstrate significant improvements in operational efficiency, resource utilization, and staff satisfaction. The reduction in administrative tasks allowed healthcare professionals to focus more on patient care, enhancing service delivery. Despite the higher initial costs of RFID compared to QR technology, the long-term benefits, including reduced errors, faster workflows, and improved inventory management, justify the investment. These results underscore the potential of RFID technology as a transformative tool for hospital workflows, improving both efficiency and healthcare outcomes.

VI. CONCLUSIONS

The implementation of RFID technology, specifically the RFID RC522 system, has demonstrated significant improvements in hospital workflow efficiency. The system's ability to streamline operations, reduce equipment retrieval time, and enhance inventory tracking has led to a measurable increase in staff productivity and resource utilization. By reducing stock shortages and overstocking, the technology ensures that critical medical supplies and equipment are always available when needed, improving patient care and operational reliability. Additionally, the high tag reading rate of RFID RC522 supports the dynamic and fast-paced environment of hospitals, making it a cost-effective and efficient solution for modern healthcare management.

Future work will focus on addressing the challenges identified during the implementation, such as optimizing the placement of RFID readers for maximum coverage and minimizing interference in high-density areas. Further research is needed to integrate RFID systems with advanced technologies such as IoT and AI to enable predictive analytics, automate inventory replenishment, and improve decision-making processes. Expanding the system's scope to include patient tracking and medication management can further enhance hospital operations. Additionally, efforts should be made to develop comprehensive training programs for hospital staff to maximize the benefits of RFID technology while ensuring data security and compliance with healthcare regulations.

REFERENCES

- [1] Panagiota Galetsi and Korina Katsaliaki, "A review of the literature on big data analytics in healthcare," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 71, no. 10, pp. 1511–1529, 2020.
- [2] Wen Yao, Chao-Ihsien Chu, and Zang Li, "The adoption and implementation of rfid technologies in healthcare: a literature review," *Journal of medical systems*, vol. 36, pp. 3507–3525, 2012.
- [3] Yuri Álvarez López, Jacqueline Fransson, Guillermo Álvarez Narciani, Janet Pagnozzi, Ignacio González-Pinto Arrillaga, and Fernando Las-Heras Andrés, "Rfid technology for management and tracking: E-health applications," *Sensors*, vol. 18, no. 8, pp. 2663, 2018.
- [4] Chenxi Huang, Jia Wang, Shuihua Wang, and Yudong Zhang, "Internet of medical things: A systematic review," *Neurocomputing*, p. 126719, 2023.
- [5] Yilin Yang, Haocong Wang, Ruizhe Jiang, Xiaonan Guo, Jerry Cheng, and Yingying Chen, "A review of iot-enabled mobile healthcare: technologies, challenges, and future trends," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 12, pp. 9478–9502, 2022.
- [6] Syed Aziz Shah and Francesco Fioranelli, "Rf sensing technologies for assisted daily living in healthcare: A comprehensive review," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 34, no. 11, pp. 26–44, 2019.
- [7] Ahed Abugabah, Nishara Nizamuddin, and Alaa Abuqabbeh, "A review of challenges and barriers implementing rfid technology in the healthcare sector," *Procedia Computer Science*, vol. 170, pp. 1003–1010, 2020.
- [8] Yang-Yang Liu, Ying Zhang, Yuc Wu, and Man Feng, "Healthcare and fitness services: A comprehensive assessment of blockchain, iot, and edge computing in smart cities," *Journal of Grid Computing*, vol. 21, no. 4, pp. 82, 2023.
- [9] Ruby Dwivedi, Divya Mehrotra, and Shaleen Chandra, "Potential of internet of medical things (iomt) applications in building a smart healthcare system: A systematic review," *Journal of oral biology and craniofacial research*, vol. 12, no. 2, pp. 302–318, 2022.
- [10] Priyanka Mishra and Ghanshyam Singh, "Internet of medical things healthcare for sustainable smart cities: current status and future prospects," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 15, pp. 8869, 2023.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอัญญาภาณี วงศ์สูงยาง เกิดวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2536 ณ จังหวัดนครราชสีมา ได้ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ณ โรงเรียนสุรธรรมพิทักษ์ และศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในสายวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนสุนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา เข้ารับการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ณ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม จนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ของคณะแพทยศาสตร์ โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี ในปีการศึกษา 2558 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษา ได้เข้าปฏิบัติงานเป็นพนักงานมหาวิทยาลัย คณะแพทยศาสตร์ โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี ตำแหน่งพยาบาล สังกัดงานการพยาบาลผู้ป่วยผ่าตัดและคลอดบุตร ฝ่ายการพยาบาล ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ คณะแพทยศาสตร์โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2559 - 2561 จากนั้นได้เข้าร่วมโครงการแลกเปลี่ยนศึกษาภาษาและวัฒนธรรม AUPAIR IN AMERICA ใน Au Pair Extraordinaire program ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐแคลิฟอร์เนีย ด้วย J-1 VISA (Cultural Exchange Visitor) เมื่อปี พ.ศ. 2561 - 2563 จากนั้นได้เป็นพนักงานประจำ ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในตำแหน่งพยาบาลวิชาชีพ แผนกอายุรกรรม เมื่อปี พ.ศ. 2554 - 2565 ปัจจุบันทำงานที่ บริษัท เมดิซ กรุ๊ป จำกัด (มหาชน) ตำแหน่งเจ้าหน้าที่จัดเก็บตัวอย่าง จังหวัดนครปฐม

ในปีการศึกษา 2563 ได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรสาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมชีวการแพทย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) นอกจากนี้ยังมีผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ ดังปรากฏในภาคผนวก ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี