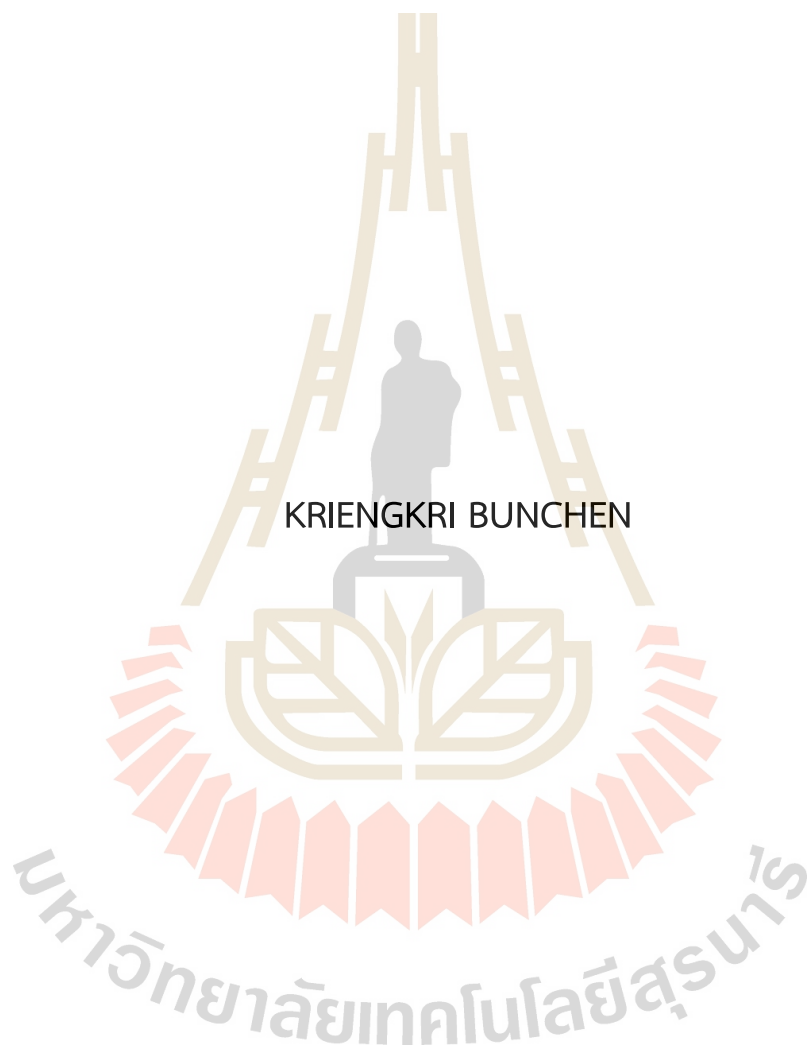


การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตามตำแหน่งเครื่องมือ
แพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์
เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2568

FINDING AN APPROPRIATE MATHEMATICAL MODEL FOR
TRACKING MEDICAL EQUIPMENT IN LARGE HOSPITALS BY
APPLYING INDOOR POSITIONING TECHNOLOGY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2025

การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ใน
โรงพยาบาลขนาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชญา ชัยปัญญา)

ประธานกรรมการ



(เรื่ออากาศเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิธิกร อันซีน)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ เวชโสวงศ์)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐวิทย์ ภูฉายา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุพาพร รักสกุลวัฒน์)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและ

ประกันคุณภาพ



(รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เกรียงไกร บุญเชนทร์ : การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตามตำแหน่ง
เครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายใน
อาคาร (FINDING AN APPROPRIATE MATHEMATICAL MODEL FOR TRACKING
MEDICAL EQUIPMENT IN LARGE HOSPITALS BY APPLYING INDOOR POSITIONING
TECHNOLOGY)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูญาญา, 73 หน้า

คำสำคัญ: การติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์, การระบุตำแหน่งภายในอาคาร, การระบุตำแหน่งด้วย
ลายนิ้วมือสัญญาณ, การระบุตำแหน่งด้วยวิธีไฮโดรเลทอเรชัน

ในยุคปัจจุบัน การติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากอุปกรณ์ทางการแพทย์มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาและการดูแลผู้ป่วย การรู้ตำแหน่งที่แน่นอนของอุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในกรณีฉุกเฉิน เช่น การใช้เครื่องกระตุ้นหัวใจ เครื่องช่วยหายใจ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นต่อชีวิตของผู้ป่วย อย่างไรก็ตาม โรงพยาบาลที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีผู้ป่วยจำนวนมาก อาจมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์เป็นประจำ ซึ่งทำให้ยากต่อการระบุตำแหน่งที่แน่นอน ระบบติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการจัดการและติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยลดเวลาในการค้นหาอุปกรณ์ และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วย การวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบติดตามตำแหน่งที่ใช้สัญญาณไร้สาย ร่วมกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อคำนวณตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสภาพแวดล้อมจริง โดยการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ทั้งหมด 7 แบบเพื่อระบุประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล ด้วยการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระบบนี้จะสามารถนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2568

ลายมือชื่อนักศึกษา.....เสกไท

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...../๒๔

KRIENGKRI BUNCHEN: FINDING AN APPROPRIATE MATHEMATICAL MODEL FOR
TRACKING MEDICAL EQUIPMENT IN LARGE HOSPITALS BY APPLYING INDOOR
POSITIONING TECHNOLOGY

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SETTAWIT POOCHAYA, Ph. D., 73 PP

Keywords: Real-time Position Tracking, Indoor Positioning, Fingerprinting, Trilateration

In today's world, tracking the location of medical devices in large hospitals has become critically important, as these devices play an essential role in patient care and treatment. Knowing the exact location of vital equipment allows staff to respond quickly and effectively in emergencies, such as accessing defibrillators, ventilators, or other life-saving devices that are crucial for patient outcomes. However, in large hospitals with extensive areas and numerous patients, medical devices are frequently relocated, making it challenging to pinpoint their exact positions. A real-time tracking system is thus a promising solution, offering an efficient means to manage and track medical equipment, which reduces search times and increases patient safety. This research focuses on developing a location tracking system that leverages wireless signals alongside optimized mathematical equations to calculate the real-time location of medical devices in actual hospital environments. Seven mathematical equations were tested to identify the best-performing one under hospital conditions. By selecting the optimal equation, the system aims to deliver fast and accurate positioning for critical medical equipment, enhancing response times and improving hospital operations.

School of Telecommunication Engineering
Academic Year 2025

Student's Signature 
Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้
ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยหลายๆ คนที่ช่วยเก็บผลการทดลองและมีส่วนร่วมดำเนินการวิจัยในหลายส่วน
โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)
2. คุณเฉลิมเกียรติ แก้วคุ้ม ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกเครื่องมือแพทย์ โรงพยาบาลเทคโนโลยีสุรนารี (ที่ปรึกษาร่วม)
3. คุณยุทธนา กระจายกลาง เจ้าหน้าที่เครื่องมือแพทย์ ประจำโรงพยาบาลเทคโนโลยีสุรนารี
4. คุณนิธิภาส แผงพิมายเจ้าหน้าที่เครื่องมือแพทย์ ประจำโรงพยาบาลเทคโนโลยีสุรนารี
5. คุณสิทธิศักดิ์ ทองศรี (นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์)

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนด้านทุนการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณสายฝน สิบพลกรัง เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

เกรียงไกร บุญเชนทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 กรอบการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 การสำรวจปริมาตรนัรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย.....	4
2.2.1 Indoor Positioning Algorithms.....	4
2.2.1.1 การระบุตำแหน่งตามทิศทาง หรือ Direction-Based Positioning.....	5
2.2.1.2 Distance-based Positioning.....	8
2.2.2 Indoor Positioning Techniques.....	22
2.2.2.1 Triangulation.....	23
2.2.2.2 Trilateration.....	24
2.2.2.3 Proximity.....	25
2.2.2.4 Scene Analysis.....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.5 Fingerprint.....	25
2.2.2.6 Pedestrian Dead Reckoning (PDR).....	26
2.2.3 การวัดระยะทางโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณ.....	27
2.2.4 การสูญเสียเส้นทาง (Penetration Path Loss).....	28
2.2.5 ความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator, RSSI).....	29
2.2.6 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN,WLAN, Wi-Fi).....	30
2.2.7 Internet of Things (IoT).....	30
2.2.8 แนวคิด Internet of Things (IoT).....	31
2.3 มาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้อง.....	32
2.3.1 มาตรฐานความเร็วของระบบเครือข่ายไร้สาย (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE).....	33
2.3.1.1 มาตรฐาน IEEE802.11a.....	32
2.3.1.2 มาตรฐาน IEEE802.11b.....	32
2.3.1.3 มาตรฐาน IEEE802.11g.....	32
2.3.1.4 มาตรฐาน IEEE 802.11n.....	33
2.3.1.5 มาตรฐาน IEEE 802.11ax.....	33
2.3.2 มาตรฐาน ISO 13485 ระบบบริหารคุณภาพสำหรับอุปกรณ์การแพทย์.....	34
2.3.3 ISO/IEC 80001 การบริหารความเสี่ยงสำหรับระบบ IT ในโรงพยาบาล.....	34
2.3.4 IEC 60601 ความปลอดภัยของอุปกรณ์ทางการแพทย์.....	35
3 การออกแบบระบบ.....	38
3.1 กล่าวนำ.....	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	38
3.2.1 WeMos D1 Mini.....	38
3.2.2 บอร์ดโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 18650.....	38
3.2.3 แบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออน.....	39
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	40
3.3.1 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการทดสอบ.....	40
3.3.2 การเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมโรงพยาบาล.....	43
3.3.3 การคำนวณระยะทางจากค่า RSSI โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	42
3.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	42
3.3.4.1 การเตรียมข้อมูล.....	42
3.3.4.2 การคำนวณค่าเฉลี่ย.....	42
3.3.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	44
3.3.4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	44
3.3.4.5 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด.....	43
3.3.5 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและทดสอบในสถานการณ์จริง.....	43
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	45
4.1 กล่าวนำ.....	45
4.2 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	45
4.2.1 นำกล่องอุปกรณ์วัดค่าความแรงของสัญญาณ RSSI มาติดตั้งและทดลองใช้งาน.....	45
4.2.2 ลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบ.....	45
4.3 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ด้วยการประยุกต์เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	47
4.5 การประมาณระยะเวลาการใช้งานของชุดอุปกรณ์.....	47
4.5.1 สูตรพื้นฐานในการคำนวณ.....	47
4.6 การทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์.....	49
4.6.1 การแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ใน WebApplication.....	51
4.7 Maximum Permissible Error (MPE Profile).....	52
4.7.1 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4).....	52
4.7.2 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7).....	54
4.7.3 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10).....	56
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	58
5.1สรุปผลการวิจัย.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก บทความวิจัยระดับนานาชาติที่ได้รับการตีพิมพ์.....	62
ประวัติผู้เขียน.....	73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 Summary of Techniques in Indoor Positioning.....	26
ตารางที่ 2.2 Path Loss Exponent.....	27
ตารางที่ 2.3 ตารางการสูญเสียพลังงานในวัตถุต่าง ๆ.....	28
ตารางที่ 2.4 มาตรฐาน 802.11.....	33
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบโมเดลที่ 2 และ 4 และแต่ละสภาพแวดล้อม.....	49
ตารางที่ 4.2 มาตรฐาน 802.11 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4 แบบ Fingerprinting.....	53
ตารางที่ 4.3 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4) แบบ Trilateration.....	53
ตารางที่ 4.4 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7) แบบ Fingerprinting.....	54
ตารางที่ 4.5 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7) แบบ Trilateration.....	55
ตารางที่ 4.6 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10)แบบ Fingerprinting.....	56
ตารางที่ 4.7 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10) แบบ Trilateration.....	56

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Angle of Arrival.....	6
รูปที่ 2.2 Angle Difference of Arrival.....	8
รูปที่ 2.3 เทคนิคการระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	22
รูปที่ 2.4 การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิค Triangulation.....	23
รูปที่ 2.5 การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิค Trilateration.....	24
รูปที่ 2.6 fingerprinting technique.....	26
รูปที่ 2.7 ระดับความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะห่าง.....	30
รูปที่ 2.8 ระดับความแรงของสัญญาณ.....	30
รูปที่ 2.9 General framework for an Internet of Things (IoT).....	32
รูปที่ 3.1 WeMos D1 mini NodeMCU WIFI ESP8266.....	38
รูปที่ 3.2 บอร์ดโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 18650.....	39
รูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 16340.....	40
รูปที่ 4.1 กล้องอุปกรณ์วัดค่าความแรงของสัญญาณ และการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งที่เครื่องมือแพทย์.....	45
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ต้นแบบ.....	45
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	46
รูปที่ 4.4 แผนที่และตำแหน่งการติดตั้ง Access Point ภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	50
รูปที่ 4.5 ค้นหาเครื่องมือแพทย์ผ่าน Web Application.....	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน โรงพยาบาลขนาดใหญ่เต็มไปด้วยเครื่องมือทางการแพทย์ที่หลากหลายประเภท ซึ่งจำเป็นต่อการรักษาและช่วยเหลือผู้ป่วยในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การตรวจวินิจฉัยไปจนถึงการให้การรักษา แต่เนื่องจากขนาดของโรงพยาบาลที่กว้างใหญ่และปริมาณของอุปกรณ์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก การติดตามตำแหน่งและค้นหาอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานในช่วงเวลาที่เร่งด่วนจึงเป็นเรื่องที่ทำนายและใช้เวลามากขึ้น ปัญหาที่พบในหลายโรงพยาบาลคือ เมื่อมีความต้องการใช้อุปกรณ์เฉพาะ เช่น เครื่องช่วยหายใจ, เครื่องวัดความดัน หรืออุปกรณ์ในการรักษาฉุกเฉิน บุคลากรทางการแพทย์อาจต้องเสียเวลาหลายนาทีในการค้นหาอุปกรณ์ที่กระจายอยู่ตามแผนกต่างๆ ภายในโรงพยาบาล ซึ่งอาจส่งผลให้กระบวนการรักษาล่าช้าไป และในบางกรณี ความล่าช้านี้อาจทำให้ผู้ป่วยอยู่ในภาวะเสี่ยง นอกจากนี้ โรงพยาบาลยังต้องเผชิญกับปัญหาการสูญหายของอุปกรณ์หรือการใช้งานไม่ถูกต้อง เนื่องจากการจัดการอุปกรณ์ที่ไม่เป็นระบบ ปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในการจัดซื้ออุปกรณ์ใหม่เพื่อทดแทนของที่สูญหาย และอาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอุปกรณ์ในช่วงเวลาที่สำคัญ ดังนั้น การนำระบบระบุตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning System: IPS) เข้ามาช่วยในการจัดการและติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง การใช้เทคโนโลยีการคำนวณระยะทางโดยอิงจาก RSSI (Received Signal Strength Indicator) รวมถึงเทคนิคการประมวลผลตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration และ Fingerprinting จะสามารถช่วยให้การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้มีความสำคัญในการพัฒนาและทดสอบอัลกอริธึมที่สามารถใช้งานได้จริงในโรงพยาบาล โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางหรืออุปกรณ์มากมายที่อาจส่งผลต่อสัญญาณการรับส่งข้อมูล การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 7 แบบที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบอย่างละเอียด จะช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งอุปกรณ์ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น และส่งเสริมให้การจัดการอุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นไปอย่างเป็นระบบ ลดระยะเวลาในการค้นหา และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ในระยะยาว การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้อย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดการอุปกรณ์ ลดความสูญเสียจากการสูญหายของอุปกรณ์ และยกระดับคุณภาพการดูแลผู้ป่วย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อทั้งโรงพยาบาลและผู้ป่วยอย่างมหาศาล

1.1.1 ผลกระทบจากการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาด

1.1.1.1 การสูญหายของเครื่องมือแพทย์

การสูญหายของเครื่องมือแพทย์ภายในโรงพยาบาลสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไม่สามารถติดตามหรือระบุได้ว่าเครื่องมือเหล่านั้นอยู่ที่ไหน ซึ่งอาจเกิดจากการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาด หรือจากการที่ไม่มีระบบที่สามารถติดตามได้ทันที การสูญหายของเครื่องมือแพทย์สำคัญ เช่น เครื่องช่วยหายใจ, เครื่องวัดความดันโลหิต หรือเครื่องมือผ่าตัด อาจส่งผลกระทบต่อการให้บริการทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงอาจทำให้เกิดการชะลอการรักษาผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะวิกฤต การระบุตำแหน่งที่แม่นยำสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากการสูญหายและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเครื่องมือแพทย์ได้อย่างรวดเร็ว

กรณีที่เครื่องมือแพทย์หายไปหรือไม่สามารถหาตำแหน่งได้ในเวลาที่สำคัญ อาจทำให้เกิดความล่าช้าในการให้การรักษา อุปกรณ์บางประเภทอาจมีความสำคัญต่อชีวิต เช่น เครื่องช่วยหายใจในห้อง ICU ถ้าอุปกรณ์เหล่านี้สูญหายหรือไม่สามารถติดตามได้ทันที อาจทำให้ผู้ป่วยในสภาวะวิกฤตไม่ได้รับการช่วยเหลืออย่างทันเวลาที่ ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์การรักษา

1.1.1.2 การบริหารจัดการทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่า

การระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดอาจส่งผลต่อการบริหารจัดการทรัพยากรในโรงพยาบาล เช่น การไม่สามารถรู้ได้ว่าอุปกรณ์ทางการแพทย์ถูกใช้ที่ไหน หรือการจัดห้องและการจัดสรรพื้นที่ไม่เหมาะสม การที่บุคลากรและอุปกรณ์ไม่ได้รับการจัดสรรอย่างมีประสิทธิภาพ อาจทำให้ทรัพยากรถูกใช้งานอย่างไม่คุ้มค่าและเพิ่มค่าใช้จ่ายให้กับโรงพยาบาล ตัวอย่างเช่น การที่อุปกรณ์บางอย่างถูกใช้ในสถานที่ที่ไม่จำเป็น หรือการที่พยาบาลต้องเดินทางไปยังพื้นที่ที่ไม่มีความจำเป็น ซึ่งทำให้เสียเวลาและลดประสิทธิภาพในการทำงาน

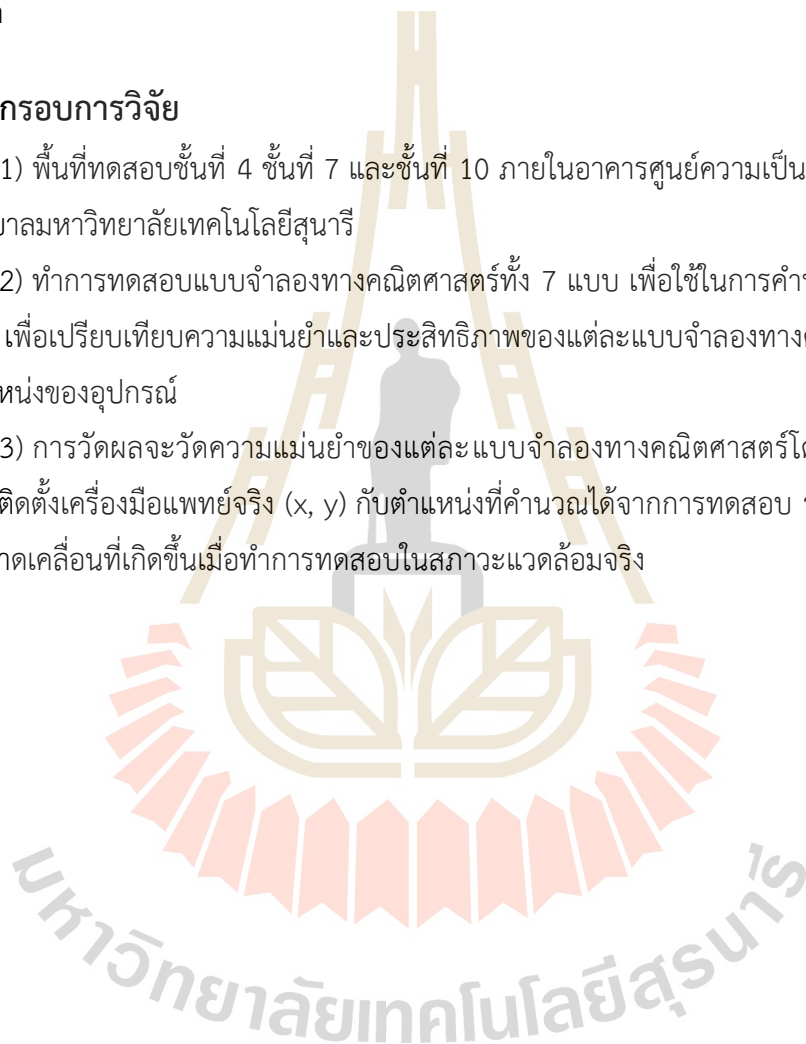
หากไม่สามารถติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์และบุคลากรได้อย่างแม่นยำ อาจทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า เช่น บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางอาจถูกส่งไปยังพื้นที่ที่ไม่จำเป็น การไม่สามารถจัดสรรพื้นที่การทำงานให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ หรือการไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนย้ายเครื่องมือทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งหมดนี้จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการโรงพยาบาลสูงขึ้น และยังทำให้ไม่สามารถให้บริการทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อค้นหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการติดตามตำแหน่งของเครื่องมือแพทย์โดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
- 2) เพื่อพัฒนา Dashboard ตำแหน่งเครื่องมือแพทย์สำหรับเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังเครื่องมือแพทย์ในการค้นหาเครื่องเพื่อนำกลับมาตรวจสอบภายในศูนย์ pool service ให้พร้อมตามระยะเวลาที่กำหนด

1.3 กรอบการวิจัย

- 1) พื้นที่ทดสอบชั้นที่ 4 ชั้นที่ 7 และชั้นที่ 10 ภายในอาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 2) ทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 7 แบบ เพื่อใช้ในการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์
- 3) การวัดผลจะวัดความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเปรียบเทียบค่าตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือแพทย์จริง (x, y) กับตำแหน่งที่คำนวณได้จากการทดสอบ รวมถึงวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริง



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิจัยในด้านการติดตามตำแหน่ง หรือที่เรียกว่า Indoor Positioning System (IPS) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีความสำคัญในการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา เช่น การดูแลสุขภาพ การจัดการทรัพยากรในองค์กร การช่วยเหลือในอุตสาหกรรมขนส่ง และการให้บริการที่เกี่ยวข้องกับความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน เช่น การติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล หรือการติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ต่าง ๆ ภายในสถานพยาบาล การใช้เทคโนโลยีในการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ที่มีการปิดหรือขัดจำกัดในการรับสัญญาณจาก GPS นั้นจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายและสำคัญยิ่ง

ในบทนี้จะนำเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ Indoor Positioning System รวมถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการติดตามตำแหน่งภายในอาคาร โดยจะศึกษาเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), Ultra-Wideband (UWB), RFID, และ Inertial Measurement Units (IMU) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบ IPS ภายในอาคาร รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในโรงพยาบาลที่ต้องการความแม่นยำและการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ระบบ IPS ในโรงพยาบาลไม่เพียงแต่ช่วยในการติดตามอุปกรณ์และผู้ป่วย แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการให้บริการทางการแพทย์ด้วย

การศึกษาลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะช่วยให้เราเข้าใจถึงวิธีการต่าง ๆ ในการพัฒนาระบบ IPS และสามารถเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบที่มีประสิทธิภาพและตอบโจทย์ความต้องการของโรงพยาบาลได้อย่างเหมาะสม

2.2 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

2.2.1 Indoor Positioning Algorithms

เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุหรือบุคคลภายในพื้นที่ปิด เช่น ภายในอาคาร หรือในสถานที่ที่ไม่สามารถใช้เทคโนโลยี GPS ได้ เทคโนโลยีนี้มีความสำคัญในหลายๆ ด้าน เช่น การติดตามเครื่องมือทางการแพทย์ในโรงพยาบาล การติดตามพนักงานในพื้นที่อุตสาหกรรม หรือการติดตามผู้ใช้งานภายในอาคารขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า หรือศูนย์การประชุม

การระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถช่วยในการเพิ่มความปลอดภัย การจัดการทรัพยากร การให้บริการลูกค้า และการติดตามพัสดุหรือเครื่องมือในระบบการจัดการโลจิสติกส์ใน

โรงงานหรือคลังสินค้า เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถใช้ในหลายๆ สถานการณ์ เช่น การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาล เพื่อลดการสูญหาย การเพิ่มความเร็วในการให้บริการ การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่ หรือแม้กระทั่งการสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้ในห้างสรรพสินค้าและศูนย์การค้า

2.2.1.1 การระบุตำแหน่งตามทิศทาง หรือ Direction-Based Positioning

เป็นเทคนิคในการระบุตำแหน่งที่เน้นการวัดมุมหรือทิศทางระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการค้นหา กับแหล่งส่งสัญญาณที่อยู่ในพื้นที่นั้น การระบุตำแหน่งแบบนี้เหมาะสมกับการใช้งานภายในอาคารที่มีการติดตั้งจุดรับ-ส่งสัญญาณต่าง ๆ เช่น ระบบ Wi-Fi, Bluetooth, หรือ RFID โดยเฉพาะในกรณีที่สิ่งแวดล้อมมีสิ่งกีดขวางน้อยและทิศทางการส่งสัญญาณไม่ถูกบดบังมากนักจนเกินไป วิธีการวัดทิศทางมักจะใช้เทคโนโลยีที่สามารถตรวจจับมุมที่สัญญาณเดินทางเข้ามาได้ (Angle of Arrival หรือ AoA) โดยตัวรับสัญญาณจะวัดมุมของคลื่นวิทยุที่เดินทางมาถึงจากแต่ละจุด เช่น การใช้ระบบ Bluetooth Low Energy (BLE) หรือ Ultra-Wideband (UWB) ที่สามารถวัดมุมได้อย่างแม่นยำเพียงพอ การวัดมุม AoA จะทำงานร่วมกับสายอากาศแบบพิเศษที่ออกแบบมาให้รับสัญญาณได้จากหลายทิศทาง โดยอุปกรณ์จะเปรียบเทียบเฟสหรือระยะเวลาการเดินทางของสัญญาณในแต่ละมุม ทำให้สามารถระบุมุมที่สัญญาณเดินทางเข้ามาได้อย่างแม่นยำ ซึ่งช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ได้แม้ในกรณีที่มีจุดสัญญาณเพียง 1-2 จุด

ในบางระบบยังใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Directional Antenna หรือสายอากาศที่สามารถระบุทิศทางได้โดยตรง ซึ่งสายอากาศแบบนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถควบคุมให้รับสัญญาณจากทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างเจาะจง ช่วยลดสัญญาณรบกวนที่มาจากทิศทางอื่น การใช้สายอากาศแบบนี้สามารถช่วยให้ระบบระบุตำแหน่งตามทิศทางได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

แม้การระบุตำแหน่งตามทิศทางจะมีข้อดีในด้านความแม่นยำสูง แต่ก็มีข้อจำกัดเช่นกัน การทำงานของระบบมักจะถูกรบกวนได้ง่ายเมื่อมีสิ่งกีดขวางหรือมีผนังหนาในเส้นทางการส่งสัญญาณ นอกจากนี้ ยังต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับทิศทางได้ในแต่ละจุดซึ่งอาจเพิ่มต้นทุนในการติดตั้ง

1) AOA (Angle of Arrival)

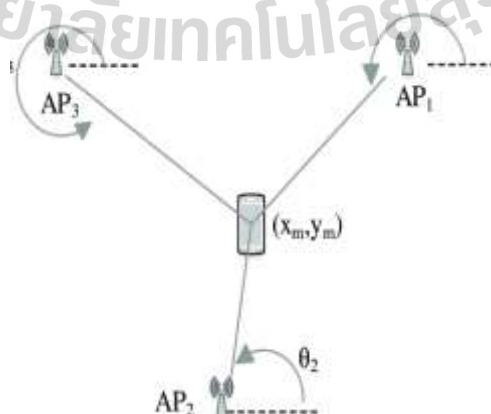
AOA หรือ Angle of Arrival เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งโดยการวัดมุมที่สัญญาณเดินทางมาถึงอุปกรณ์รับสัญญาณ (เช่น ตัวรับสัญญาณในระบบ Wi-Fi, Bluetooth, Ultra-Wideband) โดยหลักการของ AOA คือการคำนวณทิศทางที่สัญญาณส่งเข้ามายัง

ตัวรับ ซึ่งช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งส่งสัญญาณได้แม่นยำขึ้น เทคโนโลยี AOA นี้มีบทบาทสำคัญในระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

หลักการทำงานของ AOA เริ่มจากการที่ตัวรับสัญญาณได้รับคลื่นวิทยุจากอุปกรณ์ที่ต้องการระบุตำแหน่ง ตัวรับจะประกอบไปด้วยสายอากาศหลายตัวที่มีการวางตำแหน่งห่างกันอย่างเป็นระเบียบ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศแต่ละตัวพร้อมกัน (หรือมีความแตกต่างเล็กน้อย) ระบบจะสามารถวัดระยะเวลาหรือเฟสที่แตกต่างกันของสัญญาณที่เข้ามาแต่ละสายอากาศได้ ซึ่งข้อมูลนี้จะนำมาใช้คำนวณมุมการเดินทางของสัญญาณ โดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ของการเดินทางของคลื่นวิทยุ เมื่อทราบมุมของสัญญาณจากสายอากาศตัวต่าง ๆ แล้ว ระบบจะสามารถคำนวณทิศทางหรือมุมที่สัญญาณเดินทางเข้ามา และจากนั้นจะใช้ข้อมูลนี้ในการคำนวณหาตำแหน่งของอุปกรณ์ต้นทางได้อย่างแม่นยำ

การใช้ AOA มีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะทางเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีที่ใช้ระยะทางในการวัดเพียงอย่างเดียว เช่น RSSI หรือ Time of Flight (ToF) นอกจากนี้ การใช้เทคนิค AOA ยังเหมาะสำหรับการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณสะท้อนหรือการกระจายตัวของคลื่น (Multipath) เนื่องจากสามารถจำแนกมุมของสัญญาณหลักได้แม้ว่าจะมีสัญญาณสะท้อนเข้ามาเพิ่ม ในทางปฏิบัติ การใช้งาน AOA มักจะรวมกับเทคโนโลยีสายอากาศแบบพิเศษที่เรียกว่า Phased Array Antenna ซึ่งสายอากาศประเภทนี้สามารถรับสัญญาณจากหลายทิศทางพร้อมกันและทำการประมวลผลเพื่อหามุมของสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งเทคโนโลยีนี้ยังทำให้การประมวลผลมีความแม่นยำสูง ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการติดตามตำแหน่งภายในอาคารที่ต้องการข้อมูลตำแหน่งที่ละเอียดและรวดเร็ว

ข้อจำกัดของ AOA คือระบบมักจะมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้สายอากาศที่มีความแม่นยำสูงและระบบการคำนวณที่ซับซ้อน อีกทั้งในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางหรือสัญญาณถูกรบกวน อาจส่งผลให้การวัดมุมมีความคลาดเคลื่อนและทำให้ตำแหน่งที่คำนวณได้นั้นมีความไม่แน่นอน



รูปที่ 2.1 Angle of Arrival

(ที่มา: A. Ahmed and M. Hassan, “Localization based on angle of arrival (AoA) measurement,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2019)

2) ADoA (Angle Difference of Arrival)

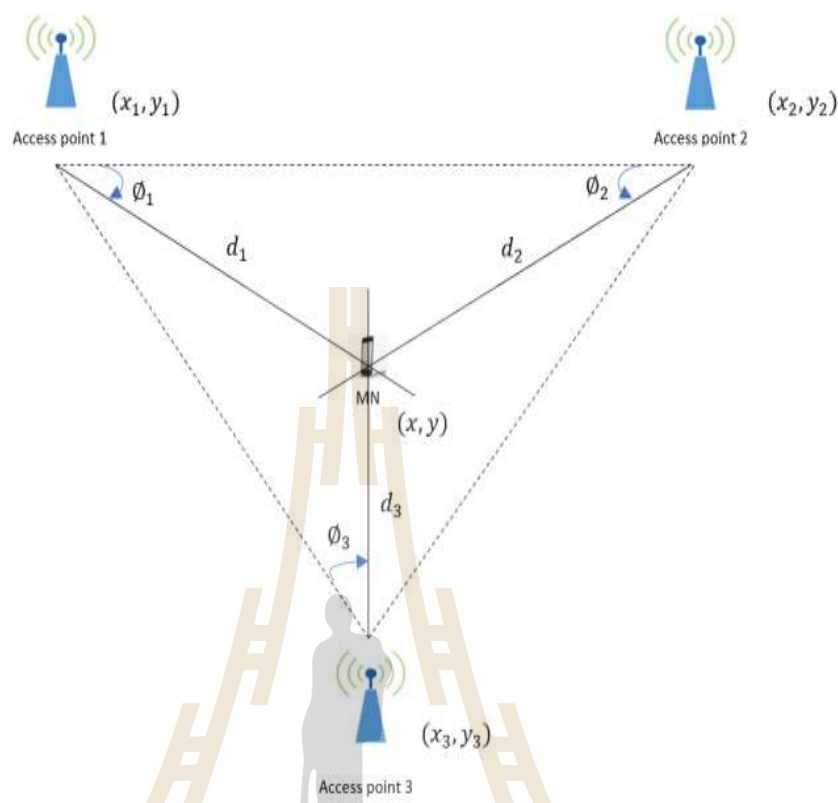
ADoA หรือ Angle Difference of Arrival เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการวัดความแตกต่างของมุมที่สัญญาณเดินทางมาถึงจากแหล่งกำเนิด (Source) ไปยังตัวรับหลายจุด เทคนิคนี้แตกต่างจาก AOA (Angle of Arrival) ซึ่งเป็นการวัดมุมที่สัญญาณมาถึงเพียงตัวรับเดียว ในขณะที่ ADoA ใช้การวัดมุมของสัญญาณที่เดินทางมาถึงสองตัวรับหรือมากกว่า เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่า การใช้ ADoA ช่วยลดปัญหาความคลาดเคลื่อนจากการที่สัญญาณถูกสะท้อนหรือรบกวนภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางหลายชั้น

หลักการของ ADoA คือการตรวจสอบและวิเคราะห์ทิศทางที่สัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศหลายตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ในตัวรับสัญญาณ ระบบจะวัดมุมที่สัญญาณมาถึงแต่ละสายอากาศซึ่งตั้งห่างกันในระยะที่คำนวณได้ เมื่อทราบความแตกต่างระหว่างมุมของสัญญาณที่เข้ามาที่แต่ละตำแหน่ง ระบบจะสามารถคำนวณตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้โดยละเอียด การวัดมุมแตกต่างเหล่านี้ทำให้สามารถสร้างเส้นที่มีทิศทางมาบรรจบกัน ซึ่งเป็นจุดที่แหล่งกำเนิดสัญญาณตั้งอยู่จริง

การประยุกต์ใช้ ADoA (Angle Difference of Arrival) มีความหลากหลายในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น การติดตามอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานในพื้นที่จำกัด เช่น โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า หรือสนามบิน โดยเทคนิคนี้วัดความแตกต่างของมุมที่สัญญาณมาถึงหลายตัวรับ ทำให้สามารถระบุทิศทางของแหล่งกำเนิดสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณสะท้อนหลายเส้นทาง จึงช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดผลกระทบจากการสะท้อนของสัญญาณ

ข้อดีของ ADoA เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น เช่น RSSI คือการที่ไม่ต้องพึ่งพาความแรงของสัญญาณโดยตรง แต่พึ่งพามุมที่สัญญาณมาถึงจากหลายตำแหน่งแทน การใช้ ADoA ทำให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำสูงขึ้นโดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีการสะท้อนและการกระจายตัวของสัญญาณ อีกทั้ง ADoA ยังสามารถให้ข้อมูลการติดตามตำแหน่งที่แม่นยำกว่าในกรณีที่ตัวรับสัญญาณมีความละเอียดสูง

ข้อจำกัดของ ADoA คือการติดตั้งสายอากาศหลายตำแหน่งที่ต้องมีระยะห่างที่คำนวณได้อย่างแม่นยำ และต้องการระบบการคำนวณที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลมุมที่ต่างกันไปเพื่อคำนวณตำแหน่งของสัญญาณ การใช้งานในสถานที่จริงยังต้องการการตั้งค่าและการสอบเทียบระบบอย่างดีเพื่อให้ได้ค่ามุมที่แม่นยำ



รูปที่ 2.2 Angle Difference of Arrival

(ที่มา: F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, "AoA based localization," *A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies*, ResearchGate, 2017.)

2.2.1.2 Distance-based Positioning

การหาตำแหน่งโดยอาศัยระยะทาง คือเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์หรือวัตถุในระบบเครือข่ายหรือพื้นที่โดยอาศัยการคำนวณระยะทางระหว่างจุดที่ต้องการหาตำแหน่งกับจุดที่มีการกำหนดตำแหน่งแล้ว เช่น จุดฐาน (Base Station) หรือ Access Point (AP) ซึ่งสามารถใช้ได้ในหลายๆ ระบบ เช่น ระบบ Wi-Fi, GPS และการติดตามในอาคารหรือพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน GPS เทคนิคการหาตำแหน่งโดยใช้ระยะทางนี้มักจะใช้ในระบบที่ไม่สามารถใช้เทคนิคการติดตามด้วยการระบุตำแหน่งโดยตรง (เช่น GPS) ได้ และมักใช้ค่าความแรงของสัญญาณหรือการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่อ้างอิงจากระยะทางเพื่อกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์หรือวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ

การหาตำแหน่งโดยอาศัยระยะทางสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปแล้วจะใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระยะทางระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่งกับจุดที่รู้ตำแหน่งแน่นอนและคำนวณตำแหน่งโดยอ้างอิงจากข้อมูลดังกล่าว วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ Trilateration, Time

of Arrival (TOA), RSSI ซึ่งแต่ละวิธีจะมีหลักการทำงานที่แตกต่างกัน แต่ทั้งหมดล้วนมีจุดประสงค์เดียวกันคือการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์หรือวัตถุจากระยะทางที่วัดได้ Trilateration คือเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งโดยการคำนวณระยะทางจากจุดฐานหรือ Access Point อย่างน้อยสามจุด โดยการใช้ระยะทางจากจุดเหล่านั้นเพื่อคำนวณตำแหน่งที่ไม่รู้ จากนั้นก็จะใช้สมการที่เกี่ยวข้องกับวงกลม (ในกรณีที่คำนวณในสองมิติ) หรือวงกลมสามมิติ (ในกรณีที่คำนวณในสามมิติ) เพื่อหาจุดที่ตั้งอยู่ภายในวงกลมที่ได้จากการคำนวณระยะทางเหล่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ Time of Arrival (TOA) ซึ่งหมายถึงการคำนวณจากระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากจุดส่งไปยังจุดรับ โดยจะใช้ความเร็วของสัญญาณเพื่อคำนวณระยะทางที่เกิดขึ้นจากเวลาในการเดินทาง การคำนวณวิธีนี้จะต้องมีการวัดเวลาที่แม่นยำในการส่งและรับสัญญาณจากจุดต่างๆ อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีนี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น การหน่วงเวลาของสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณได้

อีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในระยะทางแบบนี้คือ RSSI ซึ่งอาศัยการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ส่งมาจากจุดฐานหรือ Access Point โดยที่สัญญาณที่มีความแรงสูงจะหมายถึงระยะทางที่สั้นและสัญญาณที่มีความแรงต่ำจะหมายถึงระยะทางที่ยาว วิธีนี้อาจจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถวัดเวลาการเดินทางของสัญญาณได้อย่างแม่นยำ แต่ยังสามารถใช้ค่าความแรงของสัญญาณเพื่อประมาณการระยะทางได้แม้ว่าความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น อุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางในพื้นที่ที่มีการใช้งาน ซึ่งอาจทำให้ค่าความแรงของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงได้ การใช้เทคนิคเหล่านี้ในระบบเครือข่ายหรือในระบบที่ต้องการการหาตำแหน่งภายในพื้นที่ที่จำกัดหรือไม่สามารถใช้งาน GPS ได้ เป็นวิธีที่มีความนิยมและสามารถใช้งานได้ในหลายๆ สถานการณ์ เช่น การติดตามอุปกรณ์ภายในอาคารหรือการระบุตำแหน่งของผู้ใช้ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดจากสัญญาณ GPS อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีการเหล่านี้ยังคงต้องคำนึงถึงความแม่นยำในการคำนวณ เนื่องจากการวัดระยะทางหรือการวัดสัญญาณอาจมีข้อผิดพลาดหรือการรบกวนจากปัจจัยภายนอกต่างๆ ที่อาจทำให้ผลลัพธ์ไม่แม่นยำเท่าที่ควร

ในด้านของข้อดี การหาตำแหน่งโดยอาศัยระยะทางมีข้อดีคือสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีการเข้าถึงสัญญาณ GPS หรือในกรณีที่ไม่ต้องทำให้ระบบใช้สัญญาณ GPS เนื่องจาก GPS อาจจะไม่สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ปิด เช่น ภายในอาคารหรือใต้ดิน อีกทั้งเทคนิคเหล่านี้ยังสามารถนำมาใช้ในระบบที่ต้องการความแม่นยำสูงในการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้ ในทางกลับกัน ข้อเสียของการหาตำแหน่งโดยอาศัยระยะทางคือ ความแม่นยำอาจลดลงได้หากมีการรบกวนจากสัญญาณหรืออุปสรรคต่างๆ ที่ส่งผลต่อความแรงของสัญญาณ เช่น ผนังหรือวัตถุต่างๆ ที่อาจบังสัญญาณ หรือการสูญเสียสัญญาณที่เกิดจากระยะทางที่ยาวเกินไป นอกจากนี้การคำนวณระยะทางโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น RSSI หรือ TOA ก็ต้องอาศัยการปรับแต่งโมเดลต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด

1) POA (Position Determination using Received Signal Power)

POA (Position Determination using Received Signal Power)

หรือ การหาตำแหน่งโดยใช้กำลังสัญญาณที่รับได้ เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยพิจารณาจากกำลังสัญญาณที่ได้รับจากแหล่งส่งสัญญาณ เช่น สถานีฐานหรือจุดกระจายสัญญาณ ที่มีการส่งสัญญาณมายังอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง เทคนิคนี้สามารถใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ภายในอาคาร หรือในสภาพแวดล้อมที่มีการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณ

การใช้ POA Indoor ในการหาตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารนั้น จะมีความสำคัญในการพัฒนาระบบการติดตามตำแหน่งในอาคาร เช่น ในห้างสรรพสินค้า, โรงพยาบาล, สำนักงาน, หรือแม้กระทั่งในระบบการนำทางภายในอาคาร เช่น การนำทางผู้ใช้งานไปยังจุดหมายปลายทางโดยใช้สัญญาณไร้สาย

หลักการของ POA คือการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่งโดยใช้กำลังสัญญาณที่รับได้ Received Signal Strength Indicator จากแหล่งส่งสัญญาณที่มีการส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง เมื่อรับสัญญาณได้แล้ว กำลังสัญญาณที่รับได้สามารถใช้คำนวณระยะทางจากอุปกรณ์นั้นไปยังแหล่งส่งสัญญาณ โดยใช้สูตร Path Loss Model หรือ Empirical Path Loss Model เพื่อหาค่าระยะทางที่สัมพันธ์กับการสูญเสียของสัญญาณในระยะทาง โดยทั่วไปแล้ว POA ใช้หลายๆ จุดรับสัญญาณในระบบ เช่น สถานีฐานหรือจุดกระจายสัญญาณหลายจุดที่มีตำแหน่งที่รู้จัก การใช้ข้อมูล RSSI จากหลายๆ จุดรับสัญญาณนี้สามารถใช้หลักการ Trilateration หรือ Multilateration ในการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่งได้

การประยุกต์ใช้ POA (Phase of Arrival) เป็นเทคนิคที่มีความสำคัญในระบบการติดตามตำแหน่ง โดยมีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในพื้นที่ในอาคารที่ไม่สามารถใช้ระบบ GPS ได้ การนำ POA ไปใช้งานในระบบการติดตามตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning Systems - IPS) ถือเป็นหนึ่งในแอปพลิเคชันที่สำคัญ โดยการใช้การรับสัญญาณจากหลายจุดกระจายสัญญาณเพื่อคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานที่ต้องการติดตาม ตำแหน่งดังกล่าวสามารถถูกคำนวณผ่านการผสมผสานเทคนิค POA กับวิธีการอย่าง Fingerprinting หรือ Trilateration ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดจากการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในสภาพแวดล้อมในอาคาร นอกจากนี้ POA ยังถูกนำไปใช้ในระบบการนำทางภายในอาคาร (Indoor Navigation) เช่น ในห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน หรือโรงพยาบาล เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งของตนเองและหาทางไปยังจุดหมายปลายทางได้อย่างแม่นยำ การนำ POA มาประยุกต์ใช้ในระบบนำทางช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการไม่สามารถใช้งาน GPS ใน

พื้นที่ในอาคารได้ อีกหนึ่งการประยุกต์ใช้ POA ที่มีความสำคัญคือ การติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล (Patient Tracking in Hospitals) โดยระบบนี้สามารถใช้ POA เพื่อระบุตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่สำคัญในแต่ละแผนกหรือห้องของโรงพยาบาลได้อย่างแม่นยำ ระบบนี้ช่วยบุคลากรทางการแพทย์สามารถติดตามสถานะของผู้ป่วยและอุปกรณ์ได้แบบเรียลไทม์ เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและความปลอดภัยของผู้ป่วยในโรงพยาบาล

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ POA (Phase of Arrival) การใช้เทคนิค POA ในการติดตามตำแหน่งภายในอาคารมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพของการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อน เช่น อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล หรือพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางมากมาย หนึ่งในปัจจัยสำคัญคือ สิ่งกีดขวางในพื้นที่ (Obstructions) สิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ผนัง, เพอร์นิเจอร์, และอุปกรณ์อื่นๆ ภายในอาคาร สามารถลดกำลังของสัญญาณหรือทำให้สัญญาณเกิดการสะท้อนและหักเห การสะท้อนของสัญญาณอาจทำให้เครื่องรับได้รับสัญญาณจากหลายเส้นทาง (multipath propagation) ซึ่งส่งผลให้การคำนวณระยะทางและตำแหน่งเกิดข้อผิดพลาด นอกจากนี้ สิ่งกีดขวางยังสามารถทำให้ความเสถียรของสัญญาณลดลง ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการติดตามตำแหน่ง การสะท้อนและการหักเหของสัญญาณ (Multipath Propagation) เป็นอีกปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมาก การเดินทางของสัญญาณที่สะท้อนจากผนังหรือสิ่งกีดขวางทำให้เกิดหลายเส้นทางสัญญาณก่อนถึงเครื่องรับ สัญญาณเหล่านี้เมื่อรวมกันอาจทำให้เครื่องรับคำนวณระยะทางผิดพลาดหรือระบุตำแหน่งไม่ถูกต้อง อีกหนึ่งปัจจัยคือ ความแออัดของสัญญาณ (Signal Congestion) ในพื้นที่ที่มีอุปกรณ์จำนวนมาก เช่น ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน หรือโรงพยาบาล สัญญาณที่ถูกส่งจากหลายอุปกรณ์สามารถทำให้เกิดความแออัดและการชนกันของสัญญาณ ส่งผลให้ค่าความแรงสัญญาณ (RSSI) ที่วัดได้มีความไม่เสถียร การแออัดของสัญญาณยังอาจทำให้เครื่องรับไม่สามารถแยกแยะสัญญาณจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง สุดท้ายคือ ความสามารถในการจัดการกับสัญญาณที่อ่อน (Weak Signal Handling) เมื่ออุปกรณ์ต้องประมวลผลสัญญาณที่อ่อนหรือถูกแทรกแซงจากสัญญาณอื่นๆ การใช้เทคนิคการกรองสัญญาณหรือการประมวลผลสัญญาณด้วยซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยให้สามารถเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งได้ การจัดการปัจจัยเหล่านี้ที่เหมาะสมจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ POA ในการติดตามตำแหน่งและลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในอาคาร

2) PDOA (Position Determination Using Angle of Arrival)

PDOA (Position Determination using Angle of Arrival) หรือ การหาตำแหน่งโดยใช้มุมการมาถึงของสัญญาณ เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยพิจารณาจากการวัดมุมที่สัญญาณจากแหล่งส่งข้อมูล (เช่น สถานีฐานหรือจุดกระจายสัญญาณ) มาถึงอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง (เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือ

อุปกรณ์ไร้สายอื่นๆ) โดยไม่จำเป็นต้องวัดระยะทางตรงๆ การใช้ PDOA เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารที่มีความซับซ้อนและมีสิ่งกีดขวางต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาที่มักเกิดขึ้นในระบบการหาตำแหน่งไร้สายที่ใช้การวัดระยะทางเช่น RSSI หรือ RSRP

การใช้ PDOA ในการหาตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารจะมีประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาระบบการติดตามตำแหน่งภายในอาคาร เช่น ในห้างสรรพสินค้า, โรงพยาบาล, สำนักงาน, หรือแม้กระทั่งภายในยานพาหนะ ซึ่งมีการเคลื่อนไหวของผู้ใช้และมีสิ่งกีดขวางที่ส่งผลกระทบต่อการส่งสัญญาณไร้สาย

หลักการของ PDOA อิงจากการวัดมุมที่สัญญาณจากแหล่งส่งมาถึงเครื่องรับหรืออุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยการใช้หลายๆ จุดรับ (หรือหลายๆ อุปกรณ์รับสัญญาณ) ที่มีตำแหน่งที่รู้จัก ในการตรวจจับมุมการมาถึง (Angle of Arrival หรือ AOA) ของสัญญาณจากแหล่งส่งข้อมูล เมื่อมีข้อมูลมุมจากหลายจุดรับ ก็สามารถใช้หลักการ Trilateration หรือ Trilateration ในการคำนวณหาตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ การวัดมุม AOA จะถูกเก็บจากแต่ละอุปกรณ์ที่มีการรับสัญญาณจากแหล่งส่ง จากนั้นจึงคำนวณหาตำแหน่งของอุปกรณ์ตามมุมที่ได้จากแต่ละจุด โดยมักจะใช้ระบบการคำนวณที่เรียกว่า Trilateration เพื่อหาตำแหน่งที่แม่นยำในพื้นที่ที่มีการวัดมุมจากหลายๆ จุดรับ

การประยุกต์ใช้เทคนิค PDOA ในระบบการระบุตำแหน่งในอาคาร (Indoor Positioning) มีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางหรือการสะท้อนของสัญญาณ เทคนิคนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่งโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการวัดระยะทางโดยตรง การติดตามตำแหน่งในอาคาร การนำ PDOA มาใช้สำหรับการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ภายในอาคาร เช่น ห้างสรรพสินค้า, อาคารสำนักงาน หรือโรงพยาบาล ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ได้โดยอาศัยการวัดค่าความแตกต่างของมุมที่สัญญาณมาถึง (AOA) จากจุดกระจายสัญญาณหรือสถานีฐาน หลักการนี้ช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากสิ่งกีดขวาง เช่น ผนัง หรือการสะท้อนของสัญญาณ ซึ่งอาจทำให้การวัดระยะทางโดยตรงไม่แม่นยำ การพัฒนาระบบช่วยเหลือภายใน PDOA เป็นเทคนิคสำคัญในการสร้างระบบนำทางภายในอาคาร ผู้ใช้งานสามารถทราบตำแหน่งที่ตั้งของตนเองในอาคารและสามารถค้นหาเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางได้อย่างแม่นยำ เช่น ในโรงพยาบาล ระบบนี้สามารถแสดงเส้นทางจากห้องตรวจไปยังห้องพักรักษา หรือในพิพิธภัณฑ์ ระบบสามารถนำทางจากห้องนิทรรศการหนึ่งไปยังอีกห้องหนึ่งได้อย่างสะดวกสบาย ระบบนำทางนี้ยังสามารถใช้งานในพื้นที่ที่มีหลายชั้น โดยวิเคราะห์ตำแหน่งจากมุมที่สัญญาณมาถึง การติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล ในโรงพยาบาล ระบบที่ใช้ PDOA สามารถติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยได้แบบเรียลไทม์ เช่น การระบุว่าผู้ป่วยอยู่ในห้องตรวจใดหรืออยู่ที่แผนกใดของ

โรงพยาบาล การใช้เทคนิคนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการติดตามสถานะของผู้ป่วยในอาคาร ช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถดูแลผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ PDOA (Phase Difference of Arrival) การใช้งานเทคนิค PDOA ในการระบุตำแหน่งภายในอาคารต้องเผชิญกับปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพของระบบ โดยปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณา ได้แก่ สิ่งกีดขวาง เช่น ผนัง เพอร์นิเจอร์ หรือวัสดุที่ดูดซับสัญญาณในอาคาร ซึ่งสามารถทำให้สัญญาณที่มาถึงจุดรับเกิดการสะท้อน การหักเห หรือการบิดเบือน ส่งผลให้การวัดมุม AOA มีความคลาดเคลื่อนและลดความแม่นยำของตำแหน่งที่คำนวณได้ อีกปัจจัยที่สำคัญคือการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณที่มักเกิดขึ้นในพื้นที่ภายในอาคาร สัญญาณที่เดินทางผ่านหลายเส้นทางก่อนจะมาถึงจุดรับอาจรวมกันจนเกิดการรบกวน ทำให้ค่ามุม AOA ที่คำนวณได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง นอกจากนี้ ความหนาแน่นของอุปกรณ์และผู้ใช้ภายในพื้นที่ เช่น ในโรงพยาบาลหรือห้างสรรพสินค้า อาจทำให้เกิดความแออัดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้รับอาจไม่เสถียรและเพิ่มความผิดพลาดในการคำนวณ เทคโนโลยี MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวัดมุม AOA โดยการใช้สายอากาศหรืออุปกรณ์รับสัญญาณหลายจุดพร้อมกัน ช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยที่รบกวนสัญญาณ เช่น การสะท้อนหรือความแออัด การจัดวางอุปกรณ์อย่างเหมาะสมและการประมวลผลสัญญาณด้วยเทคนิคขั้นสูงสามารถช่วยปรับปรุงการทำงานของระบบได้ โดยรวมแล้ว การพัฒนาระบบ PDOA ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องมีการวางแผนและออกแบบระบบที่คำนึงถึงสิ่งกีดขวางในพื้นที่ การสะท้อนของสัญญาณ ความหนาแน่นของอุปกรณ์ และการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ระบบสามารถระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำและเสถียรในสภาพแวดล้อมจริง

3) RSRP (Reference Signal Received Power)

เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยเฉพาะในระบบเครือข่าย 4G (LTE) และ 5G ซึ่งใช้ในการตรวจวัดพลังงานที่ได้รับจากสัญญาณอ้างอิงที่ถูกส่งมาจากสถานีฐาน eNB หรือ gNB ไปยังอุปกรณ์ผู้ใช้ (UE) ในระบบเครือข่ายไร้สาย ซึ่งจะช่วยให้สามารถประเมินคุณภาพของการเชื่อมต่อในพื้นที่ต่างๆ ได้

การวัด RSRP ในพื้นที่ในอาคารเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร เพราะในพื้นที่ในอาคารมักมีสัญญาณที่อ่อนกว่าพื้นที่กลางแจ้ง โดยจะมีสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ผนัง, เครื่องใช้ไฟฟ้า, เพอร์นิเจอร์, และการเคลื่อนไหวของผู้คนที่ส่งผลให้สัญญาณมีการลดทอนและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ซึ่งการใช้ RSRP ในการประเมินคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารจึงมีความสำคัญในการพัฒนาเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่ท้าทายเหล่านี้

RSRP คือค่าที่ใช้ในการวัดพลังงานที่ได้รับจากสัญญาณอ้างอิงในช่องสัญญาณหนึ่งๆ ซึ่งจะทำให้การคำนวณจากการรวมพลังงานของสัญญาณอ้างอิงจากเซลล์ที่ส่งสัญญาณในระบบ 4G หรือ 5G โดยที่ค่า RSRP จะถูกวัดในหน่วย เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ซึ่งค่า RSRP จะบ่งบอกถึงความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสถานีฐาน โดยทั่วไปแล้วค่า RSRP จะมีช่วงการวัดจากประมาณ -140 dBm ถึง -44 dBm โดยค่าที่สูงกว่าจะหมายถึงการรับสัญญาณที่ดีขึ้น ในขณะที่ค่าต่ำจะหมายถึงสัญญาณที่อ่อน การคำนวณค่า RSRP นี้จะพิจารณาพลังงานที่ได้รับจากสัญญาณอ้างอิงจากเซลล์ในสถานีฐานที่มีการส่งสัญญาณ โดยในระบบ LTE และ 5G จะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นหลายๆ เซลล์ ซึ่งการรับพลังงานจากสัญญาณอ้างอิงจากเซลล์ต่างๆ จะช่วยในการประเมินคุณภาพของการเชื่อมต่อและการครอบคลุมของเครือข่าย

การใช้ RSRP ในการประเมินสัญญาณในพื้นที่ในอาคารการวัดค่า RSRP ถือเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการประเมินคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ในอาคารโดยในเครือข่ายไร้สายที่มีการใช้งาน RSRP จะใช้ข้อมูลนี้ในการระบุถึงจุดที่มีสัญญาณอ่อนหรือพื้นที่ที่มีการครอบคลุมสัญญาณไม่เพียงพอ เพื่อให้สามารถปรับปรุงและออกแบบการติดตั้งสถานีฐานหรือการกระจายสัญญาณในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อค่า RSRP ในพื้นที่ในอาคาร การรับค่า RSRP (Reference Signal Received Power) ในพื้นที่ในอาคารได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัยที่สามารถลดความเสถียรและความแม่นยำของสัญญาณ โดยปัจจัยที่สำคัญประกอบด้วย สิ่งกีดขวางและวัสดุในพื้นที่ เช่น ผนัง เพอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือกระจก ซึ่งมีผลต่อการลดทอนพลังงานของสัญญาณวิทยุที่ถูกส่งจากสถานีฐาน การมีสิ่งกีดขวางเหล่านี้อาจทำให้สัญญาณสูญเสียพลังงานอย่างมาก ส่งผลให้ค่า RSRP ที่รับได้ต่ำลงในพื้นที่ การสะท้อนและการหักเหของสัญญาณ (Multipath Propagation) ในพื้นที่ในอาคาร เป็นปัจจัยที่ทำให้สัญญาณเดินทางมาถึงอุปกรณ์ผู้ใช้จากหลายเส้นทาง ซึ่งบางเส้นทางอาจเสริมพลังงานของสัญญาณ แต่บางเส้นทางก็ทำให้สัญญาณสูญเสียพลังงาน การสะท้อนและการหักเหเหล่านี้ทำให้ค่า RSRP มีความไม่เสถียรและไม่สม่ำเสมอ การเคลื่อนไหวของผู้คนในพื้นที่ในอาคารก็มีผลต่อค่า RSRP เนื่องจากร่างกายมนุษย์สามารถดูดซับพลังงานสัญญาณ ทำให้ค่า RSRP เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและเวลาของผู้ใช้ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของผู้คนสูง เช่น อาคารสำนักงาน หรือห้างสรรพสินค้า สุดท้าย ความหนาแน่นของอุปกรณ์ในพื้นที่ เช่น ในห้องประชุมหรือพื้นที่สาธารณะ ค่า RSRP อาจลดลงเนื่องจากมีการแชร์ช่องสัญญาณระหว่างอุปกรณ์หลายเครื่อง ทำให้พลังงานของเครือข่ายถูกใช้ไปในการเชื่อมต่อหลายๆ อุปกรณ์พร้อมกัน ซึ่งส่งผลให้สัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำลง

การวัดค่า RSRP ในพื้นที่ในอาคารช่วยในการออกแบบและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยสามารถใช้ข้อมูล RSRP ในการวางตำแหน่ง

สถานีฐานหรือจุดกระจายสัญญาณในพื้นที่ในอาคารเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ดีขึ้น โดยอาจจำเป็นต้องติดตั้งสถานีฐานหลายจุดในพื้นที่ที่มีการลดทอนสัญญาณสูง หรือพื้นที่ที่มีการสะท้อนและหักเหของสัญญาณมาก นอกจากนี้ ข้อมูล RSRP ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนหรือไม่เสถียร เพื่อให้สามารถปรับปรุงและปรับตั้งค่าเครือข่ายเพื่อให้ครอบคลุมและมั่นคงมากขึ้น เช่น การเพิ่มจำนวนสถานีฐานหรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสถานีฐานในพื้นที่ที่มีปัญหาการรับสัญญาณ การวัดค่า RSRP อย่างต่อเนื่องยังสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครือข่ายเพื่อหาจุดที่มีปัญหาในเครือข่าย เช่น จุดที่มี RSRP ต่ำหรือการเกิดช่องว่างของการครอบคลุมสัญญาณ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงการทำงานของเครือข่ายให้มีความเสถียรและประสิทธิภาพสูงสุด

การใช้ RSRP จึงควรใช้ร่วมกับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) หรือ RSRQ (Reference Signal Received Quality) เพื่อประเมินคุณภาพเครือข่ายในพื้นที่ในอาคารอย่างเต็มรูปแบบ RSRP Indoor เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการประเมินคุณภาพสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย โดยเฉพาะในพื้นที่ในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางและอุปสรรคต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณ การใช้ RSRP ช่วยในการออกแบบและปรับปรุงเครือข่ายให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายและปรับปรุงประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้

4) RSSI Indoor (Received Signal Strength Indicator)

เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการวัดความแรงของสัญญาณไร้สายที่ถูกส่งถึงอุปกรณ์รับสัญญาณจากแหล่งส่ง เช่น จากเราเตอร์ Wi-Fi หรือสถานีฐานในระบบเครือข่ายไร้สายต่างๆ เช่น LTE หรือ ZigBee โดยทั่วไป RSSI มักถูกใช้งานในหลายระบบเพื่อประเมินคุณภาพของการเชื่อมต่อไร้สาย โดยการคำนวณค่าของ RSSI มักจะอยู่ในหน่วยของ เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ซึ่งค่าของ RSSI นี้จะบ่งชี้ถึงความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์รับได้ในพื้นที่ต่างๆ

ในกรณีของการใช้งาน RSSI Indoor หรือการวัดความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารจะต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น กำแพง, พื้นที่ที่มีอุปกรณ์มากมาย, หรือการเคลื่อนไหวของผู้คน ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการกระจายตัวของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารดังนั้นการใช้ RSSI เพื่อประเมินคุณภาพสัญญาณในสภาพแวดล้อมในอาคารจึงต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย

การใช้ RSSI ในการประเมินความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารช่วยให้สามารถวัดความแรงของสัญญาณที่รับจากแหล่งส่งสัญญาณได้ในรูปแบบตัวเลขที่มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dBm) ค่า RSSI ที่สูงบ่งชี้ว่าอุปกรณ์สามารถรับสัญญาณที่มีความแรงสูง ในขณะที่ค่า RSSI ที่ต่ำแสดงถึงสัญญาณที่อ่อนหรือมีการรบกวนจากแหล่งสัญญาณอื่นๆ ในสภาพแวดล้อมในอาคารซึ่งมักจะมีค่าสัญญาณต่ำกว่าพื้นที่กลางแจ้งเนื่องจากสิ่งกีดขวางที่ส่งผลการส่งสัญญาณ เช่น ผนัง,

เฟอร์นิเจอร์ หรือการเคลื่อนไหวของคน สิ่งกีดขวางต่างๆ ในพื้นที่ในอาคารเช่น ผนังหรือเสากลาง, อุปกรณ์เครื่องจักร, หรือวัสดุที่สามารถดูดซับ, สะท้อน, หรือหักเหคลื่นวิทยุจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของสัญญาณ ซึ่งทำให้ค่า RSSI ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่กลางแจ้งที่มีการกระจายสัญญาณที่เสถียรมากกว่า นอกจากนี้ การสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารเช่น กระจก, เพดาน, หรือพื้น จะทำให้เกิดการเดินทางของสัญญาณหลายเส้นทางไปยังจุดรับ ซึ่งอาจส่งผลให้สัญญาณที่รับได้ไม่เสถียรและทำให้ค่าของ RSSI แตกต่างกันไปในแต่ละจุด การเคลื่อนไหวของผู้คนในพื้นที่ในอาคารก็สามารถส่งผลต่อค่า RSSI ได้ เนื่องจากร่างกายมนุษย์สามารถดูดซับหรือลดทอนสัญญาณวิทยุ ทำให้ค่า RSSI แปรผันตามตำแหน่งและเวลา โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเคลื่อนไหวของผู้คนมาก เช่น ห้างสรรพสินค้าหรือสำนักงาน

การใช้ RSSI ในการประเมินความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Design) เพื่อให้การเชื่อมต่อในพื้นที่ต่างๆ มีความเสถียรและประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีหลายด้านที่สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูล RSSI ได้ เช่น การวางจุดเชื่อมต่อ (Access Points): การใช้ RSSI ในการตรวจสอบความแรงของสัญญาณช่วยในการวางตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อในพื้นที่ในอาคารได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ดี โดยต้องคำนึงถึงการคำนวณพื้นที่ที่สัญญาณจากจุดเชื่อมต่อสามารถครอบคลุมได้ และสามารถวางจุดเชื่อมต่อเพิ่มเติมในพื้นที่ที่สัญญาณอ่อน เพื่อเพิ่มความเสถียรในการเชื่อมต่อ การจัดการช่องสัญญาณ (Channel Management): การใช้งาน RSSI ยังช่วยในการตรวจสอบและปรับการใช้งานช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอุปกรณ์หลายเครื่องหรือมีการรบกวนจากสัญญาณที่ไม่ต้องการ ระบบสามารถเลือกช่องสัญญาณที่ดีที่สุดจากข้อมูล RSSI เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด การคำนวณพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Mapping): ด้วยข้อมูล RSSI, การออกแบบเครือข่ายไร้สายในพื้นที่ในอาคารสามารถทำได้ดีขึ้น โดยการประเมินการกระจายตัวของสัญญาณในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนและอาจต้องการการติดตั้งจุดเชื่อมต่อเพิ่มเติม หรือการปรับการตั้งค่าอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงการครอบคลุมสัญญาณ การตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ (Signal Quality Monitoring): การตรวจสอบ RSSI ในเครือข่ายไร้สายช่วยติดตามการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสัญญาณในเครือข่าย หากพบว่าค่า RSSI ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบอาจต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าของอุปกรณ์หรือออกแบบเครือข่ายใหม่เพื่อให้สัญญาณมีความเสถียรและประสิทธิภาพดีขึ้น

ในขณะที่ RSSI เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการประเมินความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในอาคารแต่เพื่อให้การประเมินและการออกแบบเครือข่ายในอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น มักจะใช้ร่วมกับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น SNR หรือ RSRP ที่สามารถให้ข้อมูลที่ครบถ้วนและแม่นยำยิ่งขึ้นในการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย

5) CSI (Channel State Information)

เป็นเครื่องมือสำคัญในการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติของช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายที่ทำงานในพื้นที่ในอาคารเช่น อาคาร, ห้างสรรพสินค้า, สำนักงาน, หรือในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสัญญาณไร้สายอย่าง Wi-Fi หรือ LTE โดยทั่วไปแล้ว การเข้าใจและการใช้ข้อมูล CSI ช่วยให้การออกแบบและการจัดการเครือข่ายในอาคารมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลและปรับปรุงคุณภาพการสื่อสารในพื้นที่ในอาคาร

Channel State Information (CSI) คือข้อมูลที่บ่งชี้ถึงลักษณะของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองตัวในเครือข่ายไร้สาย ข้อมูล CSI จะบอกถึงลักษณะการกระจายตัวของสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูล ซึ่งรวมถึงความแรงของสัญญาณ, การรบกวน, และการแยกตัวของสัญญาณ (fading) ซึ่งทุกปัจจัยนี้มีผลต่อการถ่ายโอนข้อมูลในเครือข่ายไร้สาย ในระบบภายในอาคาร (indoor systems) สัญญาณไร้สายจะต้องผ่านการสะท้อน, การหักเห, และการกระจายตัวจากสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น กำแพง, เฟอร์นิเจอร์, และแม้กระทั่งการเคลื่อนที่ของผู้คน ซึ่งทำให้คุณภาพของช่องสัญญาณในพื้นที่ในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและซับซ้อนกว่าการใช้งานในพื้นที่กลางแจ้ง

ลักษณะของ CSI (Channel State Information) ในพื้นที่ในอาคารมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณ เช่น การกระจายตัวของสัญญาณ (fading) ที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นวิทยุจากผนัง เพดาน และพื้น ซึ่งทำให้สัญญาณที่ถึงอุปกรณ์รับมีความแรงไม่คงที่ ส่งผลให้การสื่อสารอาจเกิดความผิดพลาดได้หากไม่ได้มีการควบคุมการกระจายตัวของสัญญาณอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการรบกวน (interference) ที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์หลายๆ เครื่องในพื้นที่เดียวกัน เช่น เราเตอร์ Wi-Fi หรือโทรศัพท์มือถือหลายเครื่อง ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่รับได้ลดลง ข้อมูล CSI สามารถใช้ในการระบุระดับการรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณต่างๆ ได้อีกด้วย ในพื้นที่ในอาคารยังมีสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น กำแพง, โถง หรือแม้กระทั่งการเคลื่อนที่ของผู้คน ซึ่งอาจทำให้สัญญาณลดลงในบางจุด ส่งผลให้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำลง ส่วนการสะท้อนของคลื่น (multipath propagation) ซึ่งเกิดจากการสะท้อนของคลื่นวิทยุจากพื้นผิวที่แตกต่างกัน เช่น ผนัง หรือเฟอร์นิเจอร์ ทำให้สัญญาณเดินทางหลายเส้นทางไปถึงอุปกรณ์รับ ส่งผลให้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ไม่คงที่ และอาจเกิดการแทรกซ้อน (inter-symbol interference หรือ ISI) ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณ

การใช้งานข้อมูล CSI ในพื้นที่ในอาคารมีข้อดีหลายประการในการออกแบบและจัดการเครือข่าย เช่น การปรับแต่งการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในอาคาร โดยการใช้ข้อมูล CSI ระบบสามารถปรับปรุงความเร็วในการส่งข้อมูล (Data Rate) ด้วยเทคนิค

MIMO (Multiple Input Multiple Output) ซึ่งสามารถใช้เส้นทางการส่งสัญญาณหลายเส้นทางในเวลาเดียวกัน การใช้เทคนิคนี้จะช่วยเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลในพื้นที่ที่มีการรบกวนหรือการสูญเสียพลังงานจากสัญญาณ การจัดการการรบกวน (Interference Management) ก็สามารถทำได้โดยการตรวจจับข้อมูล CSI ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถทราบถึงความเข้มข้นของสัญญาณรบกวนและปรับการส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนจากช่องสัญญาณอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถคำนวณพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ (Coverage Mapping) โดยใช้ข้อมูล CSI ช่วยในการออกแบบจุดวางอุปกรณ์ในพื้นที่ในอาคารเช่น ประเมินพื้นที่ที่สัญญาณอาจอ่อนหรือไม่มีสัญญาณและปรับการตั้งค่าอุปกรณ์เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้ นอกจากนี้ ข้อมูล CSI ยังช่วยในการลดการรบกวนจากคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Interference) โดยสามารถตรวจจับและลดการรบกวนจากสัญญาณที่ไม่ต้องการ เช่น สัญญาณจากอุปกรณ์อื่นๆ หรือแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนในบริเวณใกล้เคียง

6) TOA Indoor (Time of Arrival in Indoor Positioning Systems)

TOA (Time of Arrival) หรือ เวลามารถึง เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยการวัดระยะเวลาในการที่สัญญาณจากแหล่งส่งสัญญาณไปถึงเครื่องรับที่ต้องการหาตำแหน่ง เมื่อสัญญาณถูกส่งออกไปจากแหล่งส่งสัญญาณ (เช่น จุดกระจายสัญญาณหรือสถานีฐาน) เครื่องรับจะบันทึกเวลาที่สัญญาณถึง ซึ่งสามารถใช้คำนวณระยะทางจากแหล่งส่งสัญญาณนั้นๆ ไปยังตำแหน่งของเครื่องรับ การใช้ TOA Indoor ในการหาตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารนั้นจะช่วยให้สามารถคำนวณตำแหน่งได้แม่นยำยิ่งขึ้นในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ภายในอาคาร ซึ่งวิธีนี้จะให้ความแม่นยำในระดับไมโครเมตรถึงมิลลิเมตรได้หากอุปกรณ์และเทคนิคที่ใช้ถูกต้อง แม้ว่าจะมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการคำนวณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

หลักการของ TOA คือการใช้เวลาในการเดินทางของสัญญาณจากแหล่งส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับ เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างแหล่งส่งสัญญาณและเครื่องรับ เทคนิคนี้มักใช้กับระบบ Radio Frequency (RF) โดยทั่วไปในระบบไร้สาย เช่น Wi-Fi, Bluetooth, หรือ GPS ซึ่งใช้การวัดระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางจากจุดกระจายสัญญาณ (Base Station หรือ Access Point) ไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่ง

การประยุกต์ใช้ TOA (Time of Arrival) ในพื้นที่ในอาคารมีประโยชน์หลายด้าน โดยเฉพาะในระบบการติดตามตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning Systems - IPS) ซึ่งช่วยในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์หรือผู้ใช้งานได้แม่นยำในสถานที่ที่สัญญาณ GPS ไม่สามารถทำงานได้ เช่น ในห้างสรรพสินค้า, โรงพยาบาล, หรือสำนักงาน โดยการใช้ TOA ร่วมกับเทคนิค Trilateration หรือ Multilateration ที่วัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณจากจุดกระจายสัญญาณหลายจุด สามารถคำนวณตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบการช่วยเหลือค้นหาทาง

ภายในอาคาร (Indoor Navigation Systems) การใช้ TOA ช่วยในการพัฒนาระบบนำทางในสถานที่ต่างๆ เช่น โรงพยาบาลหรือห้างสรรพสินค้า โดยการคำนวณตำแหน่งจากเวลาที่สัญญาณเดินทางไปถึงจุดต่างๆ ทำให้ระบบสามารถระบุตำแหน่งของผู้ใช้และแนะนำเส้นทางที่เหมาะสม TOA ยังสามารถใช้ในการติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล (Patient Tracking Systems) โดยการใช้สัญญาณจากจุดกระจายสัญญาณที่ติดตั้งในตำแหน่งที่รู้จักในโรงพยาบาล เพื่อหาตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องช่วยหายใจ หรือเครื่องวัดความดันโลหิต สำหรับการติดตามอุปกรณ์หรือยานพาหนะ (Asset or Vehicle Tracking) TOA ช่วยในการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์หรือยานพาหนะในพื้นที่ที่มีการใช้สัญญาณไร้สาย แม้ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง โดยการใช้ระบบ TOA ร่วมกับเทคนิคการคำนวณระยะทางสามารถให้ความแม่นยำสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ TOA (Time of Arrival) ในพื้นที่ในอาคารได้แก่ สิ่งกีดขวางที่สามารถบล็อกหรือเบี่ยงเบนการเดินทางของสัญญาณ เช่น กำแพงหรืออุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งอาจทำให้การคำนวณระยะทางและตำแหน่งไม่แม่นยำ, การสะท้อนและการหักเหของสัญญาณที่ทำให้สัญญาณเดินทางหลายเส้นทางก่อนถึงเครื่องรับ ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณตำแหน่ง, ความเร็วในการเดินทางของสัญญาณที่อาจแตกต่างกันไปตามวัสดุที่สัญญาณต้องเดินทางผ่าน เช่น คอนกรีตหรือโลหะที่ทำให้สัญญาณเดินทางช้าลง, และความเที่ยงตรงของนาฬิกาในการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ เนื่องจากการเบี่ยงเบนของเวลาในการซิงโครไนซ์ นาฬิกาสามารถส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการคำนวณตำแหน่ง

TOA เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในพื้นที่ในอาคาร โดยการคำนวณระยะทางจากเวลาที่สัญญาณเดินทางจากแหล่งส่งสัญญาณไปถึงเครื่องรับ ในการใช้ TOA ในระบบการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น สิ่งกีดขวาง, การสะท้อนของสัญญาณ, และการซิงโครไนซ์นาฬิกา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำสูงสุด

7) TDOA Indoor (Time Difference of Arrival in Indoor Positioning Systems)

TDOA (Time Difference of Arrival) หรือ ความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึง เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ในอาคาร (Indoor Positioning Systems - IPS) โดยใช้หลักการวัดความแตกต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณจากแหล่งส่งสัญญาณถึงหลายเครื่องรับที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่รู้จัก เทคนิคนี้ใช้การวัดเวลาที่สัญญาณจากแหล่งส่งสัญญาณมาถึงเครื่องรับสองจุดหรือมากกว่านั้น และใช้ความแตกต่างของเวลานี้ในการคำนวณตำแหน่งของแหล่งส่งสัญญาณ

หลักการของ TDOA คือการคำนวณระยะทางของอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่งโดยใช้การวัดความแตกต่างระหว่างเวลาในการมาถึงของสัญญาณที่ส่งจากแหล่งส่งสัญญาณ

เดียวกันและไปถึงเครื่องรับหลายๆ จุด โดยการหาตำแหน่งของอุปกรณ์จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Multilateration ซึ่งเป็นการคำนวณตำแหน่งจากการใช้หลายๆ เครื่องรับที่รู้ตำแหน่ง โดยการวัดเวลาที่สัญญาณไปถึงเครื่องรับทั้งสองจุดหรือมากกว่านั้น

การประยุกต์ใช้ TDOA (Time Difference of Arrival) ในพื้นที่ในอาคารมีหลายด้านที่สำคัญ เช่น การใช้ในการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ในพื้นที่ในอาคารเช่น ห้างสรรพสินค้า, สำนักงาน, หรือโรงพยาบาล โดย TDOA ช่วยในการคำนวณตำแหน่งของอุปกรณ์ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางมากมายและสัญญาณรบกวน, การติดตามตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาล โดยการวัดเวลาที่สัญญาณจากเครื่องส่งถึงเครื่องรับในจุดต่างๆ, การติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสถานที่ที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ห้องผ่าตัด หรือในโรงพยาบาล, และการใช้ TDOA ในการติดตามรถยนต์หรือยานพาหนะภายในพื้นที่ในอาคารเช่น โรงงาน โดยการคำนวณตำแหน่งจากการวัดเวลาที่สัญญาณไปถึงเครื่องรับหลายๆ จุด

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ TDOA ในพื้นที่ในอาคารมีหลายด้านสำคัญ เช่น สิ่งกีดขวางในพื้นที่ที่ทำให้สัญญาณต้องเดินทางผ่านกำแพงหรือวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น โลหะหรือคอนกรีต ซึ่งส่งผลต่อเวลาที่สัญญาณเดินทางและอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณตำแหน่ง, การสะท้อนของสัญญาณจากพื้นผิวต่างๆ เช่น กำแพงหรือเพดานที่ทำให้สัญญาณเดินทางไปถึงเครื่องรับหลายเส้นทาง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการคำนวณตำแหน่ง, ความเที่ยงตรงของนาฬิกาที่ใช้ในการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความแม่นยำของระบบ หากนาฬิกาของเครื่องรับไม่ซิงโครไนซ์จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณตำแหน่ง, และการตั้งตำแหน่งเครื่องรับ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อความแม่นยำของการคำนวณ TDOA หากเครื่องรับตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้การคำนวณตำแหน่งผิดพลาด

TDOA เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารโดยการใช้ความแตกต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณที่ส่งจากแหล่งเดียวกันไปถึงเครื่องรับหลายๆ จุด การใช้ TDOA ในระบบการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารจะช่วยให้สามารถหาตำแหน่งของอุปกรณ์ได้แม่นยำ และเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในหลายๆ ระบบ เช่น ระบบการติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล ระบบการติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือระบบการติดตามยานพาหนะในโรงงาน ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการคำนวณตำแหน่ง เช่น สิ่งกีดขวาง การสะท้อนของสัญญาณ และการซิงโครไนซ์นาฬิกา

8) RTT Indoor (Round Trip Time in Indoor Positioning Systems)

RTT (Round Trip Time) หรือ เวลาการเดินทางกลับ เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบการติดตามตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning

Systems - IPS) ซึ่งใช้การวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับ และจากเครื่องรับกลับไปยังเครื่องส่ง เพื่อหาตำแหน่งของแหล่งส่งสัญญาณในพื้นที่ที่มีการควบคุมและจำกัดสัญญาณ

หลักการทำงานของ RTT วัดระยะเวลาการเดินทางของสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับและกลับมาที่เครื่องส่งอีกครั้ง หลังจากทีสัญญาณถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งและได้รับโดยเครื่องรับแล้ว เครื่องรับจะส่งสัญญาณตอบกลับไปยังเครื่องส่ง จากนั้นเครื่องส่งจะคำนวณเวลาที่สัญญาณใช้เดินทางไป-กลับระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งเรียกว่า Round Trip Time

การประยุกต์ใช้ RTT ในการติดตามตำแหน่งในอาคารมีหลายด้านที่สำคัญ เช่น การใช้ RTT ในการติดตามตำแหน่งสามารถช่วยหาตำแหน่งของอุปกรณ์หรือบุคคลภายในอาคารที่ไม่มี GPS เช่น โรงพยาบาล, ห้างสรรพสินค้า, หรืออาคารสำนักงาน โดยการวัดเวลาที่สัญญาณเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับและกลับมา ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ. ในโรงพยาบาลหรือศูนย์การแพทย์ที่ต้องการการติดตามอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องช่วยหายใจหรือเครื่องมือที่ใช้ในการรักษา RTT ช่วยให้การติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ในอาคารมีความแม่นยำสูง, ช่วยให้ผู้ดูแลติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ตลอดเวลา. RTT ใช้ในการติดตามตำแหน่งบุคคล เช่น ผู้ป่วยในโรงพยาบาล หรือบุคคลในสถานที่ที่มีความเสี่ยง เช่น ผู้สูงอายุหรือเด็กที่อาจพลัดหลงไปในพื้นที่ภายในอาคาร การวัดเวลาที่สัญญาณเดินทางไป-กลับจากเครื่องส่งและเครื่องรับทำให้สามารถติดตามตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ. RTT ยังสามารถใช้ในการติดตามยานพาหนะในสถานที่ที่มีการขนส่งในอาคาร เช่น โรงงานหรือคลังสินค้า การวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณช่วยให้การคำนวณตำแหน่งของยานพาหนะภายในพื้นที่นั้นๆ มีความแม่นยำ

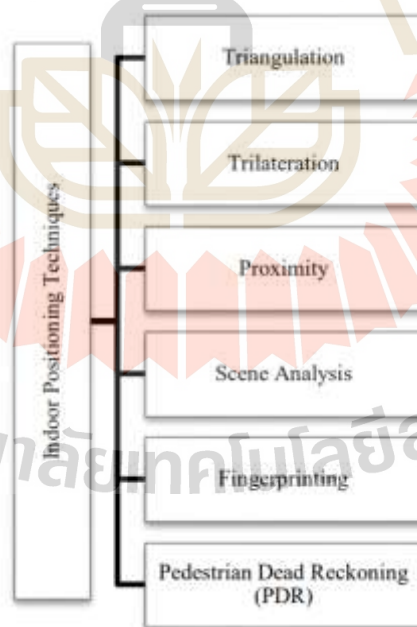
ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งาน RTT ในพื้นที่ในอาคารประกอบด้วยผลกระทบจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร เช่น กำแพง โลหะ หรือวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อการเดินทางของสัญญาณ ทำให้สัญญาณชะลอตัวหรือสะท้อนกลับ ซึ่งจะใช้เวลา RTT ที่วัดได้ไม่แม่นยำและส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการคำนวณตำแหน่ง. การสะท้อนและการหักเหของสัญญาณจากพื้นผิวต่างๆ เช่น กำแพงหรือเพดานสามารถทำให้สัญญาณเดินทางไปถึงเครื่องรับหลายเส้นทาง ส่งผลให้เวลา RTT ผิดพลาดและตำแหน่งที่คำนวณได้ไม่แม่นยำ. การชิงโครโนเมตริกของเครื่องส่งและเครื่องรับเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้งาน RTT หากนาฬิกาของเครื่องเหล่านี้ไม่ซิงโครไนซ์กันจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณ RTT และทำให้ตำแหน่งไม่ถูกต้อง. นอกจากนี้ ความเร็วของสัญญาณในสื่อที่ใช้ก็มีผลต่อการคำนวณระยะทางจาก RTT หากความเร็วของสัญญาณเปลี่ยนแปลง เช่น จากการใช้วัสดุกีดขวางที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน อาจทำให้การคำนวณระยะทางไม่ถูกต้อง

RTT (Round Trip Time) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบการติดตามตำแหน่งในพื้นที่ในอาคารโดยการวัดเวลาที่สัญญาณเดินทางไป-กลับจาก

เครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับ เทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ระบบ เช่น การติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ การติดตามตำแหน่งบุคคล หรือการติดตามยานพาหนะภายในอาคาร ถึงแม้จะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณ RTT เช่น การสะท้อนของสัญญาณ สิ่งกีดขวาง หรือการชิงโครโนซ์นาฬิกา การใช้เทคนิคการกรอง การเพิ่มจำนวนเครื่องรับ และการปรับปรุงการชิงโครโนซ์ นาฬิกาสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการใช้งาน RTT ในการติดตามตำแหน่งได้

2.2.2 Indoor Positioning Techniques

คือกลุ่มวิธีการหรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุภายในอาคาร โดยไม่ต้องอาศัย GPS ซึ่งมีข้อจำกัดในพื้นที่ปิดที่สัญญาณไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างแม่นยำ เทคนิคนี้มีความสำคัญในการประยุกต์ใช้งานหลากหลาย เช่น การติดตามผู้ป่วยและอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาล การนำทางภายในอาคาร เช่น ห้างสรรพสินค้า สนามบิน หรือมหาวิทยาลัย รวมถึงการจัดการทรัพยากรและเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรม โดย Indoor Positioning Techniques ประกอบด้วยเทคโนโลยีหลายประเภท เช่น Wi-Fi, Bluetooth, RFID, Ultra-Wideband, และ Magnetic Positioning ซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและความต้องการในด้านความแม่นยำและประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เทคนิคการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

(ที่มา: Jailani, N. S. C., Wahab, N. H. A., Sunar, N., & Ariffin, S. H. S. (2022). Indoor Positioning System: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.)

2.2.2.1 Triangulation

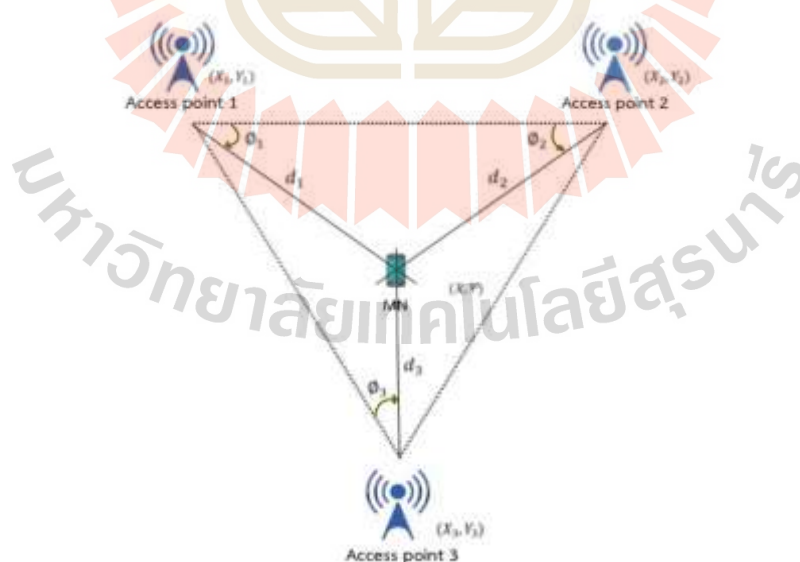
Triangulation เป็นวิธีการคำนวณตำแหน่งที่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่ถูกกำหนดล่วงหน้าระหว่างอุปกรณ์วัดสามตัวและมุมที่ถูกวัดจากตำแหน่งสามแห่งของวัตถุ วิธีการนี้มีความแม่นยำสูงเมื่อมีความแม่นยำในการคำนวณมุมมาก (AoA) การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงสามารถทำให้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นอีก แต่มีความคลาดเคลื่อนขนาดเล็กในการคำนวณมุมอาจมีผลต่อความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่ง การคำนวณมุมและระยะทางระหว่างจุดอ้างอิง และการกำหนดตำแหน่งของตัวส่งสัญญาณถูกใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งของวัตถุ Triangulation สามารถแบ่งออกเป็นสองหมวด a) Lateration และ b) Angulation ภาพรวมของกระบวนการตำแหน่งตามระยะทางสำหรับ triangulation แสดงในรูปที่ 2.4 จากสามจุดเข้าถึง, การวัดมุมถูกดำเนินการโดยการเชื่อมต่อเส้นจากจุดทางไกลกับเส้นฐาน จากนั้นมุมเหล่านี้ถูกใช้ในการคำนวณระยะทางที่ไม่ทราบ และผลลัพธ์คือตำแหน่งตามระยะทางที่ถูกคำนวณ สมการมีดังนี้

$$x = d_1 \sin(\theta_1) + x_1$$

$$y = d_1 \cos(\theta_1) + y_1 \quad (1)$$

$$x = d_2 \sin(\theta_2) + x_2$$

$$y = d_2 \cos(\theta_2) + y_2$$



รูปที่ 2.4 การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิค Triangulation

(ที่มา: Jailani, N. S. C., Wahab, N. H. A., Sunar, N., & Ariffin, S. H. S. (2022). Indoor Positioning System: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*)

2.2.2.2 Trilateration

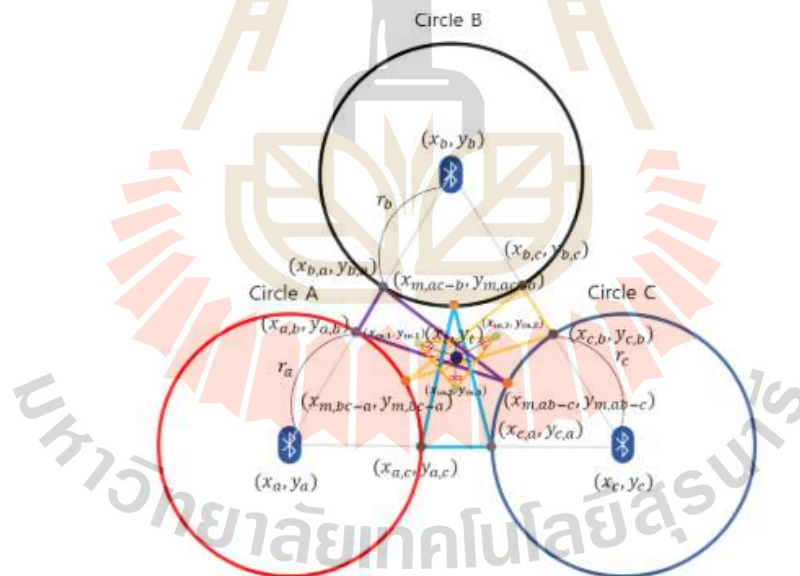
Trilateration เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายหลายมากขึ้น การทำ Trilateration เป็นวิธีการหาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้การวัดระยะทางพร้อมกันจากวัตถุอย่างน้อยสาม วัตถุอ้างอิงที่ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งรู้จัก การวัดมุมไม่เกี่ยวข้องกับ Trilateration ในภาพที่ 2.5 แสดงถึงสาม จุดเข้าถึงที่ใช้ในเทคนิค Trilateration ในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารการตัดขอบต่อขอบของ วงกลมอ้างอิงทั้งหมดมีความยากเนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องขึ้นอยู่กับของ วงกลมทั้งสามหรือมากกว่าในการตัดขอบต่อขอบลดความแม่นยำในการประมาณของเทคนิค Trilateration ระยะทางสามารถประมาณได้โดยใช้สมการที่ (2) และสามารถแก้ไขด้วยวิธีการเมทริกซ์

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2$$

(2)



รูปที่ 2.5 การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิค Trilateration

(ที่มา: Jailani, N. S. C., Wahab, N. H. A., Sunar, N., & Ariffin, S. H. S. (2022). Indoor Positioning System: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.)

2.2.2.3 Proximity

การระบุตำแหน่งโดยใช้ความใกล้เคียงเป็นประเภทหนึ่งของการระบุตำแหน่งที่ไม่ต้องการข้อมูลระยะทาง (range-free localization) ความใกล้เคียงเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับการระบุตำแหน่ง นอกจากนี้การระบุตำแหน่งโดยใช้ความใกล้เคียงเป็นตัวเลือกหลักหากผู้ใช้ไม่ทราบการตั้งค่าวิทยุของอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile Devices) หรือโครงสร้างของสภาพแวดล้อม มีนักวิจัยหลายคนใช้การระบุตำแหน่งโดยใช้ความใกล้เคียงเพื่อหาตำแหน่งวัตถุในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

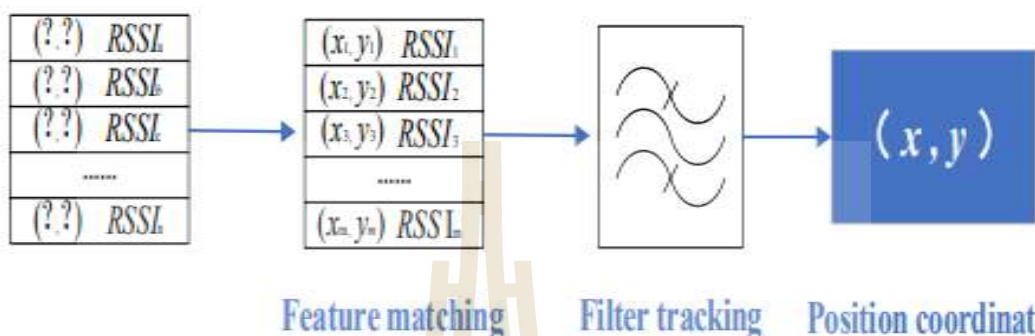
2.2.2.4 Scene Analysis

การวิเคราะห์ฉาก (Scene analysis) เป็นหนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากขึ้นอยู่กับ การสังเกตคุณสมบัติของพื้นที่ ไม่ต้องมองเห็นโดยตรง และสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีในบริบทที่มีข้อจำกัดมากมาย ส่วนใหญ่ของการวิเคราะห์ฉากที่ได้รับการแนะนำเสนอเป็นรากฐานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เนื่องจากการใช้งานที่แพร่หลายของมาตรฐานนี้ วิธีการวิเคราะห์ฉากมีความสามารถมากกว่าเทคนิคก่อนหน้านี้ในหลายประการ เช่น ความต้านทานต่อปัญหา multipath fading และไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรเชิงพื้นที่-เวลาและมุมการรับสัญญาณ ขณะที่ NLoS (Non-line-of-sight) ระหว่างวิทยุในเครือข่าย คุณสมบัติเหล่านี้มีความเป็นอันตรายมากเมื่อเกิดข้อผิดพลาด ความต้องการในเรื่องหน่วยความจำสำหรับการจัดเก็บข้อมูลและความมุ่งมั่นของมนุษย์ที่จำเป็นในการดำเนินขั้นตอนการฝึกฝนในสภาพแวดล้อมการดำเนินการเป็นจุดอ่อนของเทคนิคนี้

2.2.2.5 Fingerprint

การสำรวจสภาพแวดล้อมมักจำเป็นสำหรับระบบการวางตำแหน่งในอาคารแบบวิเคราะห์ เพื่อรวบรวมลายนิ้วมือหรือคุณสมบัติของสภาพแวดล้อมที่ระบบการแปลงจะทำ วิธีการบันทึกลายนิ้วมือของตำแหน่งเป็นวิธีที่แนะนำบ่อยที่สุดสำหรับการวางตำแหน่งในอาคาร วิธีการนี้อาศัยการวัดสัญญาณจากแหล่งต่างๆ ในพื้นที่ จากนั้นจึงใช้ข้อมูลนี้เพื่อสร้างแผนที่ของสภาพแวดล้อมและตำแหน่งของผู้ใช้ การระบุตำแหน่งด้วยลายนิ้วมือสามารถลดปัญหาหลายเส้นทางและปัญหาในการแพร่กระจายของ NLoS (Non-Line-of-Sight) นอกจากนี้ ลายนิ้วมือยังมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น อาคารที่มีผู้คนพลุกพล่าน เนื่องจากภายในอาคารมีการติดตั้งจุดเข้าใช้งาน Wi-Fi Access point ในอาคารอยู่แล้วและข้อมูล RSSI สามารถเข้าถึงได้ง่ายจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ การนำ Fingerprint มาใช้จึงเป็นวิธีการที่อาศัยหลักการบนอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ fingerprinting technique รวม Offline (training) และ Online (Positioning) จำเป็นต้องพัฒนารฐานข้อมูลลายนิ้วมือที่เชื่อถือได้ รูปที่ 2.6 แสดงภาพประกอบของกระบวนการลายนิ้วมือในขั้นตอน Offline และ Online ในขั้นตอน Offline, แต่ละจุดปลายรอบ (Access Point) ถูกเก็บรวบรวมที่จุดอ้างอิง (Reference Point) และ

ถูกสกัดออกเพื่อสร้างลายนิ้วมือ ซึ่งจากนั้นจะถูกนำเข้าไปในฐานข้อมูลลายนิ้วมือ ที่ถูกออกแบบให้เรียนรู้ค่า RSSI ที่แต่ละจุดอ้างอิง ในขั้นตอน Online, ค่า RSSI ของจุดทดสอบถูกวัด Real-Time และเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือในขั้นตอน Offline เพื่อกำหนดตำแหน่ง



รูปที่ 2.6 fingerprinting technique

(ที่มา: Xie, Yinqing, and Li Jiang. "Indoor Location Algorithm Based on WIFI Location Fingerprint." *2023 6th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP)*. IEEE, 2023.)

2.2.2.6 Pedestrian Dead Reckoning (PDR)

เทคนิคการระบุตำแหน่ง PDR เป็นระบุตำแหน่งแบบอิสระตัวเอง หลักการคือการใช้เซนเซอร์เช่น accelerometer ไจโรสโคป (gyroscope) และจีโอแมกเนติกมิเตอร์ (geomagnetic meter) เพื่อรับข้อมูลทิศทางการเคลื่อนไหวและข้อมูลการก้าวเท้าเพื่อกำหนดตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ในเวลาจริง

ตารางที่ 2.1 Summary of Techniques in Indoor Positioning

Technologies	Advantages	Disadvantages
Triangulation	• Low-cost implementation • High accuracy within room level	• Low accuracy in a large area • Complex • Required angle measurement
Trilateration	• Simple • Low-cost implementation • High accuracy	• Accuracy may occur due to environmental changes
Proximity	• High accuracy	• High-cost implementation • Complex
Scene Analysis	• High performance	• High-cost implementation • Complex • Medium accuracy
Fingerprinting	• No infrastructure needed	• Accuracy is depending on fingerprinting data resolution • Complex
PDR	• Accuracy within a short amount of time	• Complex

(ที่มา: Jailani, N. S. C., Wahab, N. H. A., Sunar, N., & Ariffin, S. H. S. (2022). Indoor Positioning System: A Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.)

การตำแหน่งด้วย PDR สามารถให้ความแม่นยำในการตำแหน่งในเวลาอันสั้น สามารถให้ข้อมูลการตำแหน่งแบบสัมบูรณ์เทียมและมีความผิดพลาดสะสม ถ้าความไม่แน่นอนในการหมุนที่ใน PDR สามารถถูกแก้ไขได้ มันจะเป็นระบบที่น่าเชื่อถือสำหรับการตำแหน่งที่แม่นยำอย่างต่อเนื่องจากเทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายใน คุณสมบัติของสัญญาณที่ใช้ในเทคนิคการตำแหน่งมีผลกระทบมากต่อความเหมาะสมของวิธีการตำแหน่ง ด้วยผลจากนั้น มีความสำคัญที่จะเข้าใจอัลกอริทึมการตำแหน่งและเทคนิคเพื่อใช้คุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด การเปรียบเทียบเทคนิคการตำแหน่งในระบบในอาคาร ระบุว่า triangulation, proximity, scene analysis, และ PDR techniques complex เป็นเทคนิคที่ซับซ้อน อย่างเช่น fingerprinting technique ก็ซับซ้อนเนื่องจากมีขั้นตอนออฟไลน์ (การฝึก) และออนไลน์ (การตำแหน่ง)

2.2.3 การวัดระยะทางโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณ

ค่าความแรงของสัญญาณ หรือ ค่า RSSI สามารถระบุตำแหน่งได้ คือค่า RSSI มีค่ามาก แสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง นั่นคือภาคส่งและภาครับอยู่ใกล้กันและในทางกลับกัน หากค่า RSSI มีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ แสดงว่าภาคส่งและภาครับอยู่ไกลจากกัน โดยกำหนดให้โทรศัพท์มือถืออัจฉริยะ (Smart Phone) ทำหน้าที่เป็นภาคส่งเป็นตัว Access Point กระจายสัญญาณ หรือปล่อย Wi-Fi Hotspot ให้กับภาครับ คือบอร์ด ESP 32 โดยตัวแปรที่ใช้ในการหาระยะทางโดยอาศัยค่าความแรงของสัญญาณ หรือ RSSI ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Path Loss Exponent

Type of Environment	Pass loss exponent
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7-3.5
Shadowed urban cellular radio	3-5
In building LOS	1.6-1.8
Obstructed in building	4-6
Obstructed in factory	2-3

(ที่มา: https://faculty.washington.edu/uwcheng/Wei%20Cheng%27s%20Homepage_files/RSSRatio-INFOCOM2013.pdf)

2.2.4 การสูญเสียเส้นทาง (Penetration Path Loss)

การสูญเสียเส้นทาง หรือการลดทอนเส้นทาง คือการลดลงของความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (การลดทอน) การสูญเสียเส้นทางเป็นองค์ประกอบหลักในการวิเคราะห์และออกแบบงบประมาณการเชื่อมโยง ของระบบโทรคมนาคม การสูญเสียเส้นทางมักใช้ในการสื่อสารไร้สายและสัญญาณการแพร่กระจายการสูญเสีย เส้นทางอาจเนื่องมาจากผลกระทบหลายอย่างเช่น การสูญเสียพื้นที่ว่าง, การหักเหของแสง, การเลี้ยวเบน, การสะท้อน, การสูญเสียการเชื่อมต่อและสภาพแวดล้อมภูมิอากาศอุณหภูมิ ตำแหน่งตัวรับและตัวส่งสัญญาณ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สัญญาณที่แผ่โดยเครื่องส่งสัญญาณอาจเดินทางไปตามเส้นทางต่าง ๆ ไปยังเครื่องรับพร้อมกัน ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Multi path ซึ่งจะรวมกันที่สายอากาศรับสัญญาณที่ได้รับสัญญาณ ที่อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการกระจายของความเข้มและเวลาการแพร่กระจายสัมพัทธ์ของคลื่น และ Bandwidth ของสัญญาณที่ส่ง

ตารางที่ 2.3 ตารางการสูญเสียพลังงานในวัสดุต่าง ๆ

Partition / Material	Thickness ที่ใช้ (cm)	Avg Measured Attenuation (2.4 GHz) (dB)	Specific Attenuation (dB/cm) @ 2.4 GHz	Avg Measured Attenuation (60 GHz) (dB)	Specific Attenuation (dB/cm) @ 60 GHz
Drywall office partition	2.5 cm	~5.4 dB	~2.1 dB/cm	~6.0 dB	~2.4 dB/cm
Clear glass	0.3 cm	~6.4 dB	~20.0 dB/cm	~3.6 dB	~11.3 dB/cm
Mesh glass	0.3 cm	~7.7 dB	~24.1 dB/cm	~10.2 dB	~31.9 dB/cm
Whiteboard	1.9 cm	~0.5 dB	~0.3 dB/cm	~9.6 dB	~5.0 dB/cm
Clutter / small objects	—	~2.5 dB	—	~1.2 dB	—

(ที่มา: Anderson, C. R., & Rappaport, T. S. (2017). *In-Building Wideband Partition Loss Measurements at 2.4 GHz and 60 GHz*. arXiv.)

โดยการสูญเสียเส้นทางสามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้

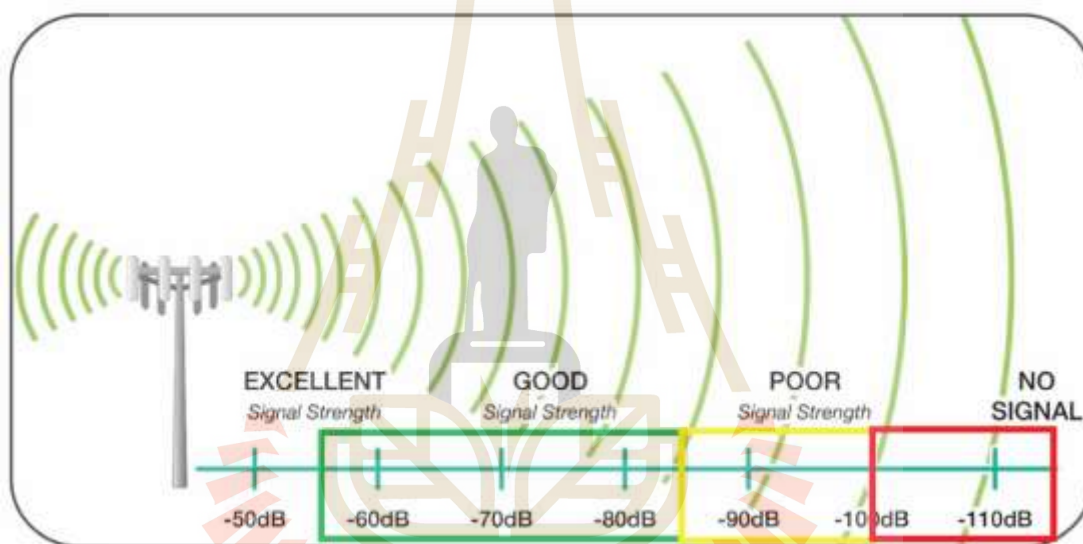
$$L = 10n\log_{10}(d) + C \quad (3)$$

โดยที่ L คือ การสูญเสียเส้นทาง มีหน่วยเป็น dB

- n คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อยู่ในช่วง 4-6
- d คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง มีหน่วยเป็น เมตร
- C คือ ค่าคงที่ซึ่งอธิบายถึงความสูญเสียของระบบ

2.2.5 ความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator, RSSI)

ความแรงของสัญญาณ RSSI เป็นการระบุความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเทอมของพลังงาน มีหน่วยเป็น dBm (decibels milliwatt) โดยค่า RSSI จะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ นั่นคือถ้าค่า RSSI มีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง หมายถึงภาคส่งและภาครับอยู่ใกล้กันในทางกลับกัน หากค่า RSSI มีค่าน้อยแสดงว่า สัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำภาคส่งและภาครับอยู่ไกลกัน ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.7 ระดับความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะห่าง

(ที่มา: https://ironcladtechnology.net/Understanding-Cell-Signal-Strength_c_58.html)

โดยความแรงของสัญญาณที่มีความแรงระดับ -50 dBm ลงมาแสดงว่าภาครับอยู่ใกล้ภาคส่งสัญญาณมาก สัญญาณที่มีความแรงระดับ -60 ถึง -70 dBm แสดงว่าสัญญาณแรง สัญญาณที่มีความแรงระดับ ที่ตัวเลขค่าติดลบเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ความแรงของสัญญาณจะลดลง จนถึงประมาณ -110 dBm เป็นต้นไป หมายความว่าคุณภาพสัญญาณต่ำมาก จนถึงกระทั่งสัญญาณหายไปโดยทั่วไป RSSI เป็นเทคโนโลยีของเครื่องรับวิทยุปกติผู้ใช้จะไม่สามารถมองเห็นได้ แต่จะไม่สามารถรู้ได้จากเครือข่าย Wireless ของ IEEE 802.11 ดังแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระดับความแรงของสัญญาณ

(ที่มา: <https://nl.edu/continue/continue-connecting/>)

2.2.6 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN,WLAN, Wi-Fi)

ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN,WLAN) หรือ Wi-Fi คือระบบที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน เป็นเครือข่ายภายในพื้นที่แบบไร้สาย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการเชื่อมต่อหรือสื่อสารกัน โดยคลื่นความถี่วิทยุถูกส่งจากเครื่องส่งจะสามารถผ่านทะลุวัตถุที่ขวางกันได้ การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายมีทั้งแบบเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน และเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point)

2.2.7 Internet of Things (IoT)

Internet of Things คือเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงและรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้อย่างง่ายดายและสามารถสั่งการเพื่อควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไม่ว่าจะเป็น Smart Device, Smart Home, Smart Network เป็นต้น ซึ่งการเชื่อมโยงนั้น จะสามารถเก็บและรวบรวมข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้แล้ว ยังมีระบบคลาวด์ที่จัดเก็บและประมวลผลข้อมูลผ่านออนไลน์ โดยที่เราสามารถควบคุมหรือกำหนดความเป็นส่วนตัวและสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตลอดเวลา

ประโยชน์ในการใช้งาน IoT คือการที่สามารถนำเทคโนโลยีมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการรับส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลตลอดเวลาและสามารถทำงานได้ทันที อีกทั้งยังช่วยในการลดภาระงานของบุคลากรรวมไปถึงการเข้าไปตรวจสอบในจุดที่อาจตกหล่น ทั้งนี้ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้อีกด้วย นอกจากนี้แล้วสิ่งสำคัญในการทำงานร่วมกับ Internet of Things คือการจัดการข้อมูลและวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างทันทั่วทั้งที่และในรูปแบบเรียลไทม์ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่หรือจัดการข้อมูลระดับย่อยการเชื่อมต่อระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วย AI

2.2.8 แนวคิด Internet of Things (IoT)

เดิมมาจาก Kevin Ashton บิดาแห่ง Internet of Things ในปี 1999 ในขณะที่ทำางวิจัย อยู่ที่มหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology หรือ MIT เขาได้ถูกเชิญให้ไปบรรยายเรื่องนี้ให้กับบริษัท Procter & Gamble (P&G) เขาได้นำเสนอโครงการที่ชื่อว่า Auto-ID Center ต่อยอดมาจากเทคโนโลยี RFID ที่ในขณะนั้นถือเป็นมาตรฐานโลก สำหรับการจับสัญญาณเซนเซอร์ต่าง ๆ (RFID Sensors) ว่าตัวเซนเซอร์เหล่านั้น สามารถทำให้พูดคุยเชื่อมต่อกันได้ผ่านระบบ Auto-ID ของเขา โดยการบรรยายให้กับ P&G ในครั้งนั้น Kevin ก็ได้ใช้คำว่า Internet of Things ในสไลด์การบรรยายของเขาเป็นครั้งแรกโดย Kevin นิยามเอาไว้ตอนนั้นว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใด ๆ ก็ตามที่สามารถสื่อสารกันได้ก็เป็น “internet-link” หรือเรียกง่าย ๆ ก็คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สื่อสารแบบเดียวกันกับระบบอินเทอร์เน็ตนั่นเอง โดยคำว่า “Things” ก็คือคำที่ใช้แทนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เหล่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 General framework for an Internet of Things (IoT)

(ที่มา: General framework for an Internet of Things (IoT) with several applications – ResearchGate)

2.3 มาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งในโรงพยาบาลมีความน่าเชื่อถือและได้มาตรฐาน จำเป็นต้องอ้างอิงและปฏิบัติตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงมาตรฐานด้านการสื่อสารไร้สาย ซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ถึงความปลอดภัย ความถูกต้องของข้อมูล และการทำงานที่มีประสิทธิภาพ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ประกอบด้วย

2.3.1 มาตรฐานความเร็วของระบบเครือข่ายไร้สาย (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)

2.3.1.1 มาตรฐาน IEEE802.11a

เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่มีประสิทธิภาพสูง ทำงานที่ย่านความถี่ 5 GHz มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 54 Mbps ที่ความเร็วนี้สามารถทำการแพร่ภาพและข่าวสารที่ต้องการความละเอียดสูงได้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสามารถปรับระดับ ให้ช้าลงเพื่อเพิ่มระยะการเชื่อมต่อให้มากขึ้น เช่น 54, 48, 36, 24 และ 11 Mbit เป็นต้น ในขณะที่คลื่นความถี่ 5 GHz นี้ยังไม่ได้ใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้นปัญหาการรบกวนคลื่นความถี่จึงมีน้อย ต่างจากคลื่นความถี่ 2.4GHz ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทำให้สัญญาณของคลื่นความถี่ 2.4 GHz ถูกรบกวนจากอุปกรณ์ประเภทอื่นที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกัน ได้ระยะทางการเชื่อมต่อประมาณ 300 ฟุต จากจุดกระจายสัญญาณ (Access Point) หากเทียบกับมาตรฐาน 802.11b แล้วระยะจะน้อยกว่า 802.11b ที่คลื่นความถี่ที่ต่ำกว่า และทั้ง 2 มาตรฐานนี้ไม่สามารถทำงานร่วมกันได้

2.3.1.2 มาตรฐาน IEEE802.11b

เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 11 Mbps ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายไร้สายภายใต้มาตรฐานนี้ถูกผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก และที่สำคัญแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถทำงานร่วมกันได้ อุปกรณ์ของผู้ผลิตทุกยี่ห้อต้องผ่านการตรวจสอบจากสถาบัน Wi-Fi Alliance เพื่อตรวจสอบมาตรฐานของอุปกรณ์และความเข้ากันได้ของแต่ละผู้ผลิต ปัจจุบันนี้นิยมใช้อุปกรณ์ WLAN ที่มาตรฐาน 802.11b ไปใช้ในองค์กรธุรกิจ สถาบันการศึกษา สถานที่สาธารณะ และกำลังแพร่เข้าสู่สถานที่พักอาศัยมากขึ้น

2.3.1.3 มาตรฐาน IEEE802.11g

เป็นมาตรฐานที่ความถี่ 2.4 GHz โดยสามารถรับส่งข้อมูลที่ความเร็ว 36 – 54 Mbps ซึ่งเป็นความเร็วที่สูงกว่ามาตรฐาน 802.11b ซึ่งมาตรฐาน 802.11g สามารถปรับระดับความเร็วในการสื่อสารลดเหลือ 2 Mbps ได้ตามสภาพแวดล้อมของเครือข่ายที่ใช้งาน มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับจากผู้ใช้เป็นจำนวนมากและกำลังจะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน 802.11b ในอนาคตอันใกล้ นอกจากนี้ยังมีบางผลิตภัณฑ์ใช้เทคโนโลยีเฉพาะตัวเข้ามาเสริม ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 54 Mbps

เป็น 108 Mbps แต่ต้องทำงานร่วมเฉพาะอุปกรณ์ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันเท่านั้น ซึ่งความสามารถนี้เกิดจากชิป (Chip) กระจายสัญญาณของตัวอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตบางรายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณเป็น 2 เท่าของการรับส่งสัญญาณได้แต่ปัญหาของการกระจายสัญญาณนี้จะมีผลทำให้อุปกรณ์ไร้สายในมาตรฐาน 802.11b มีประสิทธิภาพลดลงด้วยเช่นกัน

2.3.1.4 มาตรฐาน IEEE 802.11n

เป็นมาตรฐานที่สามารถทำงานบนคลื่นความถี่ 2.4 และ 5 GHz ได้รองรับความเร็วตั้งแต่ 300-450 Mbps โดยมีเสาสัญญาณตั้งแต่ 2-4 เสา บนตัวอุปกรณ์กระจายสัญญาณไวเลสแลน(Wireless LAN) และหากผู้ใช้ต้องการใช้งานที่ความเร็วสูงสุด เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ต้องรองรับมาตรฐาน 802.11n ด้วยเช่นกัน มาตรฐาน 802.11n สามารถทำงานร่วมกับ 802.11b, g ได้โดยไม่ทำให้ ประสิทธิภาพทั้งระบบลดลงเหมือนมาตรฐาน 802.11g เมื่อมีอุปกรณ์ 802.11b เข้ามาใช้งานร่วมกัน

2.3.1.5 มาตรฐาน IEEE 802.11ax

มาตรฐานการเชื่อมต่อไร้สายทำงานบนพื้นฐานคลื่นความถี่ 2.4GHz และ 5GHz เหมือน IEEE 802.11ac แต่ได้รับการออกแบบช่องสัญญาณใหม่ ให้ส่งข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกันโดยจะเรียกว่า OFDMA (Orthogonal Frequency Division Access) ในช่วงเวลาเดียวกัน สำหรับพื้นที่ ที่มีความต้องการสัญญาณที่หนาแน่น IEEE 802.11ax สามารถส่งข้อมูลออกไปพร้อมๆ กันได้หลาย Device ตามทฤษฎีมีความเร็วเพิ่มมากกว่าเดิม 4 เท่า มีความเร็วอยู่ที่ 3.5Gbps มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของการเชื่อมต่อ อุปกรณ์จำนวนมาก ที่มีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.4 มาตรฐาน 802.11

มาตรฐาน	คลื่นความถี่	อัตราความเร็วของข้อมูล
802.11a	5.1 – 5.2 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 – 2.8 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 – 2.8 GHz	36 – 54 Mbps
802.11n	2.4 – 5.0 GHz	300 – 500 Mbps
802.11ax	2.4 – 5.0 GHz	574 to 9608 Mbps
802.11ax	6 GHz	574 to 9608 Mbps

2.3.2 มาตรฐาน ISO 13485 ระบบบริหารคุณภาพสำหรับอุปกรณ์การแพทย์

มาตรฐาน ISO 13485 เป็นมาตรฐานระบบบริหารคุณภาพที่ถูกรวบรวมขึ้นมา โดยเฉพาะสำหรับ อุปกรณ์ทางการแพทย์ มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการคุณภาพของ กระบวนการต่าง ๆ ในองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอุปกรณ์การแพทย์ เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์เหล่านี้ มีคุณภาพสูงสุดและปลอดภัยต่อการใช้งานสำหรับผู้ป่วยและผู้ใช้งานทั่วไป โดยมาตรฐานนี้ครอบคลุม ถึงการออกแบบ การพัฒนา การผลิต การติดตั้ง การบริการ และการจัดจำหน่ายอุปกรณ์การแพทย์ ISO 13485 ได้กำหนดข้อกำหนดและขั้นตอนการทำงานที่สอดคล้องกับความต้องการของกฎหมาย และข้อบังคับของหลายประเทศ ทำให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ปฏิบัติตามมาตรฐานนี้มีความ น่าเชื่อถือและมีมาตรฐานการดำเนินงานในระดับสากล

ขอบเขตของมาตรฐาน ISO 13485 ประกอบด้วยการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ ทางทางการแพทย์ที่ต้องควบคุมและทบทวนกระบวนการในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การวางแผน การกำหนด คุณลักษณะ จนถึงการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์มีประสิทธิภาพและปลอดภัยตามที่กำหนดไว้. ในด้านการควบคุมกระบวนการผลิต มาตรฐานนี้กำหนดให้ควบคุมคุณภาพในทุกขั้นตอน เช่น การ เลือกใช้วัสดุ การประกอบ และการตรวจสอบ เพื่อรักษามาตรฐานการผลิตและลดความเสี่ยงต่อ ผู้ใช้งาน. การบริหารจัดการความเสี่ยงเป็นอีกหนึ่งขอบเขตสำคัญ โดยระบุและจัดการความเสี่ยงที่อาจ เกิดขึ้นในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบ ผลิต ขนส่ง ติดตั้ง และซ่อมบำรุง เพื่อให้กระบวนการ ทั้งหมดปลอดภัยที่สุด

มาตรฐานยังให้ความสำคัญกับการจัดการข้อร้องเรียนและความผิดพลาด โดย กำหนดให้องค์กรจัดการข้อร้องเรียนจากลูกค้า บันทึกลงและวิเคราะห์ข้อร้องเรียนเหล่านั้นเพื่อหาแนว ทางแก้ไขและป้องกันปัญหาในอนาคต เพื่อรักษาความน่าเชื่อถือและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างต่อเนื่อง. นอกจากนี้ ยังต้องมีการตรวจสอบและทวนสอบคุณภาพในกระบวนการต่างๆ อย่าง สม่าเสมอ รวมถึงตรวจสอบผลิตภัณฑ์จากการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ทางการแพทย์มีคุณภาพ ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

2.3.3 ISO/IEC 80001 การบริหารความเสี่ยงสำหรับระบบ IT ในโรงพยาบาล

ISO/IEC 80001 เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดแนวทางการจัด ความเสี่ยงในการใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) ร่วมกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสถานพยาบาล เช่น โรงพยาบาลและคลินิก โดยมุ่งเน้นไปที่การลดความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย ของผู้ป่วย และให้การดูแลรักษาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ภายใต้การพัฒนาเทคโนโลยีที่มีความ ซับซ้อนและก้าวหน้า ระบบ IT และอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลจะมีการเชื่อมต่อและทำงาน ร่วมกันอย่างหลากหลาย ทำให้การจัดการความเสี่ยงเหล่านี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ISO/IEC 80001 ยังให้แนวทางในการทำงานร่วมกันระหว่างโรงพยาบาลและผู้ผลิตอุปกรณ์การแพทย์ ซึ่งทั้ง

สองฝ่ายจะต้องร่วมมือกันในการประเมิน วิเคราะห์ และควบคุมความเสี่ยง นอกจากนี้ ผู้ให้บริการด้านสุขภาพจะต้องมีการจัดทำกระบวนการที่รองรับการปรับปรุงและพัฒนาแนวทางการบริหารความเสี่ยงที่มีความยืดหยุ่นและทันสมัยอยู่เสมอ เพื่อให้การใช้งานระบบ IT และอุปกรณ์ทางการแพทย์มีความปลอดภัยสูงสุดในสภาพแวดล้อมจริง มาตรฐานนี้ยังครอบคลุมถึงการประเมินผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น โครงสร้างพื้นฐานในโรงพยาบาลและความเสี่ยงที่เกิดจากการเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอก รวมถึงแนวทางการบรรเทาความเสี่ยงเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่ปลอดภัย ขณะเดียวกันยังช่วยให้การจัดการข้อมูลทางการแพทย์มีประสิทธิภาพและปกป้องความเป็นส่วนตัวของผู้ป่วย

วัตถุประสงค์ของมาตรฐาน ISO/IEC 80001 คือ การบริหารจัดการความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทางการแพทย์กับระบบ IT โดยเน้นการระบุและประเมินความเสี่ยงเพื่อจัดการและลดความเสี่ยงเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม นอกจากนี้มาตรฐานยังช่วยรับประกันความปลอดภัยโดยกำหนดแนวทางปฏิบัติที่ช่วยให้ผู้ดูแลระบบและผู้ผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์เข้าใจถึงข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการใช้งานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ทางการแพทย์และระบบ IT อีกทั้งยังสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในโรงพยาบาลหรือองค์กรด้านสุขภาพให้สามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ร่วมกับระบบ IT ได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย โดยอ้างอิงข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

หลักการของ ISO/IEC 80001 มุ่งเน้นการประเมินและจัดการความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์และระบบ IT ร่วมกัน โดยเริ่มจากการจัดทำกระบวนการประเมินความเสี่ยงที่ครอบคลุมเพื่อระบุปัจจัยเสี่ยงและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น พร้อมทั้งกำหนดแผนการจัดการความเสี่ยงที่ชัดเจน รวมถึงวิธีการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น นอกจากนี้ การสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับความเสี่ยงระหว่างผู้ใช้งาน ผู้ผลิตอุปกรณ์ และบุคลากรทางการแพทย์มีความสำคัญเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจอย่างมีข้อมูล อีกทั้งยังเน้นการปรับปรุงกระบวนการบริหารความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสภาพแวดล้อมในโรงพยาบาล โดยมุ่งรักษาความปลอดภัยและประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว

2.3.4 IEC 60601 ความปลอดภัยของอุปกรณ์ทางการแพทย์

IEC 60601 เป็นมาตรฐานสากลที่กำหนดข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยมีการจัดทำโดย International Electrotechnical Commission (IEC) ซึ่งเป็นองค์กรที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรฐานทางด้านเทคนิคสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก

มาตรฐาน IEC 60601 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรับประกันความปลอดภัยของผู้ป่วยและผู้ใช้ในขณะที่ใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์ที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐานนี้จะต้องผ่านการทดสอบและประเมินเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอันตรายจากการใช้หรือการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์

หลักการความปลอดภัย IEC 60601 ใช้หลักการความปลอดภัยหลายประการที่สำคัญ เช่นการป้องกันไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าช็อตทั้งจากผู้ป่วยและผู้ใช้งาน, การป้องกันความร้อน เพื่อลดความเสี่ยงจากการสัมผัสความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์, การป้องกันจากรังสี เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ไม่ปล่อยรังสีที่อาจเป็นอันตราย, การประกันความน่าเชื่อถือ อุปกรณ์จะต้องทำงานได้ตามปกติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

มาตรฐาน ISO 9001:2015 เป็นมาตรฐานระบบบริหารคุณภาพที่กำหนดโดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization – ISO) เพื่อใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพการดำเนินงานภายในองค์กรให้มีคุณภาพอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในด้านการจัดการที่เน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ มาตรฐานนี้ได้ถูกนำไปใช้ในองค์กรทั่วโลกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางธุรกิจ และการควบคุมคุณภาพในกระบวนการต่างๆ ภายในองค์กร



บทที่ 3

การออกแบบระบบ

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการออกแบบชุดอุปกรณ์ เพื่อสามารถนำมาไปเป็นแนวทางในการสร้างชิ้นงาน โดยเริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ ออกแบบการทำงานและใช้ควบคุม Board WeMos D1 Mini ESP8266 ด้วยโปรแกรม Arduino IDE โดย Board WeMos D1 Mini ESP8266 ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อ Wi-Fi @SUT-IoT โดยสามารถวัดความแรงของสัญญาณ และส่งค่าไปยัง Firebase เพื่อคำนวณระยะทางห่างและตำแหน่งคาดเดาแล้วทำการแสดงผลผ่าน Web Application

3.2 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 WeMos D1 Mini

WeMos D1 Mini เป็นบอร์ดพัฒนาที่ใช้ชิป ESP8266 ซึ่งรองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และมีขนาดเล็กกะทัดรัด เหมาะสำหรับโปรเจกต์ IoT (Internet of Things) ที่ต้องการการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน Wi-Fi โดยบอร์ดนี้ได้รับความนิยมจากนักพัฒนาเนื่องจากราคาถูกและใช้งานง่าย การเขียนโปรแกรมสามารถทำได้ผ่าน Arduino IDE ซึ่งช่วยให้การพัฒนาโปรเจกต์เป็นไปอย่างรวดเร็วและสะดวกสบาย โดยสามารถโปรแกรมและทดสอบการทำงานได้โดยไม่ต้องมีขั้นตอนซับซ้อน บอร์ด WeMos D1 Mini มักถูกใช้ในโปรเจกต์ที่ต้องการการเชื่อมต่อ Wi-Fi เช่น ระบบควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล การเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ หรือแม้กระทั่งการพัฒนาอุปกรณ์ IoT ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

WeMos D1 Mini มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ ขนาดที่เล็กและพกพาสะดวกทำให้เหมาะสำหรับการพัฒนาโปรเจกต์ในพื้นที่จำกัด มีขา GPIO สำหรับการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ต่างๆ และสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย Wi-Fi ได้อย่างง่ายดาย ตัวบอร์ดรองรับการใช้พลังงานต่ำทำให้สามารถใช้งานในโปรเจกต์ที่ต้องการประหยัดพลังงานหรืออุปกรณ์ที่ทำงานในระยะยาวได้ บอร์ดนี้ยังมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับคุณสมบัติที่มี ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นในการพัฒนาโปรเจกต์ IoT หรือผู้ที่ต้องการพัฒนาอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

ในด้านการใช้งาน, WeMos D1 Mini สามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกล เช่น การเปิด-ปิดไฟผ่านการเชื่อมต่อ Wi-Fi หรือการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, ความชื้น หรือเซ็นเซอร์ตรวจจับการ

เคลื่อนไหว และส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลหรือคลาวด์ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาโปรเจกต์ที่ต้องการการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อการตรวจสอบและควบคุมในเวลาเดียวกัน

เนื่องจาก WeMos D1 Mini รองรับการเขียนโปรแกรมผ่าน Arduino IDE, นักพัฒนาจึงสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายๆ โดยไม่ต้องเรียนรู้ภาษาใหม่หรือเครื่องมือที่ซับซ้อน ทำให้การพัฒนาโปรเจกต์เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสะดวกสบาย นอกจากนี้ยังรองรับการใช้งานกับหลายฟังก์ชันและแอปพลิเคชันที่ใช้งานในหลาย ๆ สถานการณ์ ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ หรือการใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในงานต่างๆ ด้วยความสามารถในการเชื่อมต่อกับ Wi-Fi, WeMos D1 Mini จึงเหมาะสำหรับการสร้างระบบ IoT ที่มีการทำงานแบบอัตโนมัติ หรือแม้แต่การพัฒนาแอปพลิเคชันที่สามารถควบคุมอุปกรณ์จากระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือแม้กระทั่งการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว หรือเซ็นเซอร์ความชื้นเพื่อใช้ในโปรเจกต์ที่หลากหลาย



รูปที่ 3.1 WeMos D1 mini NodeMCU WIFI ESP8266

(ที่มา : <https://www.cybertice.com/>)

3.2.2 บอร์ดโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650

โมดูลนี้ใช้สำหรับ ชาร์จเซลล์ลิเทียมหรือ LITHIUM Multi สามารถใช้จากชาร์จพอร์ต USB และสามารถถูกใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้า 3.6 3.7 V ฯลฯ 18650, พอลิเมอร์และแบตเตอรี่ลิเทียมอื่นๆ ได้ พร้อมมีวงจรป้องกันชาร์จเต็มแล้วจะทำการตัดการชาร์จอีกด้วย

ข้อมูลจำเพาะ

ประเภท : ตัวควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ใช้กับ: แบตเตอรี่ลิเทียม 18650

ทนกระแส: 1A

ความแม่นยำในการชาร์จ: 1.5%.

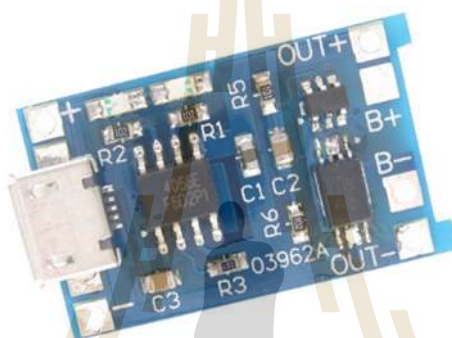
แรงดันไฟฟ้าขาเข้า: 4.5 V – 5.5 V.

แรงดันไฟฟ้า: 4.2 V.

ชุดสัญญาณไฟแสดงผล LED: สีแดงกำลังชาร์จสีเขียวจะชาร์จเต็ม

อินพุตอินเทอร์เฟซ : Micro USB.

อุณหภูมิในการทำงาน: – 10 °C ถึง + 85 °C ขนาด : 27×17 มม.



รูปที่ 3.2 บอร์ดโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 18650

(ที่มา: <https://jekdiy.com/>)

3.2.3 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Lithium-Ion Battery) เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับ ความนิยมและถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล รวมถึงยานพาหนะไฟฟ้า (EV) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีจุดเด่นหลายประการ ไม่ว่าจะเป็น ความสามารถในการเก็บพลังงานสูง มีน้ำหนักเบา และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่แบบอื่น ๆ ซึ่งทำให้เหมาะกับการใช้งานในหลากหลายอุปกรณ์

หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนเป็นการเคลื่อนที่ของไอออนลิเทียม ระหว่างขั้วไฟฟ้าบวกและขั้วไฟฟ้านลบ ในขณะที่ชาร์จไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ และในขณะที่จ่ายพลังงานไอออนเหล่านี้จะเคลื่อนที่กลับไปยังขั้วบวก โครงสร้างนี้ช่วยให้แบตเตอรี่ สามารถเก็บพลังงานได้มากต่อหน่วยน้ำหนัก ทำให้เหมาะกับการใช้งานพกพาที่ต้องการประสิทธิภาพสูง

ถึงแม้แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนจะมีข้อดีหลายประการ เช่น ความหนาแน่นของพลังงานสูงที่ช่วยให้อุปกรณ์ใช้งานได้นานต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง แต่ก็มีข้อควรระวังด้านความปลอดภัย หากเกิดความร้อนสูงเกินไปอาจเสี่ยงต่อการระเบิดหรือไฟไหม้ได้ ดังนั้นการจัดการแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนอย่างระมัดระวังและถูกวิธีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การเพิ่มเทคโนโลยีการระบายความร้อน การปรับปรุงให้สามารถจ่ายพลังงานที่สูงขึ้น และการยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้มีผลให้แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูง และเป็นส่วนสำคัญในโลกของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 16340



รูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 16340
(ที่มา: <https://www.vapcelltech.com/>)

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการทดสอบ

คัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 7 แบบ ได้แก่

$$d = 10^{\left(\frac{rssi - A}{10 \times n}\right)} \quad (4)$$

- **rssi**: ค่าที่ใช้วัดความแรงของสัญญาณไร้สายที่รับได้ โดยมีกวดในหน่วย dBm ซึ่งค่าที่ต่ำกว่าจะบ่งบอกถึงสัญญาณที่อ่อนกว่า
- **n** : ค่าที่ใช้ปรับการสูญเสียสัญญาณในการกระจายสัญญาณไร้สาย เนื่องจากปัจจัยแวดล้อม
- **A** : กำลังของสัญญาณที่ระยะ 1 เมตรจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย โดยมักใช้เป็นค่ามาตรฐานในคำนวณความแรงของสัญญาณ

$$d = 10^{\left(\frac{\text{transmitterPower} - \text{rssi} - (20 \times \log_{10}(f)) - 32.44}{10 \times n}\right)} \quad (5)$$

- **transmitterPower**: กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานโดยอุปกรณ์เพื่อส่งสัญญาณ โดยมีวัดในหน่วย dBm
- **f**: ความถี่ของสัญญาณวิทยุที่ใช้สำหรับการสื่อสาร โดยวัดเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

$$d = \exp\left(\frac{27.55 - (20 \times \log_{10}(f)) + \text{abs}(\text{rssi})}{20}\right) \quad (6)$$

$$d = 10^{\left(\frac{\text{transmitterPower} - \text{rssi}}{10 \times n}\right)} \quad (7)$$

$$d = 10^{\left(\frac{\text{rssi} - A}{10 \times n}\right) + X} \quad (8)$$

- **X**: ตัวแปรสุ่มที่แสดงถึงการหักเหของสัญญาณ (shadow fading) ซึ่งเป็นผลกระทบจากสิ่งกีดขวางหรือการกระจายของสัญญาณในพื้นที่

$$d = \left(\frac{\text{rssi} \times 2}{380}\right) \times \left(\frac{S}{2 \times 10^7}\right) \quad (9)$$

- **S**: ความเร็วที่แสงเดินทาง ซึ่งมีค่าประมาณ 299,792,458 เมตรต่อวินาที

$$d = \sqrt{h^2 + \left(\frac{P_t}{P_r} \times ((4\pi f)^2)\right)} \quad (10)$$

- **h**: หมายถึงระยะทางในแนวตั้งระหว่างสายอากาศที่ส่งและสายอากาศที่รับสัญญาณ
- **P_t**: คือกำลังส่งที่สัญญาณถูกส่งจากตัวส่งสัญญาณ
- **P_r**: คือกำลังรับที่สัญญาณที่ตัวรับได้รับ

ที่ใช้ในการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระจายสัญญาณ เช่น สภาพแวดล้อม สิ่งกีดขวาง และระยะห่าง เพื่อนำมาทดสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการทดสอบมีดังนี้

3.3.2 การเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมโรงพยาบาล

ในการวิจัยนี้ ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้ง 7 แบบแล้วนำอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งไปติดตั้งในพื้นที่ต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาล เช่น ห้องผู้ป่วย ห้องผู้ป่วยหนัก (ICU) และห้อง VIP ซึ่งแต่ละพื้นที่มีโครงสร้างและสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกันและอาจส่งผล

ต่อความแม่นยำของการวัดค่า RSSI การเก็บข้อมูลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีต่อการคำนวณระยะทาง โดยทำการวัดค่า RSSI ในแต่ละพื้นที่ที่ระยะ 2, 5 และ 10 เมตร ของทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นจะมีการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งจริงแล้วนำไปทดสอบการใช้งานโดยติดกับเครื่องมือแพทย์แล้วนำไปใช้งานจริงในหอผู้ป่วยต่างๆภายในโรงพยาบาลแล้วเก็บผลการทดลอง

3.3.3 การคำนวณระยะทางจากค่า RSSI โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะเริ่มต้นด้วยการนำค่า RSSI ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละระยะทาง มาคำนวณระยะทางโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้ โดยแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีรูปแบบและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถประมาณระยะทางได้จากค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ละจุด เมื่อได้ผลลัพธ์การคำนวณจากทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับระยะทางจริงที่วัดได้จากการทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่ง เช่น ห้องผู้ป่วย ห้อง ICU และห้อง VIP การเปรียบเทียบนี้จะช่วยในการวิเคราะห์และประเมินความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายในโรงพยาบาล ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะช่วยให้เข้าใจถึงการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนดังนี้

3.3.4.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูล RSSI ที่เก็บได้จากการทดลองในแต่ละพื้นที่จะถูกจัดระเบียบในรูปแบบตาราง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ง่าย โดยข้อมูลจะประกอบไปด้วยระยะทางที่วัด และค่าที่ได้จาก RSSI ที่ถูกบันทึกในแต่ละพื้นที่ เช่น ห้องผู้ป่วย, ห้อง ICU และห้อง VIP

3.3.4.2 การคำนวณค่าเฉลี่ย

สำหรับแต่ละระยะทาง จะมีการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ได้จากการทดลองในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เราเห็นแนวโน้มของสัญญาณที่ได้รับจากแต่ละพื้นที่

3.3.4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า RSSI ที่ได้จากการทดลองในแต่ละพื้นที่ โดยใช้การวิเคราะห์สถิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า RSSI ระหว่างพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางแตกต่างกัน

3.3.4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

หลังจากได้ค่าเฉลี่ยและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการคำนวณระยะทาง โดยพิจารณาความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI ที่เก็บได้

3.3.4.5 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ จะมีการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดในการคำนวณระยะทางในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะถูกนำไปใช้ในการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสถานการณ์จริง

3.3.5 การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและทดสอบในสถานการณ์จริง

ในขั้นตอนการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI ที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลอง เราจะทำการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้รับการทดสอบ โดยพิจารณาความแม่นยำในการคำนวณและความเหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล การวิเคราะห์ผลการทดลองจะดำเนินการโดยใช้ข้อมูล RSSI ที่ถูกบันทึกในพื้นที่ต่าง ๆ ได้แก่ ห้องผู้ป่วย ห้อง ICU และห้อง VIP โดยคำนวณค่าเฉลี่ยและการเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่ละตัวโดยใช้สถิติ เช่น RMSE (Root Mean Square Error) หรือ MAE (Mean Absolute Error) เพื่อดูว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใดมีความแม่นยำมากที่สุด

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้ว เราจะเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ให้ผลลัพธ์แม่นยำที่สุดเพื่อใช้ในการทดสอบในสถานการณ์จริง โดยจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งในพื้นที่จริงภายในโรงพยาบาลและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกในการคำนวณระยะทางจากค่า RSSI ที่เก็บรวบรวมได้จากการทดสอบในสถานที่จริง การทดสอบนี้จะช่วยให้เราได้ประเมินความสามารถในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ในสภาพแวดล้อมจริง ผลการทดสอบในสถานการณ์จริงจะถูกบันทึกและวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงของตำแหน่งที่อุปกรณ์ติดตาม ซึ่งจะทำให้เราเข้าใจถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกและสามารถปรับปรุงการติดตามตำแหน่งได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบระบบการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกมาอย่างเหมาะสม เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการติดตามตำแหน่งในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล ผลการทดลองจะถูกวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ระยะเวลาจริงที่วัดได้จากการติดตามตำแหน่ง นอกจากนี้ยังมีการคำนวณค่า Mean Percentage Error (MPE) สำหรับแต่ละเทคนิคการติดตามตำแหน่ง ได้แก่ Trilateration และ Fingerprint เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและประสิทธิภาพในการติดตามตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริง

4.2 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



4.2.1 นำกล่องอุปกรณ์วัดค่าความแรงของสัญญาณ RSSI มาติดตั้งและทดลองใช้งาน
ดังรูปที่ 4.1

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 กล้องอุปกรณ์วัดค่าความแรงของสัญญาณ และการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งที่เครื่องมือแพทย์ ก) กล้องอุปกรณ์วัดค่าความแรงของสัญญาณ และ ข) การติดตั้งกล้องอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งที่เครื่องมือแพทย์

- 1) ทำการนำอุปกรณ์ต้นแบบติดตั้งไว้ที่กล้องสี่ดำทึบ และนำไปติดไว้ที่ด้านหลังเครื่องมือแพทย์
- 2) เชื่อมต่อ Wi-Fi @SUT-IoT เข้ากับบอร์ด WeMos D1 Mini ESP8266 เพื่อวัดค่าความแรงของ สัญญาณ และส่งค่าไปยัง Firebase เพื่อคำนวณและนำมาแสดงยัง Web App



4.2.2 ลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบ

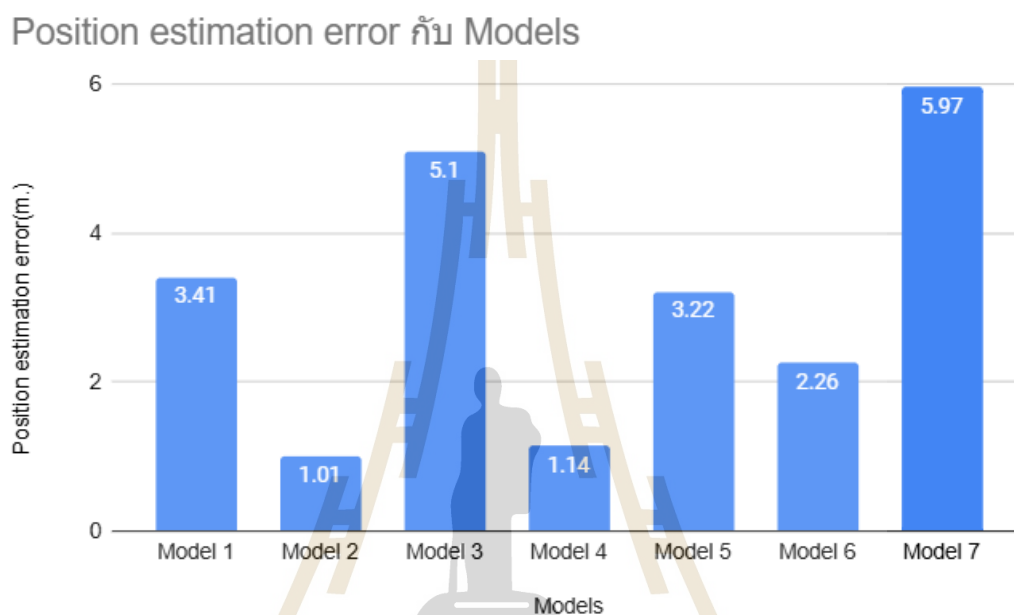
ก)

ข)

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ต้นแบบ ก) ด้านบน และ ข) ด้านข้าง

4.3 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยไปทดสอบในเวิร์ดต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาล โดยผลเป็นไปตามรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแต่ละแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 ซึ่งสามารถคำนวณระยะทางจากค่า RSSI ได้อย่างแม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางจริงที่วัดได้จากการติดตามตำแหน่งอุปกรณ์ทางการแพทย์การเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 เป็นผลมาจากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (error) ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ที่ได้ทำการทดลอง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถปรับตัวได้ดีต่อสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลาย เช่น ห้องผู้ป่วย ห้องผู้ป่วยหนัก (ICU) และห้อง VIP ซึ่งมีโครงสร้างและสิ่งกีดขวางที่แตกต่างกัน การทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 มีความสามารถในการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ RSSI ที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การสะท้อนของสัญญาณ

การลดทอนของสัญญาณ และสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถติดตามตำแหน่งได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นไปตามรูปที่ 4.3

4.4 การหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ด้วยการประยุกต์เทคโนโลยีระบุตำแหน่งภายในอาคาร

เราได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ โดยทำการวิจัยมาใช้ในการหาการระบุตำแหน่งเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการค้นหาอุปกรณ์ จากการรวมโมเดลที่ 2 เข้ากับอุปกรณ์

$$Distance = e^{\left(\frac{27.55 - (20 \log_{10} 2450) + |RSSI|}{18}\right)} \quad (11)$$

โดยที่ $Distance$ คือ ระยะทาง มีหน่วยเป็น เมตร
 $RSSI$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณ มีหน่วยเป็น dBm

4.5 การประมาณระยะเวลาการใช้งานของชุดอุปกรณ์

เนื่องจากอุปกรณ์ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน จึงได้ทำการคำนวณการใช้พลังงานเพื่อประมาณการจำนวนวันที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องชาร์จใหม่ การคำนวณนี้พิจารณาจากอัตราการใช้พลังงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ในแต่ละสถานะการทำงานและความจุของแบตเตอรี่ ดังนี้

4.5.1 สูตรพื้นฐานในการคำนวณ

การคำนวณพลังงานที่ใช้งาน จะใช้สูตรดังนี้

$$E = (I \times V \times t) \quad (12)$$

โดยที่

- E = พลังงาน (Joule หรือ mWh)
- I = กระแสไฟฟ้า (Ampere)
- V = แรงดันไฟฟ้า (Volt)
- t = ระยะเวลา (ชั่วโมงหรือวินาที)

และคำนวณหาพลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดจากสูตร

$$E_{total} = (I_{Active} \times V \times t_{Active}) + (I_{Sleep} \times V \times t_{Sleep}) \quad (13)$$

ในการประมาณการใช้งานของอุปกรณ์ จะใช้สูตรดังนี้

$$T = \frac{C}{I} \quad (14)$$

โดยที่ T คือ ระยะเวลาใช้งาน (ชั่วโมง)

C คือ ความจุของแบตเตอรี่ (mAh)

I คือ การใช้พลังงานของอุปกรณ์ (mA)

ดังนั้น

โหมด Active ใช้พลังงาน 80 mA เป็นเวลา 7 นาทีเพื่อส่งพิกัดทุก 7 นาทีให้กับ RSSI จากหลายจุดและประมวลผล

โหมด Sleep ใช้พลังงาน 2 mA เป็นเวลา 142 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่อุปกรณ์พักการทำงานเพื่อประหยัดพลังงาน ก่อนตื่นขึ้นมาทำงานรอบถัดไป

ขั้นตอนการคำนวณเพื่อนำมาใช้งาน

1. การใช้พลังงานในโหมด Active ระยะเวลาในโหมด Active คือ 7 นาที = 7/60 ชั่วโมง = 0.116 ชั่วโมง ดังนั้น $E_{Active} = 80 \text{ mA} \times 0.116 \text{ ชั่วโมง} = 9.3 \text{ mAh}$
2. การใช้พลังงานในโหมด Sleep ระยะเวลาในโหมด Sleep คือ 142 นาที = 142/60 ชั่วโมง = 2.36 ชั่วโมง ดังนั้น $E_{Sleep} = 2 \text{ mA} \times 2.36 \text{ ชั่วโมง} = 4.72 \text{ mAh}$
3. การใช้พลังงานรวมต่อรอบการทำงานคือ $E_{total} = E_{Active} + E_{Sleep} = 9.3 \text{ mAh} + 4.72 \text{ mAh} = 14.02 \text{ mAh}$
4. คำนวณการใช้พลังงานรวมในหนึ่งวัน จำนวนรอบต่อวัน = 24 ชั่วโมง/ช่วงเวลาที่ Sleep/รอบ = 24 ชั่วโมง/ 2.36 ชั่วโมง/รอบ ≈ 11 รอบต่อวัน
ดังนั้น การใช้พลังงานรวมในหนึ่งวันคือ $E_{day} = 14.02 \text{ mAh} \times 11 \text{ รอบต่อวัน} = 154.22 \text{ mAh/วัน}$

5. คำนวณระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่มีความจุ 850 mAh ระยะเวลาใช้งานจะคำนวณได้จาก

$$T = \frac{850 \text{ mAh}}{154.22 \text{ mAh}} \approx 6.69 \text{ วัน หรือ } 7 \text{ วัน}$$

ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำเสนอของเราสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่ต้องทำการชาร์จเป็นระยะเวลาประมาณ 7 วัน

4.6 การทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์

เพื่อทดสอบค่าความแม่นยำของอุปกรณ์หลังจากมีการปรับปรุงเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration โดยนำ โมเดลที่ 2 และ โมเดลที่ 4 ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณระยะทางจากค่าความแรงสัญญาณ (RSSI) และปรับค่าสัมประสิทธิ์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร มาประยุกต์ใช้งานใหม่ เนื่องจากทั้งสองโมเดลให้ค่าความแม่นยำสูงกว่ารูปแบบอื่น จึงทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้องของการแสดงตำแหน่ง และเพื่อเปรียบเทียบว่าโมเดลใดเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้ระบุตำแหน่งภายในโรงพยาบาลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบโมเดลที่ 2 และ 4 และแต่ละสภาพแวดล้อม

Point	Floor	X(Actual)	Y(Actual)	X(โมเดลที่ 2)	Y(โมเดลที่ 2)	X(โมเดลที่ 4)	Y(โมเดลที่ 4)
2	4	40	30	42	29	45	25
3	4	80	40	78	43	75	37
4	4	92	60	92	59	90	65
2	7	33	25	30	22	36	25
3	7	67	36	68	35	60	32
4	7	85	55	80	52	80	54
2	10	25	20	26	21	20	24
3	10	47	20	50	23	53	23
4	10	72	20	75	18	78	26

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- 1) ชั้น 4 (ห้องพักรักษาผู้ป่วยปกติ)
 - โมเดล 2 ให้ค่า error ต่ำกว่าโมเดล 4
 - ค่า X_Error สูงสุด = 2 เมตร, Y_Error สูงสุด = 3 เมตร
 - สรุป: โมเดล 2 ให้ความแม่นยำสูงที่สุดในชั้นนี้
- 2) ชั้น 7 (ICU)
 - ผลการทดสอบบางจุดใกล้เคียงกัน เช่น จุด 2 และ 4
 - จุด 3 โมเดล 2 มีค่า error น้อยกว่าโมเดล 4
 - สรุป: โมเดล 2 มีแนวโน้มให้ความแม่นยำสูงกว่าเล็กน้อย

3) ชั้น 10 (ห้องพิเศษ)

- โมเดล 2 ให้ค่า error ต่ำกว่าโมเดล 4
- ค่า X_Error สูงสุด = 3 เมตร, Y_Error สูงสุด = 3 เมตร
- สรุป: โมเดล 2 มีความแม่นยำสูงที่สุด

ดังนั้น จึงได้นำโมเดลที่ 2 ไปทดสอบในการใช้งานจริง และทำการเก็บผลลัพธ์เพื่อใช้ในการศึกษาต่อ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

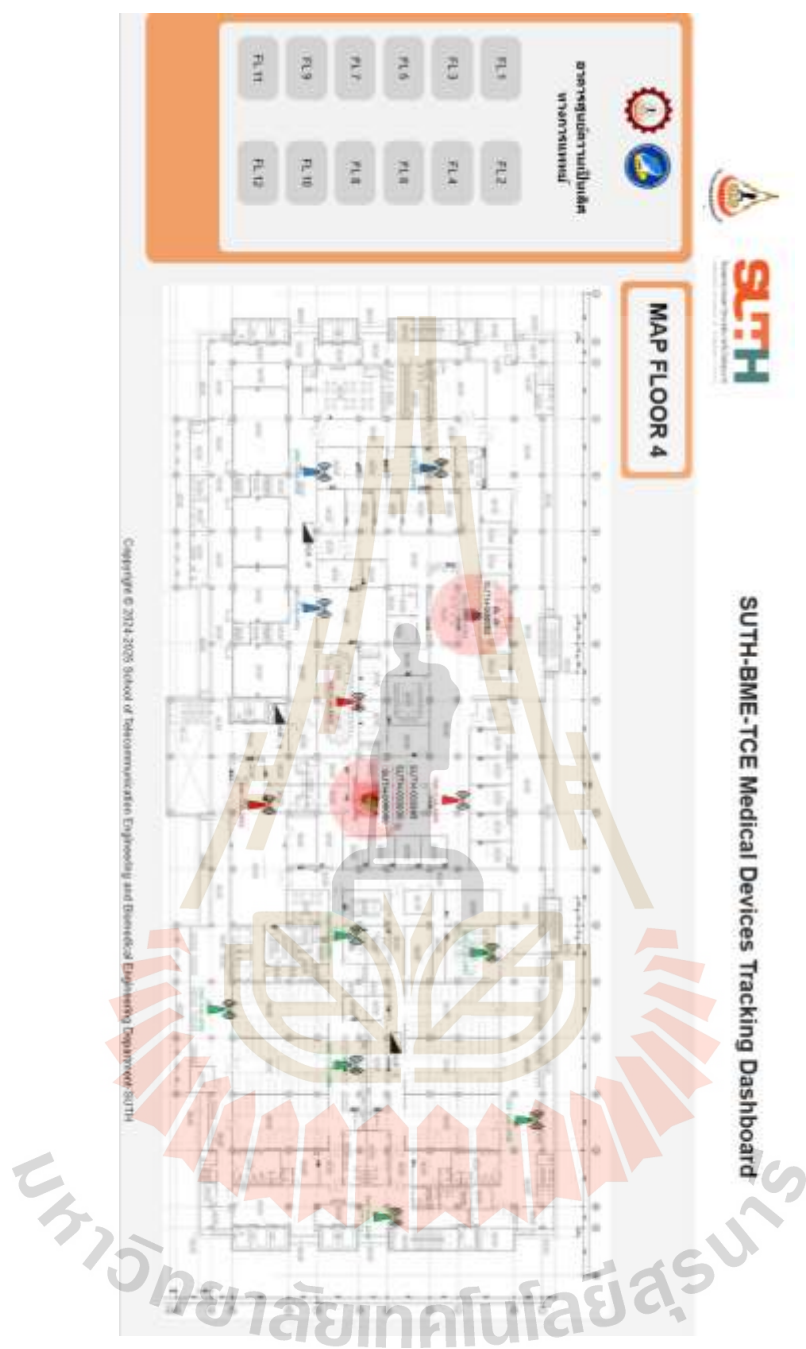


รูปที่ 4.4 แผนที่และตำแหน่งการติดตั้ง Access Point ภายในโรงพยาบาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6.1 การแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งเครื่องมือแพทย์ ใน Web Application



ก)



ข)

รูปที่ 4.5 ค้นหาเครื่องมือแพทย์ผ่าน Web Application ก) เข้า Web Application เพื่อทำการเลือกอาคารที่ค้นหา และ ข) เลือกชั้น และค้นหาเครื่องมือแพทย์ โดยการดูที่แผนที่ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.7 Maximum Permissible Error (MPE Profile)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่ได้จากการวัดมาสร้างเป็นโปรไฟล์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Positioning Error: MPE Profile) ซึ่งใช้ในการประเมินค่าความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงและค่าที่คาดการณ์หรือคำนวณไว้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การสร้าง MPE Profile ช่วยให้เห็นแนวโน้มและลักษณะของความคลาดเคลื่อนในแต่ละบริเวณได้อย่างชัดเจน เช่น พื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางมาก สัญญาณสะท้อน หรือสภาพแวดล้อมที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หนาแน่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัดตำแหน่ง ทั้งนี้การวิเคราะห์ MPE Profile ในแต่ละชั้น (ชั้น 4, ชั้น 7 และชั้น 10) ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน ได้แก่ ห้องพักผู้ป่วยปกติ ห้องผู้ป่วยวิกฤต (ICU) และห้องผู้ป่วยพิเศษ มีเป้าหมายเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งและตรวจสอบว่าปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยค่าที่ได้แสดงผลเป็นหน่วยเมตร (m)

สมการความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) u_A

$$u_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

โดยที่ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูลทั้งหมด
 n คือ จำนวนที่ทำการวัด

และค่าความแตกต่างสูงสุดระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงคำนวณได้จาก

$$MPE = u_A + Error \quad (16)$$

โดยที่ u_A คือ Uncertainty of Measurement
 $Error$ คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง

ซึ่ง MPE แบ่งออกเป็น 2 แกนได้แก่ MPE of X-axis และ MPE of Y-axis ดังนี้

4.7.1 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4)

ในตารางที่ 4.2 – 4.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในจุดที่ 1 ของแต่ละชั้น ซึ่งทำขึ้นเพื่อประเมินความแม่นยำ (Accuracy) และความแปรปรวน (Variability) ของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากจุดเชื่อมต่อ (Access Point) โดยมีการทดสอบซ้ำหลายครั้ง ณ ตำแหน่งเดียวกัน

เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของสัญญาณและประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งภายในอาคาร ทั้งในเทคนิค Fingerprinting ซึ่งใช้การเปรียบเทียบลักษณะลายนิ้วมือสัญญาณ (Signal Fingerprint) และเทคนิค Trilateration ซึ่งใช้ระยะทางที่คำนวณจากค่าความแรงสัญญาณในการระบุตำแหน่ง เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแต่ละวิธีในสภาพแวดล้อมจริงของอาคาร

ตารางที่ 4.2 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4) แบบ Fingerprinting

Fingerprinting							
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)	Radian
1	4	1	61	45	61	39	2.84
		2	61	45	61	39	2.99
		3	61	45	61	39	2.68
		4	61	45	61	39	3.75
		5	61	45	61	39	3.54
		6	61	45	61	39	4.19
		7	61	45	61	39	3.54
		8	61	45	61	39	3.54
		9	61	45	61	39	3.35
		10	61	45	61	39	3.74
Average					61	39	3.42
	Error	u_A				MPE	
X	2.45	0.00				2.45	
Y	2.45	0.00				2.45	

ตารางที่ 4.3 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4) แบบ Trilateration

Trilateration						
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)
1	4	1	50	37	49	38
		2	50	37	49	38
		3	50	37	49	38
		4	50	37	50	39
		5	50	37	49	39
		6	50	37	51	37
		7	50	37	50	39
		8	50	37	49	37
		9	50	37	49	37
		10	50	37	49	38
Average					49.40	38
		Error	u_A		MPE	
X		0.63	0.22		0.85	
Y		0.63	0.26		0.89	

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจากการค้นหาเครื่องมือแพทย์ในพิกัด (61, 45) ภายในห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4) โดยการทดสอบแบบ Fingerprinting พบว่า มีค่า MPE ของแกน X เท่ากับ 2.45 เมตร และ MPE ของแกน Y เท่ากับ 2.45 เมตร และ ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจากการค้นหาเครื่องมือแพทย์ในพิกัด (50, 37) โดยการทดสอบแบบ Trilateration พบว่า มีค่า MPE ของแกน X เท่ากับ 0.85 เมตร และ MPE ของแกน Y เท่ากับ 0.89 เมตร จากผลการทดสอบพบว่า เทคนิค Trilateration ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เนื่องจากภายในห้องพักผู้ป่วยปกติมีสิ่งกีดขวางน้อย ส่งผลให้ penetration loss ของสัญญาณต่ำ ทำให้สัญญาณที่รับได้มีความแรงและเสถียร ส่งผลให้ค่าการระบุตำแหน่งมีความแม่นยำสูง

4.7.2 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7)

ตารางที่ 4.4 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7) แบบ Fingerprinting

Fingerprinting							
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)	Radian
1	7	1	39	12	36.25	22	5.23
		2	39	12	36.25	22	5.84
		3	39	12	36.25	22	5.84
		4	39	12	36.25	22	5.84
		5	39	12	36.25	22	5.23
		6	39	12	36.25	22	5.53
		7	39	12	36.25	22	4.94
		8	39	12	36.25	22	4.94
		9	39	12	36.25	22	5.52
		10	39	12	36.25	22	5.23
Average					36.25	22	5.41
	Error	u_A			MPE		
X	2.69	0.00			2.69		
Y	2.69	0.00			2.69		

ตารางที่ 4.5 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7)แบบ Trilateration

Trilateration						
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)
1	7	1	50	37	49	38
		2	50	37	49	38
		3	50	37	49	38
		4	50	37	50	39
		5	50	37	49	39
		6	50	37	51	37
		7	50	37	50	39
		8	50	37	49	37
		9	50	37	49	37
		10	50	37	49	38
Average					49.40	38.00
		Error	u_A		MPE	
X		0.63	0.22		0.85	
Y		0.63	0.26		0.89	

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบในห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ICU ชั้น 7) โดยการทดสอบแบบ Fingerprinting พบว่า มีค่า MPE ของแกน X และแกน Y เท่ากับ 2.69 เมตร ส่วน ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบแบบ Trilateration จากการค้นหาเครื่องมือแพทย์ในพิกัด (50, 37) พบว่า มีค่า MPE ของแกน X เท่ากับ 0.85 เมตร และ MPE ของแกน Y เท่ากับ 0.89 เมตร ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า เทคนิค Trilateration ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด เนื่องจากแม้ภายในห้องจะมีสิ่งกีดขวางปานกลาง แต่ยังทำให้เกิด penetration loss ของสัญญาณ ซึ่งส่งผลให้ความแรงของสัญญาณลดลงเล็กน้อย ทำให้ค่าการระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับห้องที่สิ่งกีดขวางน้อย

4.7.3 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10)

ตารางที่ 4.6 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10) แบบ Fingerprinting

Fingerprinting							
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)	Radian
1	10	1	93	20	96	21	93
		2	93	20	96	21	93
		3	93	20	96	21	93
		4	93	20	96	21	93
		5	93	20	96	21	93
		6	93	20	96	21	93
		7	93	20	96	21	93
		8	93	20	96	21	93
		9	93	20	96	21	93
		10	93	20	96	21	93
Average					96	21	2.95
	Error	u_A			MPE		
X	2.69	0.00			2.69		
Y	2.69	0.00			2.69		

ตารางที่ 4.7 MPE Profile สภาพแวดล้อมห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ห้องพิเศษ ชั้น 10) แบบ Trilateration

Trilateration						
Point	Floor	Time	X(Actual)	Y(Actual)	X(Test)	Y(Test)
1	10	1	55	22	53	29
		2	55	22	59	28
		3	55	22	59	28
		4	55	22	59	29
		5	55	22	54	28
		6	55	22	58	26
		7	55	22	59	28
		8	55	22	59	29
		9	55	22	54	28
		10	55	22	58	26
Average					57.20	27.90
		Error	u_A		MPE	
X		2.47	1.01		3.48	
Y		2.47	0.45		2.92	

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการค้นหาเครื่องมือแพทย์ในพิกัด (93, 20) ภายในห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ชั้น 10) โดยการทดสอบแบบ Fingerprinting พบว่า มีค่า MPE ของแกน X และแกน Y เท่ากับ 2.69 เมตร และ ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบแบบ Trilateration จากการค้นหาเครื่องมือแพทย์ในพิกัด (55, 22) พบว่า มีค่า MPE ของแกน X เท่ากับ 3.48 เมตร และ MPE ของแกน Y เท่ากับ 2.92 เมตรผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า เทคนิค Fingerprinting ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า Trilateration เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวมีการติดตั้ง Access Points เฉพาะบริเวณหน้าห้องและสภาพแวดล้อมมีห้องและสิ่งกีดขวางจำนวนมาก ทำให้เกิด penetration loss ของสัญญาณสูงส่งผลให้ความแรงของสัญญาณลดลง ทำให้การประเมินตำแหน่งด้วย Trilateration ทำได้ยากและมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับชั้นอื่น ๆ

จากการทดสอบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิค Fingerprinting และ Trilateration ในพื้นที่จริง พบว่าผลการทดสอบในแต่ละชั้นให้ค่าความแม่นยำแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ โดยเทคนิค Trilateration ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางน้อยถึงปานกลาง เช่น ห้องพักผู้ป่วยปกติ (ชั้น 4) และห้องพักผู้ป่วยวิกฤต (ชั้น 7) เนื่องจากการสูญเสียการทะลุผ่านของสัญญาณ (penetration loss) มีค่าน้อย สัญญาณ Wi-Fi จึงมีความแรงและเสถียร ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งได้แม่นยำกว่า

อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหนาแน่น เช่น ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ (ชั้น 10) พบว่าเทคนิค Fingerprinting ให้ความแม่นยำสูงกว่า เนื่องจากเป็นเทคนิคที่อาศัยฐานข้อมูลลักษณะสัญญาณของแต่ละจุด (signal pattern) จึงสามารถระบุพิกัดได้แม่นยำแม้สัญญาณมีการสะท้อนหรือสูญเสียพลังงานสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยี Wi-Fi เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมของโรงพยาบาล ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ การวิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 7 รูปแบบที่ใช้คำนวณระยะทางจากค่า RSSI และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เหล่านี้ในสภาพแวดล้อมจริงของโรงพยาบาล เช่น ห้องผู้ป่วยทั่วไป ห้อง ICU และห้อง VIP

จากผลการทดลองในสถานที่ต่าง ๆ พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 มีความแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่คำนวณได้กับระยะทางจริงดังตารางที่ 4.1 และมีความเสถียรในการคำนวณในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางหลากหลายระดับ จึงได้เลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ 2 เพื่อใช้ในการพัฒนาและทดสอบระบบระบุตำแหน่งในขั้นตอนถัดไป

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการทดสอบในสถานการณ์จริงโดยติดตั้งอุปกรณ์ติดตามตำแหน่งในโรงพยาบาล และนำผลลัพธ์ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้ตัวชี้วัด MPE Profile ในการประเมินเทคนิค Trilateration และ Fingerprinting เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำแหน่ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบที่พัฒนาขึ้นควรมีการกำหนดรอบระยะเวลาสำหรับการบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างชัดเจน โดยเน้นการตรวจสอบฮาร์ดแวร์ การอัปเดตซอฟต์แวร์ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ นอกจากนี้ ควรติดตั้งระบบบันทึกข้อมูลการใช้งาน เช่น อัตราการสูญเสียสัญญาณ และการแจ้งเตือนปัญหา เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่อง การทดสอบระบบในระยะยาวภายใต้สถานการณ์จริง เช่น การใช้งานในพื้นที่ที่มีจำนวนผู้ใช้งานหนาแน่น หรือในช่วงเวลาที่มีการใช้งานอุปกรณ์จำนวนมาก จะช่วยให้สามารถประเมินความเสถียรของระบบรวมถึงแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ควรพัฒนาแผนการใช้งานระยะยาวที่คำนึงถึงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี และงบประมาณในอนาคต เพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น เช่น การขยายพื้นที่ใช้งานหรือการเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานในโรงพยาบาล แผนดังกล่าวจะช่วยให้ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mazlan, Aqilah Binti, and Yin Hoe Ng. "Robust Access Points Selection Strategies for Dynamic Indoor Localization." *IEEE Access* (2024).
- [2] Tyagi, Noopur, Jaiteg Singh, and Saravjeet Singh. "Review of indoor positioning system: Technologies and applications." *2022 International Conference on Data Analytics for Business and Industry (ICDABI)*. IEEE, 2022.
- [3] Youssef, M. A., & Agrawala, A. (2007). The Horus WLAN location determination system. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6(3), 285-301.
- [4] Chen, Y., Li, B., Zhang, L., & Fu, Y. (2012). Survey and evaluation of WiFi indoor positioning methods. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(3), 881-897.
- [5] Li, Y., Ren, F., Chen, G., & Zhao, Y. (2019). A WiFi-based indoor positioning system using trilateration algorithm. *IEEE Access*, 7, 29826-29836.
- [6] He, Jiajun, and Hing Cheung So. "A hybrid TDOA-fingerprinting-based localization system for LTE network." *IEEE Sensors Journal* 20.22 (2020): 13653-13665.
- [7] Pérez-Navarro, Antoni, et al. "Accuracy of a single position estimate for kNN-based fingerprinting indoor positioning applying error propagation theory." *IEEE Sensors Journal* (2023).
- [8] Hou, Chengjie, Yaqin Xie, and Zhizhong Zhang. "FCLoc: A novel indoor Wi-Fi fingerprints localization approach to enhance robustness and positioning accuracy." *IEEE Sensors Journal* 23.7 (2022): 7153-7167.
- [9] Youssef, M. A., & Agrawala, A. (2005). The Horus WLAN location determination system. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* (pp. 205-218). ACM.

- [10] Chen, R., Wang, L., & Li, M. (2017). A comprehensive survey of Wi-Fi fingerprinting techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(3), 1975-2009.
- [11] Park, Yang-Bae, and Ye Hoon Lee. "A novel unified trilateration method for RSSI based indoor localization." *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. IEEE, 2021.
- [12] Bach, Sy-Hung, and Soo-Yeong Yi. "Constrained Least-Squares Trilateration for Indoor Positioning System Under High GDOP Condition." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (2023).
- [13] Pakanon, Noppapadon, Monchai Chamchoy, and Pichaya Supanakoon. "Study on accuracy of trilateration method for indoor positioning with BLE beacons." *2020 6th international conference on engineering, applied sciences and technology (ICEAST)*. IEEE, 2020.
- [14] Li, J., Yang, S., Li, J., & Zhang, Y. (2021). A hybrid indoor positioning system based on Wi-Fi fingerprinting and trilateration. *IEEE Access*, 9, 15770-15783.
- [15] Gu, Y., Lo, A., & Niemegeers, I. (2019). A survey of indoor positioning systems and algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(2), 437-452. doi:10.1109/TSMC.2017.2694032.
- [16] Patel, R., Gupta, S., Kumar, A., & Dhaka, V. S. (2021). Recent advances in indoor localization technologies and their applications in healthcare. *IEEE Access*, 9, 15770-15790.
- [17] Brena, R. F., Ayala-Rivera, V., & Sanchez, V. (2018). Performance evaluation of WiFi fingerprinting methods for indoor positioning in a hospital environment. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(3), 458-469.
- [18] Xie, Yinqing, and Li Jiang. "Indoor Location Algorithm Based on WIFI Location Fingerprint." *2023 6th International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP)*. IEEE, 2023.
- [19] Park, Yang-Bae, and Ye Hoon Lee. "A novel unified trilateration method for RSSI based indoor localization." *2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. IEEE, 2021.

[20]Li, L., Li, F., & Liao, Q. (2021). Hybrid indoor positioning system based on WiFi fingerprinting and trilateration. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(7), 5325-5335. doi:10.1109/JIOT.2020.3036627





ภาคผนวก

บทความวิจัยระดับนานาชาติที่ได้รับการตีพิมพ์



The poster features a background image of Pattaya, Thailand, with a large blue speech bubble containing the dates '6-8 March 2024'. At the top, logos for co-hosts and technical sponsors are displayed. The main title 'iEECON 2024' is in large blue letters, followed by the location 'Pattaya, Chonburi, Thailand' and the theme 'Smart Factory and Intelligent Technology for Tomorrow'. Below this, the 'Conference Topics' are listed in three columns: Communications, Electronics & Control, and Power & Energy. Two circular inset images show a modern building and a green landscape with a circular path.

Co-hosted by :

Technical Sponsors :

12th International Electrical Engineering Congress

iEECON 2024

Pattaya, Chonburi, Thailand

Smart Factory

and Intelligent Technology for Tomorrow

6-8 March 2024

Conference Topics

COMMUNICATIONS

Communication Theory, Antennas and Propagation Optical Communications, Microwaves, Wireless Communications, Signal Processing for Communication, Channel Coding, Multimedia Communication, Remote Sensing and Applications, Metamaterials, etc.

ELECTRONICS & CONTROL

Analog Circuits, Filters and Data Conversion, Analog and Mixed Signal Processing, Embedded Computer System, Robotics, VLSI Design, Biomedical Electronics,

POWER & ENERGY

Smart Grid Technology, Planning, Management Operation, and Control, Electric Power Systems - Generation Transmission and Distribution, Electrical Machines, Energy Conversions, Renewable Energy Sources, Power Electronics, Energy Systems, Power Quality, High Voltage Engineering, Insulation and Materials, Piezoelectric ceramic and thin films, Energy storage materials and technology, energy harvesting and energy storage designs, Advanced characterization and properties of ferroelectric materials etc.

SUTH-BME-FindmE : Determine Real Time Position of Medical Devices in a Large Hospital

Kriengkri Banchen
School of Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology,
NakhonRatchasima, Thailand.
kriengkri.b@gmail.com

Rungnapa Sanguansin
School of Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology,
NakhonRatchasima, Thailand.
B6321369@g.sut.ac.th

Sakdison Lachompai
School of Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology,
NakhonRatchasima, Thailand.
B6333126@g.sut.ac.th

Settawit Poochaya
School of Telecommunication Engineering,
Suranaree University of Technology,
NakhonRatchasima, Thailand.
settawit@sut.ac.th

Abstract—Locating medical devices within a large hospital presents a challenge. Biomedical Engineers (BME) often traverse multiple floors in search of these devices for daily preventive maintenance. To address this, wireless access points have been installed on every floor of each building in the hospital. In response, a distance-based approach that utilizes both fingerprinting and trilateration techniques has been chosen. This research aims to develop a cost-effective technology for locating medical devices in large hospitals. Two configurations, one Device Under Test (DUT) per medical device and three DUTs per medical device, are proposed. Our findings indicate that trilateration combined with fingerprint techniques can be implemented affordably with improved position estimation. However, positioning errors may vary depending on the indoor environment.

Keywords—Hospital, Infusion pump, IPS, and Indoor

I. INTRODUCTION

Biomedical Engineering (BME) plays a crucial role in the maintenance and treatment of medical equipment to ensure optimal efficiency and reliability in medical devices. Preventive maintenance involves not only inspection and repairs but also the procurement and management of medical equipment, training of medical personnel, introduction and development of new technologies, ensuring safety and standards, providing support to medical teams, and analyzing and resolving issues that may arise during equipment usage.

To enhance the efficiency of medical equipment locating, various techniques for locating devices within large hospitals are explored. This article focuses on indoor positioning techniques in a large hospital area, including both direction-based and distance-based methods as outlined in [1]. Distance-based techniques utilizing trilateration and fingerprinting were selected. These methods not only reduce costs but also improve the performance of medical device position tracking by leveraging existing hospital installations without additional expenses. The distance-based techniques employed in this work include Trilateration and K-Nearest Neighbors (KNN) according to [2]. These methods are integrated to determine the positioning of medical device. A key advantage of employing these techniques is an increase in flexibility for BME engineers and a reduction in their

workload, not only enhancing their flexibility but also diminishing the burden of searching for and maintaining medical equipment. Finally, the proposed system demonstrates medical equipment locating using the suggested techniques, reducing the workload of BME engineers.

II. METHODOLOGY

In this section, we present relevant indoor positioning techniques in our mechanism for position estimation and error management. Firstly, the fingerprinting method, as outlined in [3], is introduced. The K-nearest neighbor (KNN) algorithm and trilateration are explained for indoor positioning, followed by a revisit to the workings of BME engineers.

The estimated distance calculation from RSSI (Received Signal Strength Indication), according to (1), depends on the characteristics of the hospital environment. The path loss exponent is influenced by the hospital floor and ward. VIP wards consist of more rooms constructed with concrete walls and wooden doors, while normal patient wards do not have concrete walls. The path loss exponent values are presented in TABLE I.

$$\gamma = 10^{\left(\frac{r - r_0}{10 \times P}\right)} \quad (1)$$

Where:

- γ is the distance to be determined.
- r is the Received RSSI value.
- r_0 is the standard RSSI value at 1 meter from access point to DUT.
- P is the path loss exponent according to table I.

Values of the path loss exponent must be adjusted based on the specific environment and devices utilized. This adjustment can be achieved through experimentation and comparison with known values in the operational environment.

TABLE 1 Path Loss Exponent [4]

Points	Path Loss Exponent
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	4 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in buildings	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

Fingerprinting Technology

Fingerprinting technology, in the context of indoor positioning, refers to a technique that involves mapping and identifying unique patterns of wireless signals within a specific environment, such as a hospital. This method utilizes wireless technologies like Wi-Fi, Bluetooth, or RFID to create a fingerprint or signature for different locations within a building [5]. This paper selected the 2.4GHz frequency band for operation in the hospital area. The process of the proposed system is described as follows:

Data Collection and Site Survey : The proposed system collects data on signal strength in terms of RSSI, propagation, and other characteristics from wireless access points or beacons in the real hospital environment. MAC addresses, room, and floor information are collected in all areas.

Fingerprint and Site Map : A unique fingerprint technique is generated with real location data. This fingerprint essentially comprises a set of features or attributes associated with the signals in that specific area.

Database Creation: The generated fingerprints are stored in a database along with the corresponding known locations.

Indoor Positioning and Localization: When the Device Under Test (DUT), such as a medical device or personnel carrying DUT, is connected within the operational area, the proposed system measures the current signal characteristics. It then compares these characteristics with the fingerprints in the database and determines the device's location.

Continuous Updating: Fingerprinting systems may continuously update their database to adapt to changes in the environment or signal conditions.

Fingerprinting is particularly useful in scenarios where GPS signals might be weak or unavailable, such as indoor environments. It provides a cost-effective and efficient way to achieve accurate positioning within buildings or large facilities. However, fingerprint technology alone cannot provide the current position of a medical device. Therefore, the trilateration technique was selected for medical device locating in the hospital area.

K-nearest neighbor (KNN) Algorithm:

The K-nearest neighbor (KNN) algorithm is a supervised machine learning algorithm used for classification and regression tasks. It's a simple and intuitive algorithm that can be employed for various applications, including indoor positioning systems. In the context of indoor positioning, KNN can be utilized to determine the location of a device based on its proximity to known locations with similar features according to [6]. Applying of KNN algorithm in medical device location tracking are explain as follows:

Training Phase: Collect and preprocess data from known locations within the environment. For each location, record the features of the signals strength from Wi-Fi access points and the corresponding known location. Store this dataset for later use.

Testing or Prediction Phase: When trying to determine the location of a device, measure the features of the signals at its current location. Compare these features to the features of known locations in the dataset. Identify the K-nearest neighbors (locations with the most similar signal features).

Classification or Regression: For classification tasks (e.g., determining room or area), the majority class among the K-nearest neighbors is assigned to the device's location. For regression tasks (e.g., estimating coordinates), the average of the coordinates of the K-nearest neighbors is used.

Optimal K selection: The value of K (number of neighbors) is a parameter that needs to be chosen. This paper selects $k=3$. Cross-validation or other methods may be used to find the optimal K for the specific dataset. KNN is known for its simplicity and ease of implementation. However, its performance may be sensitive to the choice of K and can be affected by the curse of dimensionality in high-dimensional feature spaces.

Trilateration Technique:

Trilateration is a geometric technique used to determine the position of a point in space by measuring its distance from three or more known points. Unlike triangulation, which involves measuring angles, trilateration relies on distance measurements. This method is commonly used in navigation systems, global positioning systems (GPS), and indoor positioning systems refer to [7]. The equations associated with trilateration in a plane X, Y can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} est_r_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ est_r_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ est_r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

where,

(x, y) presents the estimation position of medical device. Result indicate location of medical devices in hospital according floor plan.

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ are coordinates of the three known access point installation location.

$est_r_1, est_r_2, est_r_3$ indicate estimated distances measuring from real RSSI inside operation area in hospital.

To determine the real-time position of medical device, proposed system solved all three equations, and the solution yields the coordinates that satisfy the given distance constraints. In a 2D scenario, trilateration involves circles, while in a 3D scenario, it involves spheres.

TABLE 1 Path Loss Exponent [4]

Points	Path Loss Exponent
Free Space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	4 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in buildings	4 to 6
Obstructed in factories	2 to 3

Fingerprinting Technology

Fingerprinting technology, in the context of indoor positioning, refers to a technique that involves mapping and identifying unique patterns of wireless signals within a specific environment, such as a hospital. This method utilizes wireless technologies like Wi-Fi, Bluetooth, or RFID to create a fingerprint or signature for different locations within a building [5]. This paper selected the 2.4GHz frequency band for operation in the hospital area. The process of the proposed system is described as follows:

Data Collection and Site Survey : The proposed system collects data on signal strength in terms of RSSI, propagation, and other characteristics from wireless access points or beacons in the real hospital environment. MAC addresses, room, and floor information are collected in all areas.

Fingerprint and Site Map : A unique fingerprint technique is generated with real location data. This fingerprint essentially comprises a set of features or attributes associated with the signals in that specific area.

Database Creation: The generated fingerprints are stored in a database along with the corresponding known locations.

Indoor Positioning and Localization: When the Device Under Test (DUT), such as a medical device or personnel carrying DUT, is connected within the operational area, the proposed system measures the current signal characteristics. It then compares these characteristics with the fingerprints in the database and determines the device's location.

Continuous Updating: Fingerprinting systems may continuously update their database to adapt to changes in the environment or signal conditions.

Fingerprinting is particularly useful in scenarios where GPS signals might be weak or unavailable, such as indoor environments. It provides a cost-effective and efficient way to achieve accurate positioning within buildings or large facilities. However, fingerprint technology alone cannot provide the current position of a medical device. Therefore, the trilateration technique was selected for medical device locating in the hospital area.

K-nearest neighbor (KNN) Algorithm:

The K-nearest neighbor (KNN) algorithm is a supervised machine learning algorithm used for classification and regression tasks. It's a simple and intuitive algorithm that can be employed for various applications, including indoor positioning systems. In the context of indoor positioning, KNN can be utilized to determine the location of a device based on its proximity to known locations with similar features according to [6]. Applying of KNN algorithm in medical device location tracking are explain as follows:

Training Phase: Collect and preprocess data from known locations within the environment. For each location, record the features of the signals strength from Wi-Fi access points and the corresponding known location. Store this dataset for later use.

Testing or Prediction Phase: When trying to determine the location of a device, measure the features of the signals at its current location. Compare these features to the features of known locations in the dataset. Identify the K-nearest neighbors (locations with the most similar signal features).

Classification or Regression: For classification tasks (e.g., determining room or area), the majority class among the K-nearest neighbors is assigned to the device's location. For regression tasks (e.g., estimating coordinates), the average of the coordinates of the K-nearest neighbors is used.

Optimal K selection: The value of K (number of neighbors) is a parameter that needs to be chosen. This paper selects $k=3$. Cross-validation or other methods may be used to find the optimal K for the specific dataset. KNN is known for its simplicity and ease of implementation. However, its performance may be sensitive to the choice of K and can be affected by the curse of dimensionality in high-dimensional feature spaces.

Trilateration Technique:

Trilateration is a geometric technique used to determine the position of a point in space by measuring its distance from three or more known points. Unlike triangulation, which involves measuring angles, trilateration relies on distance measurements. This method is commonly used in navigation systems, global positioning systems (GPS), and indoor positioning systems refer to [7]. The equations associated with trilateration in a plane X, Y can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} est_r_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \\ est_r_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \\ est_r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

where,

(x, y) presents the estimation position of medical device. Result indicate location of medical devices in hospital according floor plan.

$(x_1 - y_1), (x_2 - y_2), (x_3 - y_3)$ are coordinates of the three known access point installation location.

$est_r_1, est_r_2, est_r_3$ indicate estimated distances measuring from real RSSI inside operation area in hospital.

To determine the real-time position of medical device, proposed system solved all three equations, and the solution yields the coordinates that satisfy the given distance constraints. In a 2D scenario, trilateration involves circles, while in a 3D scenario, it involves spheres.

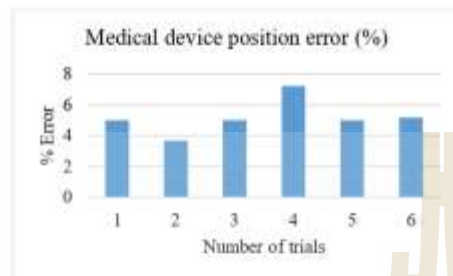


Fig. 4 Position error comparing to current position of infusion pump, 1 point was tested 50 times.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

The experimental results when implemented in real-world usage within a hospital. Practical nurse request BME engineer for infusion pump. Then, BME engineer installed the proposed DUT behind infusion pump. BME and practical nurse installed in the patient ward. The proposed DUT determine three maximum RSSI. Real time positioning of infusion pump presents in PowerBI dashboard according to figure 3. Positioning error computed via (3).

$$pos_{error} = \sqrt{(x_{cal} - x_{real})^2 + (y_{cal} - y_{real})^2} \quad (3)$$

Where,

pos_{error} is positioning error

x_{cal} is calculated position in X axis.

x_{real} is current position of infusion pump in X axis.

y_{cal} is calculated position in Y axis.

y_{real} is current position of infusion pump in Y axis.

Infusion pump real time location presents in figure 3. The proposed system confirm that trilateration, fingerprint techniques and KNN provide accurate real time position. Average positioning error is 4.34%. Positioning error in phase 1 can reduce by path loss exponent tuning in each floor. Prototype of proposed system will scaling up to 216 DUTs in the future work. In summary, the results highlight the effectiveness of the integrated approach in overcoming challenges related to medical device localization in large hospital environments. The adaptability, precision, and real-

world performance of the system position it as a valuable tool for optimizing healthcare operations and improving overall patient care.

V. CONCLUSION

This paper presents the localization of medical devices within a large hospital area. Real-time position accuracy improves through precise site surveys and tuning the path loss exponent based on the environment on each floor. The proposed system achieves an average position accuracy of around 95.66%. Our results demonstrate the accurate real-time positioning of infusion pumps on a dashboard. Additionally, the workload of Biomedical Engineers (BME) is reduced by implementing the proposed system. Future work will involve installing more Devices Under Test (DUTs) with additional infusion pumps. However, the ultimate goal of the proposed system is the development of an indoor positioning system using a conventional access point infrastructure with cost-effective devices and high accuracy. Furthermore, techniques for location finding with high accuracy will be investigated in future research.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Suranaree University of Technology, and Suranaree University of Technology Hospital (SUTH)-Medical Device Department.

REFERENCES

- [1] R. H. Ghannai and H. Nezamabadi-Pour, "RDOD: A Robust Distance-based Technique for Outlier Detection," 2022 30th International Conference on Electrical Engineering (ICEE), Tehran, Iran, Islamic Republic of, 2022, pp. 885-890.
- [2] M. E. Rami, M. Ali, N. Jamal and M. M. Din, "An Improved Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI-Trilateration Technique for Internet of Things (IoT)," 2016 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE), Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 72-77.
- [3] W. Liu, Y. Zhang, Z. Deng and H. Zhou, "Low-Cost Indoor Wireless Fingerprint Location Database Construction Methods: A Review," in IEEE Access, vol. 11, pp. 17535-17545, 2023.
- [4] V. Dharmadilakar, N. Pundarik and P. Ghose, "Path Loss Exponent Estimation for Wireless Sensor Node Positioning: Practical Approach," 2018 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), Indore, India, 2018, pp. 1-4.
- [5] Y. Dong, T. Anlam, Y. Yang and Y. Ma, "A WiFi Fingerprint Augmentation Method for 3-D Crowdsourced Indoor Positioning Systems," 2022 IEEE 12th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Beijing, China, 2023, pp. 1-8.
- [6] Y. Xie, Y. Wang, A. Nallagatnam and L. Wang, "An Improved K-Nearest-Neighbor Indoor Localization Method Based on Spearman Distance," in IEEE Signal Processing Letters, vol. 25, no. 3, pp. 351-355, March 2016.
- [7] H. Yang, J. Guo, R. Guo, M. Zhao and T. Zhao, "A Novel Trilateration Algorithm for RSSI-Based Indoor Localization," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 14, pp. 8164-8172, 15 July 15, 2020.

K. Bunchen, R. Sanguansin, S. Lachomphu and S. Poochaya, "SUTH-BME-FindmE: Determine Real Time Position of Medical Devices in a Large Hospital," *2024 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Pattaya, Thailand, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/iEECON60677.2024.10537926.

K. Bunchen, S. Thongsri, C. Ponset, T. Duangnongbua and S. Poochaya, "Refining Indoor Positioning Mathematical Models for Medical Devices in Diverse Hospital Wards," *2024 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2024, pp. 34-38, doi:10.1109/ICPEI61831.2024.10748619.



Refining Indoor Positioning Mathematical Models for Medical Devices in Diverse Hospital Wards

Kriengkri Bunchee
School of Telecommunication
Engineering
Suranaree University of Technology
Mueang, NakhonRatchasima, Thailand
kriengkri.b@gmail.com

Thaidanai Duangnongbua
School of Telecommunication
Engineering
Suranaree University of Technology
Mueang, NakhonRatchasima, Thailand
thaidanai.d@gmail.com

Sittirak Thongnoi
School of Telecommunication
Engineering
Suranaree University of Technology
Mueang, NakhonRatchasima, Thailand
ms002560@gmail.com

Sattawat Poochaya*
School of Telecommunication
Engineering
Suranaree University of Technology
Mueang, NakhonRatchasima, Thailand
sattawat.p@gmail.com

Chomakorn Pongset
School of Telecommunication
Engineering
Suranaree University of
Technology Mueang,
NakhonRatchasima, Thailand
chomakornpongset@gmail.com

Abstract— Tracking the location of medical devices in large hospital is a challenging and critical task due to the large number of devices and the time-consuming process. This work focuses on finding suitable mathematical models for tracking the locations of medical devices in large hospitals without requiring additional configuration on the network infrastructure such as Access Points. Through experimentation and analysis, the performance of different mathematical models to determine the most appropriate one for reducing the time needed to locate medical equipment within the hospital were investigated. Our results present accurate medical equipment tracking, reduce the time required to find devices, and enhance the overall efficiency of medical service delivery.

Keywords—Tele-medical informatics, Indoor Positioning

I. INTRODUCTION

In large hospital environments, the efficient management and quick location of medical equipment are critical for providing timely and effective patient care. Hospitals often house thousands of devices, ranging from infusion pumps to ventilators, spread across multiple departments and floors. The ability to quickly locate specific equipment can significantly impact the response time during emergencies, enhance workflow efficiency, and reduce downtime. Traditional methods of equipment tracking often rely on manual processes or the use of wireless Access Points (APs) for triangulation [1-2]. However, these methods may require additional configurations or infrastructure that can be costly and time-consuming to implement.

This study aims to explore mathematical models that can accurately determine the location of equipment within hospital buildings without the need for additional device configurations or reliance on APs. By focusing on mathematical equations and algorithms, we seek to identify a cost-effective and scalable solution that leverages existing infrastructure and data. The goal is to develop a method that can be easily integrated into current hospital systems,

providing real-time location tracking that is both accurate and efficient. Various mathematical equations and models, assessing their accuracy in indoor positioning scenarios according to [3-6] were analyzed. By comparing the performance of these models, suitable mathematical models of distance estimation for real-world application in hospital environments are described. The outcomes of this research will contribute to improving the management of medical equipment, reducing search times, and ultimately enhancing the quality of healthcare services. This study not only addresses the technical challenges of indoor positioning but also considers the practical implications of implementing such systems in complex and dynamic hospital settings.

II. METHODOLOGY

To accurately track equipment within large hospital environments without relying on additional configurations or Access Points (APs), our methodology involves leveraging Received Signal Strength Indicator (RSSI) values with trilateration and fingerprinting techniques according to [7-8]. Performance evaluation of seven estimated distance mathematical models were determined. The most suitable approach for indoor positioning produces lower position estimation error.

A. Data Collection

The initial phase involves collecting relevant data from the hospital environment, including [9]:

1. RSSI Measurements: Capturing RSSI values from existing WiFi networks.
2. Device Locations: Recording known positions of devices during data collection to serve as ground truth for validation.
3. Environmental Factors: Documenting factors such as floor plans, building materials, and sources of interference that may impact signal propagation.

B. Distance Calculation Equations

Seven mathematical models for distance estimation are as follows:

*Corresponding author

Models	Mathematic Equation	References
1	$\delta = 10^{\left(\frac{\beta - r_{221}}{10n}\right)}$	[6]
2	$\delta = 10^{\left(\frac{\tau - r_{221} - (20 \log_{10}(f) - 32.44)}{10n}\right)}$	[10]
3	$\delta = e^{\left(\frac{27.55 - [20 \log_{10}(f) + r_{221}]}{10n}\right)}$	[12]
4	$\delta = 10^{\left(\frac{\tau - r_{221}}{10n}\right)}$	[3]
5	$\delta = 10^{\left(\frac{r_{221} - \beta}{10n} + X\right)}$	[4],[15]
6	$\delta = \left(\frac{ r_{221} \times 2}{380}\right) \times \left(\frac{s}{2 \times 10^3}\right)$	[13],[16]
7	$\delta = \sqrt{h^2 + \left(\frac{P}{P_t} \times ((4\pi f)^2)\right)}$	[11],[14]

Table 1 Model used for testing.

Parameter	Description
β	The signal power at a distance of 1 meter from the transmitting wireless device, often used as a baseline in signal strength calculations. This work selects -50 dbm for received power at 1 m. between Tx and Rx.
rsi	A measure of the strength of a received wireless signal, often in dBm, with lower values indicating weaker signals.
n	A value used to adjust signal loss in wireless signal propagation due to environmental factors.
τ	Amount of power used by a device to transmit signals, typically measured in dBm.
X	A random variable representing shadow fading.
s	The speed at which light travels, approximately 299,792 kilometers per second in a vacuum.
h	It refers to the vertical distance between the transmitting and receiving antennas.
P_t	It is the power transmitted by the signal transmitter.
P_r	It is the power received by the signal receiver.

Table 2: Description of Various Parameters.

C. Model Selection

Trilateration and fingerprinting techniques were selected for determining medical devices location:

1. Trilateration: Using geometric principles to calculate the device position from multiple RSSI readings.
2. Fingerprinting: Matching real-time RSSI measurements to pre-collected signal maps.

D. Experimental Setup

Experimental phase configuration are as follows:

1. Create a Testbed: Set up a controlled environment within the hospital, marking specific locations and ensuring consistent data collection procedures.
2. Simulate Real-world Scenarios: Replicate typical hospital conditions, including the presence of medical staff and equipment, to ensure realistic data.
3. Data Logging: Use software tools to log RSSI values and corresponding locations continuously.

E. Performance Evaluation

Performance evaluation of the selected models are as follow:

1. Accuracy Assessment: Compare the predicted locations from each model against the ground truth data using metrics such as Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE).
2. Efficiency Analysis: Measure the computational efficiency of each model to ensure real-time applicability.
3. Robustness Testing: Assess the models' performance under various conditions, including different levels of signal interference and varying densities of devices.

F. Iterative Refinement

Based on the performance evaluation, optimized models were selected by lower position estimation error when comparing to real location of medical devices and estimated position via the proposed system.

1. Optimize Models: Refine the mathematical equations and algorithms to improve accuracy and efficiency.
2. Validate Results: Conduct additional rounds of testing to validate the optimized models in different hospital areas.

By following this methodology, suitable mathematical model was identified according to large hospital environments. The findings will contribute to reducing the time required to locate medical equipment, thereby enhancing operational efficiency and patient care.

III. SYSTEM INSTALLATION

The installation of the indoor positioning system involves a comprehensive approach to integrate the Device Under Test (DUT) with the hospital's infusion pumps. Initially, we ensure that each infusion pump is equipped with a WiFi-enabled DUT. A stable and reliable WiFi network throughout the hospital is essential to support the system. The software setup begins with the implementation of the positioning algorithm, which incorporates the seven distance calculation equations. This software is installed on a central server or cloud platform. We also set up data collection software to gather and process RSSI values from the DUTs. A dedicated database is established to store RSSI data, calculated distances, and device locations according to [17-18], which is accessible through a user-friendly interface for visualizing the locations of the infusion pumps and managing the system. Calibration is a crucial step, involving the creation of a detailed map of the hospital environment, including floor plans and known reference points. We then calibrate the RSSI values based on the specific characteristics of the hospital environment and the devices to enhance accuracy. Testing and validation are conducted through simulations and field tests. Simulation tests use the seven distance calculation equations to validate the accuracy and performance of the system. Field tests involve moving the infusion pumps to different locations within the hospital and recording the calculated positions to ensure the system functions correctly in real-world conditions. Deployment of the system starts with a pilot phase in a specific area of the hospital to evaluate performance and make necessary adjustments. After successful validation, the system is deployed across the entire hospital, enabling comprehensive tracking of all infusion pumps. Regular maintenance is performed to ensure the system continues to operate smoothly, along with periodic software updates to incorporate the latest improvements and security patches. Training sessions are provided for hospital staff to familiarize them with the system's use and interpretation, supported by ongoing user assistance to address any issues or questions. By following these steps, the indoor positioning system can be effectively implemented to track the location of infusion pumps within the hospital, ensuring timely access to essential medical equipment and enhancing overall operational efficiency.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the evaluation results based on seven mathematical models derived from RSSI values. Tracking medical devices within a large hospital requires more precise mathematical models. The proposed device was installed on the medical device.



Figure 1: Three Devices Under Test (DUT) in a Single Rack for ICU Patient Ward.



Figure 2: Real-time Experimental Results of Medical Device Positioning, with 120 m x 60 m.

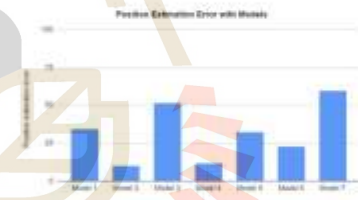


Figure 3: Positioning Error Using the Model. Calculated by Comparing the Actual Distance with the Experimentally Derived Distance.

When BME engineer bring medical device to hospital wards. Real position of medical device was measured. The accuracy of each mathematical model was evaluated by comparing the estimated distance with the real position of medical device and the proposed system. Our results summarized as follows:

Model 1:

The accuracy is relatively low, with an position estimation error of 34.17%. This model struggled to provide consistent results in the complex hospital environment.

Model 2:

Mathematical model 2 performed significantly better, with an error of 10.11%. This model's incorporation of frequency-related factors and path loss contributed to its higher accuracy.

Model 3:

Mathematical model 3 produces the highest error rate at 51.01%, indicating poor performance, especially at greater distances due to exponential error growth.

Model 4:

Mathematical model 4 achieved an error rate of 11.44%, showing better accuracy than model 1 but still less reliable than model 2.

Model 5:

With an error of 32.24%, mathematical model 5 improved upon model 1 by incorporating an additional factor X, but it required precise calibration for each environment.

Model 6:

Model 6 indicates error rate of 22.66%, indicating moderate accuracy but highlighting the limitations of its simplified assumptions.

Model 7:

Model 7 presents the highest error rate of 59.76%, suggesting it was the least reliable for our application despite its complex formulation.

Evaluation results indicate that Model 2, with an error rate of 10.11%, was the most accurate for determining the location of infusion pumps and medical equipment in large hospital. Transmitter power, RSSI, frequency, and path loss provided a comprehensive approach that improved accuracy.

Model 4 also performed reasonably well with an error rate of 11.44%, though it was slightly less reliable than model 2. The higher error rates of Models 1, 3, 5, 6, and 7 highlight the challenges of using simplified or overly complex equations without adequate environmental calibration. By applying the calculated distances from models 2 and 4, we implemented trilateration and fingerprinting techniques. Trilateration, relying on geometric principles, provided accurate results when using distances from model 2, achieving positioning accuracy within 1-2 meters. Fingerprinting, which matched real-time RSSI measurements to pre-collected signal maps, showed robustness against interference and achieved an accuracy within 1 meter when using model 2. Practical implementation and challenges several challenges were encountered:

Environmental Variability: Signal interference and environmental changes affected RSSI measurements, requiring frequent recalibration.

Calibration Needs: Accurate positioning required thorough calibration, which was time-consuming.

Computational Requirements: Fingerprinting demanded significant computational resources and a comprehensive signal map database.

Despite these challenges, the study demonstrated that model 2, combined with trilateration and fingerprinting, offers a reliable solution for

tracking infusion pumps within a hospital. The findings indicate a potential for significant improvements in operational efficiency and timely access to essential medical equipment. Future work should focus on optimizing calibration processes, reducing computational demands, and further refining the positioning algorithms to enhance accuracy and reliability. By addressing these areas, the indoor positioning system can provide a robust and efficient solution tailored to the dynamic hospital environment.

V. CONCLUSION

This study aimed to develop and evaluate a reliable indoor positioning system for medical equipment in a large hospital environment using RSSI values without relying on additional configurations or Access Points. By exploring seven distance calculation equations and implementing trilateration and fingerprinting techniques, we identified the most suitable approaches for accurate indoor positioning. Our results demonstrated that model 2 and 4 provided the highest accuracy in various hospital settings. Model 2 accounted for frequency-related factors and path loss, while model 4 incorporated physical constants and power ratios, both leading to consistent and reliable distance measurements. The combination of trilateration and fingerprinting techniques yielded robust positioning results, with trilateration performing well in open and controlled environments and fingerprinting showing resilience in areas with high signal interference. The overall system achieved a positioning accuracy of within 1-2 meters for trilateration and within 1 meter for fingerprinting. However, practical implementation revealed several challenges, including environmental variability, the need for thorough calibration, and significant computational requirements for fingerprinting. Despite these challenges, the study's findings highlight the potential of the proposed system to enhance operational efficiency and improve the timely location of essential medical equipment in a hospital setting. Future work should focus on optimizing calibration processes, reducing computational demands, and further refining the positioning algorithms to enhance accuracy and reliability. By addressing these areas, the indoor positioning system can be fully integrated into hospital operations, providing a valuable tool for efficient equipment management and improved patient care.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Suranaree University of Technology, and Suranaree University of Technology Hospital (SUTH) Medical Device Department

ประวัติผู้เขียน

นายเกรียงไกร บุญชนธ์ เกิดเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พุทธศักราช 2543 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนเขาคะหลิพวิทยาคม จังหวัดชุมพร และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากนั้น ศึกษาต่อในปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระหว่างศึกษาได้นำเสนอบทความเข้าร่วมประชุมในงานประชุมนานาชาติ 12th International Electrical Engineering Congress (iEECON 2024) ครั้งที่ 12 ณ โรงแรม The Zign Pattaya จังหวัดชลบุรี วันที่ 6-8 มีนาคม พ.ศ. 2567

นำเสนอบทความเข้าร่วมประชุมในงานประชุมนานาชาติ The 2024 International Conference on Power, Energy and Innovations วันที่ 16-18 ตุลาคม 2567 ณ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

นำเสนอบทความเข้าร่วมประชุมในงานประชุมนานาชาติ และระดับชาติ NATIONAL AND INTERNATIONAL ACADEMIC CONFERENCE OF 2024 โดยได้นำเสนองานทั้งหมด 4 เรื่อง ได้แก่

1. APNEA Detection Devices for New Born (รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1)
2. Medical Devices tracking using Indoor Positioning technology
3. SUTH-BME-TCE Oxygen Concentrators Status Monitoring System
4. Developmant of SUTH Smart Needle Disposal: Tracking and Reporting for Medical Safety

ระหว่างวันที่ 12 – 13 ตุลาคม 2567 ณ โรงแรม Kantary อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา