

Project No.18

**ระบบการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่ง
(Local Positioning System with the Relationship of the Transmitter to the Location)**

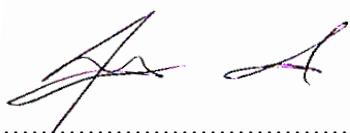
จัดทำโดย

นายเมฆาภรณ์ ชนาทไพรินทร์ 58070501054
นายศิรพงษ์ ภู่สวรค์ 58070501069

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุมพล พลวิชัย

“ข้าพเจ้าได้อ่านรายงานและตรวจเนื้อหาของรายงานฉบับนี้เรียบร้อยแล้ว”



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุมพล พลวิชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษา



ระบบการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่ง
(Local Positioning System with the Relationship of the Transmitter to the Location)

นายแม่ชาวัฒน์ ธนະไพรินทร์
นายศิรพงษ์ ภู่สวารค์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2561

ระบบการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่ง

นายเมฆาวัฒน์ ชนาะไพรินทร์

นายศิรพงษ์ ภู่สวารค์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาชีวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุมพล พลวิชัย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนั่น สารแก้ว)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชั่รังษ์ตัน อมรรักษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พร พันธุ์จงหาญ)

Local Positioning System with the Relationship of the Transmitter to the Location

Mr. Methawat Thanaphairin
Mr. Sirapong Phoosawan

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Engineering
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Academic Year 2018

Project Committee

..... Advisor
(Asst. Prof. Jumpol Polvichai, Ph.D.)

..... Committee
(Asst. Prof. Sanan Srakaew)

..... Committee
(Assoc. Prof. Thumrongrat Amornraksa, Ph.D.)

..... Committee
(Asst. Prof. Phond Phunchongharn, Ph.D.)

หัวข้อโครงการ : ระบบการระบุตำแหน่งโดยอาศัยความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่ง

หน่วยกิตของโครงการ : 3 หน่วยกิต

จัดทำโดย : นายเมฆาภรณ์ ธนาไพรินทร์
นายศิรพงษ์ ภู่สวารค์

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุमพล พลวิชัย

ระดับการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา : 2561

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีไร้สายและอาศัยความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณสำหรับการระบุตำแหน่ง เพื่อเป็นเทคโนโลยีในการช่วยเหลือการค้นหาสิ่งของ หรือบุคคล ได้่ายมากขึ้นภายในพื้นที่ที่มีอาณาเขตจำกัด ได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากการค้นหาสิ่งของหรือบุคคลนั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก หากไม่ได้ใช้เทคโนโลยีในการระบุตำแหน่งเป็นเครื่องมือช่วยเหลือ เพื่อให้การค้นหาสิ่งของหรือบุคคลสามารถค้นหาได้やすขึ้นนั้น จึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีไร้สาย เพื่อความคล่องตัวในการใช้งาน ทั้งนี้การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีไร้สาย ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานหลายรูปแบบ ได้แก่ การนำໄไปใช้ในรูปแบบของความบันเทิง รวมไปถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแนวคิด Smart Home โดยสามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าว มาระบุตำแหน่งของสิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในบ้านได้

Project Title: Local Positioning System with the Relationship of the Transmitter to the Location

Project Credit: 3 credits

Project Participant: Mr. Methawat Thanaphairin
Mr. Sirapong Phoosawan

Advisor: Asst. Prof. Jumpol Polvichai, Ph.D.

Degree of Study: Bachelor's Degree

Department: Computer Engineering

Academic Year: 2018

Abstract

This project aims to study the positioning system by using wireless technology and signal devices to identify the object's position. It is undeniable that it is difficult to search for objects or people in some area; therefore, with this technology, the user will be able to find things or people easier within the boundary area. According to the issue, wireless technology is adapted into this project for flexibility and adaptability. Also, the development of a positioning system using wireless technology can also be applied into many forms of work such as the use for entertainment and the Smart Home concept to specify the location of various household appliances.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จุ่มพล พลวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาสละเวลาให้กำปรึกษาให้ข้อมูล แนวคิด และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างมาก ตลอดจนคอยติดตามดูแลเอาใจใส่ต่อการทำโครงการฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้จัดทำโครงการจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี่ด้วย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนั่น สารแก้ว รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมรัตน์ ออมรรักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พร พันธุ์จงหาญ ที่ได้สละเวลาไว้เป็นคณะกรรมการตรวจสอบโครงการในครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำในการจัดทำโครงการ และการปฏิบัติงานของผู้จัดทำจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ ๆ ที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกคนที่ให้กำลังใจ อยู่ดูแล และอยู่เคียงข้างกันเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	๗
กิตติกรรมประกาศ	๑
สารบัญ	๑
รายการรูปภาพประกอบ	๗
รายการตารางประกอบ	๘
บทที่ 1 บทนำ	๑
1.1. ความสำคัญของปัจจุบัน	๑
1.2. ประเภทของโครงงาน	๑
1.3. วิธีการนำเสนอ	๑
1.4. เนื้อหาทางวิศวกรรมที่เป็นต้นฉบับ	๔
1.5. การแยกย่อยงาน และร่างแผนการดำเนินงาน	๔
1.6. ผลการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ ๑	๗
1.7. ผลการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ ๒	๗
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	๘
2.1. โปรดักโคลาร์รับส่งข้อมูลแบบ iBeacon	๘
2.2. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822	๙
2.3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น MEGA 2560	๑๐
2.4. โปรแกรม Arduino IDE	๑๑
2.5. โปรแกรม Unity	๑๒
2.6. ผลิตภัณฑ์ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร Estimote Indoor Localization	๑๓
2.7. งานวิจัยและทฤษฎีการใช้ WiFi ระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยี Smart Antennas	๑๖
2.8. ตัวกรองแบบคาลามาน (Kalman Filter Algorithm)	๑๙
2.9. การทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration)	๒๑
2.10. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module	๒๒
บทที่ ๓ การออกแบบและประเมินวิธีทดลอง	๒๓
3.1. การออกแบบขั้นต้น	๒๓
3.2. การตั้งค่าเลข Major และ Minor สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822	๒๕

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3. วิธีการตรวจสอบผลลัพธ์การตั้งค่าอุปกรณ์ขึ้นต้น สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822	32
3.4. การเชื่อมต่ออุปกรณ์รับสัญญาณ กับไมโครคอนโทรลเลอร์	34
3.5. วิธีการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module	35
3.6. การรับและจำแนกข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0	42
3.7. การทดสอบการรับสัญญาณและความแม่นยำ	48
3.8. การเขียนโปรแกรมการแสดงผล ด้วยโปรแกรม Unity	56
3.9. การทดสอบระบบระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล และการทดสอบระบุตำแหน่งที่มากกว่า 1 ตำแหน่ง	58
3.10. การทดสอบการระบุตำแหน่งในสถานะขาดอื่น ๆ	62
3.11. การทดสอบการรับสัญญาณ โดยปรับเปลี่ยนขนาดความสูงของอุปกรณ์	64
3.12. รูปแบบการวางแผนพิกัดตำแหน่ง และการเลือกจุดอ้างอิงเพื่อกำหนดพิกัดตำแหน่ง	64
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	68
4.1. ผลการทดสอบและความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณแบบปกติ	68
4.2. ผลความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณ โดยมีวัสดุกีดขวาง	80
4.3. ผลความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณแบบใช้ตัวรองค่าลมาน	81
4.4. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ จากการปรับเปลี่ยนขนาดความสูงของอุปกรณ์ ส่งสัญญาณ	93
4.5. ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล และการทดสอบการระบุตำแหน่งที่มากกว่า 1 ตำแหน่ง	95
4.6. ผลการทดสอบการรับสัญญาณในสถานะขาดอื่น ๆ	102
บทที่ 5 บทสรุป	105
5.1. สรุปผลการทดสอบการรับสัญญาณ และการระบุตำแหน่ง	105
5.2. ผลการดำเนินการโครงการ	106
5.3. ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา	107
5.4. ผลการเรียนรู้จากการดำเนินโครงการ	109
5.5. ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินโครงการในอนาคต	110
บรรณานุกรม	111
ภาคผนวก	114

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ก ตารางประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

114

รายการรูปภาพประกอบ

รูปภาพ	หน้า
1.1 แผนภาพจำลองกระบวนการทำระบบระบุตำแหน่ง	2
2.1 แพคเกจข้อมูลที่ส่งในโปรโตคอล iBeacon	8
2.2 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu รุ่น NRF51822 Bluetooth 4.0 Wireless Module	9
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น MEGA 2560	10
2.4 หน้าต่างการใช้งาน Arduino IDE	11
2.5 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino	12
2.6 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Unity	13
2.7 ผลลัพธ์แสดงการจำลองตำแหน่ง	13
2.8 ผลิตภัณฑ์ Estimote Indoor Localization	14
2.9 การเชื่อมต่อแบบ Mesh Networking ของผลิตภัณฑ์ Estimote Indoor Localization	15
2.10 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และ Smart Antenna	17
2.11 แบบจำลองการทำตำแหน่งแบบ Triangulation	18
2.12 State Diagram และการทำงานของตัวกรองความผันผวน	20
2.13 แบบจำลองการทำตำแหน่งแบบ Trilateration	21
2.14 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module	22
3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงาน (Flow chart) และการทำงานของชุดอุปกรณ์ส่วนรับสัญญาณ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.2 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) และการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง	25
3.3 อุปกรณ์ที่ถูกทดสอบจากชุดทดสอบติก	26
3.4 แบตเตอรี่เบอร์ CR2032	26
3.5 วิธีการติดตั้งแบตเตอรี่ โดยให้ด้านจ่ายประจุบวกอยู่ด้านล่างของอุปกรณ์	27
3.6 LED บนอุปกรณ์จะทำการกระพริบจำนวน 3 ครั้ง	27
3.7 ดาวน์โหลด Application “RL Beacon” ใน Apple App Store	28
3.8 การเปิดการทำงาน Bluetooth ของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือระบบ iOS	28
3.9 หน้าการทำงานและการค้นหาของ Application “RL Beacon”	29

รายการรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
3.10 หน้าการตั้งค่าอุปกรณ์ ของ Application RL Beacon	30
3.11 ตัวอย่างการตั้งค่า Name, Major, Minor และ RSSI สำหรับโครงการ	31
3.12 กรณีกรอกข้อมูลถูกต้อง Application จะแสดงข้อความ “Edit Success!” และส่งผลลัพธ์ที่ตั้งค่าไปยัง อุปกรณ์ส่งสัญญาณ	32
3.13 ดาวน์โหลด Application Beacon Scanner ใน Google Play Store	33
3.14 Application แสดงผลการค้นหาอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	33
3.15 วิธีการเชื่อมต่อระหว่าง HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์	35
3.16 ตัวอย่าง โปรแกรมสำหรับการอัดไฟล์ไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ	36
3.17 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรม สำหรับทดสอบและตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ	37
3.18 การตั้งค่า Line Ending และ Serial Monitor Baud ในหน้า Serial Monitor	38
3.19 หน้า Serial Monitor แสดงข้อความ “AT Command >” เพื่อเตรียมรับคำสั่ง AT Command ในการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ	38
3.20 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง “AT” และแสดงข้อความ “OK” ในหน้า Serial Monitor	40
3.21 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง “AT+DISC?” และแสดงข้อมูลของสัญญาณ Bluetooth บริเวณใกล้เคียง ในหน้า Serial Monitor	41
3.22 การเขียนโปรแกรมเพื่อวนรอบการรับค่าจากอุปกรณ์รับสัญญาณ	43
3.23 ตัวอย่าง โปรแกรมเพื่อกำหนดเวลาทำงานอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่คืนหาเจอ	43
3.24 ตัวอย่าง โปรแกรมเพื่อตรวจสอบและจำแนกข้อมูล	44
3.25 Flowchart เพื่อแสดงขั้นตอนการรับและจำแนกข้อมูล	45
3.26 ตัวอย่าง โปรแกรมเพื่อแปลงค่าชนิดตัวแปร และกำหนดหาระยะห่าง	46
3.27 ผลลัพธ์จากโปรแกรมจำแนกชุดข้อมูล	47
3.28 ตัวอย่าง โปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการกรองข้อมูล	48
3.29 ตัวอย่าง โปรแกรมการเรียกใช้ฟังก์ชันการกรองข้อมูลแบบคลามาน	48

รายการรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
3.30 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 3 ตัว	49
3.31 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 4 ตัว	49
3.32 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 5 ตัว	50
3.33 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 6 ตัว	51
3.34 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 8 ตัว	51
3.35 แผนผังการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์	52
3.36 ตัวอย่างการทดสอบการรับสัญญาณ กรณีอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ใน ตำแหน่งเดียวกัน	53
3.37 แผนผังวิธีการทดสอบการรับสัญญาณ กรณีที่สัญญาณถูกรบกวนด้วยวัสดุกีดขวาง	55
3.38 รูปแบบของหน้าโปรแกรมแสดงผล ด้วยโปรแกรม Unity	56
3.39 Flowchart แสดงขั้นตอนการทบทวนของโปรแกรมแสดงผล	57
3.40 หน้าต่าง Console ในโปรแกรม Unity และข้อมูลที่ได้รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์	58
3.41 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 1	59
3.42 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 2	59
3.43 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 3	60
3.44 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 1	60
3.45 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 2	61
3.46 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 3	62
3.47 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 1.2 x 4.8 เมตร	62
3.48 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 2.4 x 2.4 เมตร	63
3.49 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 0.6 x 1.2 เมตร	63
3.50 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S2, S6 และ S8	65
3.51 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S1, S3 และ S7	65
3.52 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S1, S5 และ S6	66
3.53 แผนผังจุดอ้างอิงที่เป็น S3, S4 และ S8	67

รายการรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด	77
4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการหาพิกัด	77
4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ	78
4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ	79
4.5 ค่าความคลาดเคลื่อน กรณีที่มีสิ่งกีดขวางของวัสดุในแต่ละรูปแบบ	81
4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้ตัวกรองแบบคามาน และใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด	90
4.7 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้ตัวกรองแบบคามาน และใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด	91
4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณจากการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมระยะ กรณีใช้ตัวกรองแบบคามาน	92
4.9 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบจากการใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ และใช้ตัวกรองแบบคามาน	92
4.10 การเปรียบเทียบอัตราการคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมทุกจุด ของการรับสัญญาณแบบปกติ และใช้ตัวกรองแบบคามาน	93
4.11 ผลลัพธ์การรับสัญญาณแบบใช้ตัวกรองแบบคามาน ในระดับความสูงตั้งแต่ 5 – 40 เมตร	94

รายการตารางประกอบ

ตาราง	หน้า
1.1 แผนผังกำหนดงานภาคการศึกษาที่ 1	6
1.2 แผนผังกำหนดงานภาคการศึกษาที่ 2	7
3.1 ความสัมพันธ์ของเลขฐาน 16 (Hexadecimal) และกำลังในการส่งสัญญาณ	30
3.2 คำสั่ง AT Command ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ	39
3.3 คำสั่ง AT Command ที่ใช้ในการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ	42
3.4 ผลลัพธ์การตั้งค่า RSSI ในระยะ 1 เมตร ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	54
4.1 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว	68
4.2 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว	68
4.3 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว	69
4.4 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว	69
4.5 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว	69
4.6 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 4 ตัว	70
4.7 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 4 ตัว	70
4.8 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 4 ตัว	70
4.9 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 4 ตัว	71
4.10 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 4 ตัว	71
4.11 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 5 ตัว	71
4.12 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 5 ตัว	72
4.13 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 5 ตัว	72
4.14 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 5 ตัว	72
4.15 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 5 ตัว	73
4.16 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 6 ตัว	73
4.17 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 6 ตัว	73
4.18 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 6 ตัว	74
4.19 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 6 ตัว	74

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.20 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 6 ตัว	74
4.21 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 8 ตัว	75
4.22 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 8 ตัว	75
4.23 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 8 ตัว	75
4.24 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 8 ตัว	76
4.25 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 8 ตัว	76
4.26 ค่าสภาพแวดล้อมเกลี่ย ในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ	76
4.27 อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ในแต่ละจุดการรับสัญญาณ	78
4.28 เปรียบเทียบผลค่า RSSI จากการทดสอบกรณีที่มีวัสดุกีดขวาง	80
4.29 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว	82
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.30 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว	82
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.31 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว	82
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.32 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว	83
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.33 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว	83
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.34 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว	83
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.35 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว	84
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	
4.36 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว	84
แบบใช้ตัวกรองคำ mana	

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.37 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว	84
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.38 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว	85
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.39 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว	85
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.40 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว	85
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.41 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว	86
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.42 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว	86
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.43 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว	86
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.44 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว	87
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.45 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว	87
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.46 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว	87
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.47 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว	88
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	
4.48 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว	88
แบบใช้ตัวกรองค่าความน่า	

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.49 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว	88
แบบใช้ตัวกรองค่าความถี่	
4.50 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว	89
แบบใช้ตัวกรองค่าความถี่	
4.51 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว	89
แบบใช้ตัวกรองค่าความถี่	
4.52 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว	89
แบบใช้ตัวกรองค่าความถี่	
4.53 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว	90
แบบใช้ตัวกรองค่าความถี่	
4.54 ค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ย กรณีใช้ตัวกรองแบบค่าความถี่ ในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ	90
4.55 อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ในแต่ละจุดการรับสัญญาณ ในกรณีใช้ตัวกรองแบบค่าความถี่	91
4.56 ผลการรับค่า RSSI ในแต่ละระยะจำนวน 9 ครั้ง	94
4.57 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,1200)	95
4.58 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,600)	96
4.59 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,600)	96
4.60 ผลความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดจริงในการระบุ 1 ตำแหน่ง	97
4.61 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,1200)	97
4.62 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,0)	98
4.63 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,600)	99
4.64 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,600)	99
4.65 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,1100)	100
4.66 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,100)	101
4.67 ผลความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดจริงในการระบุ 2 ตำแหน่ง	101
4.68 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,300)	102

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.69 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (2400,600)	103
4.70 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,1200)	104
5.1 ผลการดำเนินการโครงการ	106

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญของปัญหา

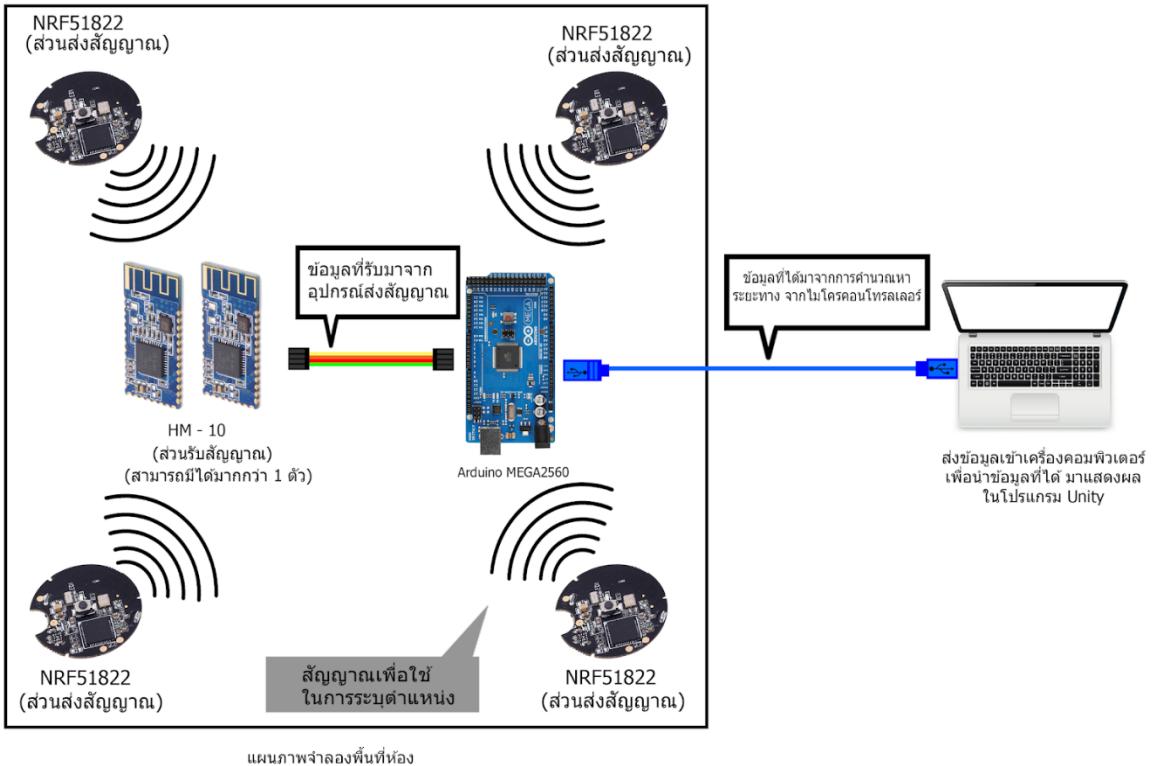
เนื่องจากในปัจจุบัน การค้นหาสิ่งของ หรือบุคคลนั้น เป็นไปด้วยความยากลำบาก จึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาสิ่งของ หรือบุคคลได้やすくมากขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ปิด หรือพื้นที่ที่มีอาณาเขตจำกัด ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการตามหาสิ่งของ ที่อยู่ในพื้นที่นั้น ๆ หรือบุคคลที่อยู่ในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ ให้สามารถค้นหาได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น เช่น การใช้เทคโนโลยีไร้สาย ในการระบุตำแหน่งในพื้นที่ห้อง ด้วยเทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงทำให้ผู้จัดทำมีความสนใจ และต้องการศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาระบบการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีไร้สายให้สามารถใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ สามารถระบุตำแหน่งในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีไร้สายยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานหลายรูปแบบ ได้แก่ การนำไปใช้ในรูปแบบของความบันเทิง เช่น การระบุตำแหน่งหุ่นยนต์และฟุตบอลในสนาม รวมไปถึงสามารถนำมาไปประยุกต์ใช้กับแนวคิด Smart Home โดยสามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าว มาระบุตำแหน่งของสิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ภายในบ้านได้

1.2. ประเภทของโครงงาน

- การวิจัย
- ผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีศักยภาพ

1.3. วิธีการที่นำเสนอ

ในการสร้างระบบระบุตำแหน่งจะสร้างในบริเวณพื้นที่ลักษณะปิด โดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ติดตั้งบริเวณรอบพื้นที่ และมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณเพื่อรับสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณดังตัวอย่างในรูปที่ 1.1



แผนภาพจำลองที่นั่งที่ห้อง

รูปที่ 1.1 แผนภาพจำลองกระบวนการทำระบบระบุตำแหน่ง

ส่วนประกอบที่ใช้ในการสร้างระบบระบุตำแหน่ง ประกอบด้วย

- ส่วนอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ระบุตัวตนของตัวเองออกมายกตัวอย่างเช่น หมายเลข UUID ของแต่ละอุปกรณ์เพื่อใช้ในการระบุว่าเป็นอุปกรณ์นี้ที่ติดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งใด เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งต่อไป
- ส่วนอุปกรณ์รับสัญญาณและประมวลผลระบุตำแหน่ง ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณ และในโครงการโทรศัพท์ โดยอุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณและส่งต่อข้อมูลไปให้กับโครงการโทรศัพท์ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาเข้าโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งโดยคำนวณจากความแรงของสัญญาณที่รับมาได้เทียบหาผลลัพธ์ที่สูญเสียไประหว่างทาง โดยสามารถพิจารณาหาตำแหน่งจากตัวส่งสัญญาณหลายตัวและข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ตำแหน่งจะถูกส่งไปแสดงผลต่อที่ส่วนแสดงผล โดยส่วนนี้สามารถเพิ่มจำนวนได้ตามความต้องการ
- ส่วนแสดงผล ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ประมวลผลมาแล้วแสดงแผนภาพจำลองสถานที่ที่จะระบุตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณ

เทคโนโลยีที่ใช้ในการสนับสนุน

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย (NRF51822) เป็นชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณในรูปแบบโปรโตคอล iBeacon ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยส่งสัญญาณแบบไร้สายและใช้พลังงานต่ำ และสามารถตั้งค่าได้ผ่านทางแอปพลิเคชัน RL Beacon โดยสามารถตั้งค่า Advertise Name เลข Major และเลข Minor ได้
- อุปกรณ์รับสัญญาณแบบไร้สาย (HM-10) เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแบบ Bluetooth 4.0 โดยสามารถตั้งค่าให้สามารถใช้เป็นตัวรับสัญญาณแบบ iBeacon ได้ สามารถใช้หลักการการหาผลลัพธ์อัตราสูญเสียของสัญญาณระหว่างหน่วยรับและหน่วยส่งสัญญาณ และใช้แอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์มาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของอุปกรณ์ต่อไปในหน่วยอื่น ๆ
- Arduino MEGA2560 เป็นหน่วยประมวลผลที่รับข้อมูลมาจากอุปกรณ์รับสัญญาณ (ไมโครคอนโทรลเลอร์) โดยมี Port การเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีคุณภาพในการเพิ่มหรือลดอุปกรณ์รับสัญญาณ และยังมี Arduino IDE สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน
- Unity เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบเกม โดย Unity สามารถรับค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ จากโปรแกรมอื่น ๆ มาประยุกต์กับการออกแบบเกมได้ และยังสามารถพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงผลจากการนำค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ เหล่านี้ มาแสดงผลในรูปแบบที่เราต้องการได้

กระบวนการเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์

1. กำหนดหัวข้อที่ต้องการทำโครงงาน
2. กำหนดวัน และแผนในการดำเนินโครงการ
3. ศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการทำโครงงาน
4. ออกแบบระบบขั้นต้น และตรวจสอบข้อมูลพื้องของอุปกรณ์
5. สร้างระบบระบุตำแหน่งและทดสอบระบบเบื้องต้น
6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการแสดงผล
7. ทดสอบระบบระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล พร้อมทั้งหาข้อบกพร่องและแก้ไข
8. นำระบบไปทดสอบในพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ในลักษณะพื้นที่ปิด
9. สรุปผลโครงงาน จัดทำเอกสาร และไปส่งต่อ

1.4. เนื้อหาทางวิศวกรรมที่เป็นต้นฉบับ

- ใช้อุปกรณ์สำหรับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีไร้สายสำหรับการสร้างระบบระบุตำแหน่งในพื้นที่ปิดมีลักษณะเป็นห้อง โดยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่ใช้สามารถตั้งค่าให้ทำงานที่เป็นตัวส่งสัญญาณหรือเป็นตัวรับสัญญาณได้

- ชุดอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด

1. ชุดแรกจะติดไว้บริเวณรอบพื้นที่ของห้องในตำแหน่งระนาบเดียวกัน และติดตั้งในระยะห่างที่เท่ากัน ทำงานที่เป็นตัวส่งสัญญาณมาที่ตัวรับสัญญาณเพื่อใช้ในการบอกระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ
2. ชุดที่ 2 จะทำงานที่เป็นตัวรับสัญญาณที่ได้โดยจะรับสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณและส่งข้อมูลที่ได้รับมาที่ไม่โกรคอนโทรลเลอร์

- ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลที่ได้จากชุดอุปกรณ์ที่ทำงานที่เป็นตัวรับสัญญาณมาคำนวณหาระยะห่าง ระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณในแต่ละตัวกับอุปกรณ์รับสัญญาณ และนำค่าระยะห่างของอุปกรณ์รับสัญญาณในแต่ละตัวมาคำนวณหาจุดพิกัด และส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผล

- ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับสร้างโปรแกรมสำหรับการแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Unity โดยการรับค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์มาแสดงผลในรูปแบบ 2 มิติ

1.5. การแยกอย่างน้อย และร่างแผนการดำเนินงาน

1. กำหนดหัวข้อที่ต้องการทำโครงงาน

เลือกหัวข้อโครงงานที่สนใจ และศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องในการทำโครงงานนี้

2. กำหนดวัน และแผนในการดำเนินโครงงาน

3. ศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน

หาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ โปรแกรมที่ต้องใช้ในการพัฒนา ระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลจำเพาะ และข้อจำกัดต่าง ๆ เกี่ยวกับชุดอุปกรณ์รวมไปถึงเอกสาร บทความวิธีโอที่เกี่ยวข้อง สอบถามผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับการรับส่งสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ และผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นดำเนินการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้และทดสอบการใช้งานอุปกรณ์เบื้องต้น

4. ออกแบบระบบขั้นต้น และตรวจสอบข้อบกพร่องของอุปกรณ์

ทำการออกแบบระบบในเบื้องต้น โดยตั้งค่าอุปกรณ์ทุกตัวให้สามารถใช้งานได้และพัฒนาโปรแกรมสำหรับการรับผลลัพธ์และแปลงผลลัพธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ไม่ครอบโจรเลอร์พร้อมทั้งตรวจสอบข้อบกพร่องของอุปกรณ์ทั้งหมดให้อุปกรณ์ทุกตัวสามารถใช้งานได้

5. สร้างระบบระบุตำแหน่ง และทดสอบระบบ

นำอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้มาทำการตั้งค่า และทำการสร้างระบบและทดสอบเบื้องต้นโดยแบ่งการสร้างระบบ และทดสอบเป็น 5 ส่วน ได้แก่

5.1. การทดสอบระบบสัญญาณของอุปกรณ์ ทำการทดสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดให้สามารถใช้งานได้จริงและระบบสัญญาณให้สามารถใช้งานในการระบุตำแหน่งได้

5.2. สร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ 1 ตัว เพื่อทดสอบว่าสามารถบอกระยะของตำแหน่งของอุปกรณ์นั้น ๆ ได้

5.3. สร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ที่มีมากกว่า 1 ตัว เมื่อทำการทดสอบการตรวจจับตำแหน่งของอุปกรณ์ 1 ตัวได้แล้วจะทำการทดสอบโดยการใช้อุปกรณ์ในการระบุตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตัว เพื่อให้สามารถบอกระยะตำแหน่งของอุปกรณ์ทุกตัวได้

5.4. ทดสอบการตรวจจับตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำการทดสอบโดยการนำอุปกรณ์ในการรับสัญญาณระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตัว เพื่อให้อุปกรณ์สามารถตรวจจับตำแหน่ง และสามารถบอกระยะของอุปกรณ์ที่ปล่อยสัญญาณออกมายังหมด

5.5. ทดสอบความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์และปรับแต่งระบบให้มีความเหมาะสมในการทำงาน

6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการแสดงผล

ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Unity โดยโปรแกรมจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่รับผลลัพธ์จากอุปกรณ์ระบุตำแหน่งและนำมาแสดงผลในรูปแบบ 2 มิติ โดยให้มีการแสดงผลที่สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ตำแหน่งที่อยู่ของอุปกรณ์

7. ทดสอบระบบระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผลพร้อมทั้งหาข้อบกพร่องและแก้ไข

ทำการทดสอบโปรแกรมสำหรับการแสดงผลกับระบบระบุตำแหน่งให้มีความสอดคล้องกันโดยที่โปรแกรมจะต้องสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องกับตำแหน่งจริงที่มีการทดสอบพร้อมทั้งหาข้อบกพร่องในการทำงานและดำเนินการแก้ไข

8. นำระบบไปทดสอบในพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ในลักษณะพื้นที่ปิด
นำระบบทั้งหมดไปทดสอบในพื้นที่ปิดในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาข้อจำกัดในการทำงานของระบบ
และนำมาปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่ในรูปแบบต่าง ๆ
 9. สรุปผลโครงการ จัดทำเอกสาร และไปส่งต่อ

จากแผนการแยกย่อยงาน และแผนการดำเนินงานของโครงการจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษา โดยภาคการศึกษาแรกจะเป็นการดำเนินการเรื่องการกำหนดหัวข้อ ระยะเวลา และข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องศึกษา เพื่อออกแบบระบบในขั้นต้นและสร้างระบบฐานข้อมูล ดังข้อมูลที่ระบุไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนผังกำหนดงานภาคการศึกษาที่ 1

รายการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
กำหนดหัวข้อที่ต้องการทำโครงงาน					
กำหนดวัน และแผนในการดำเนินงาน					
ศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการดำเนินงาน					
ออกแบบระบบขั้นต้น และตรวจสอบข้อมูลพร่อง ของอุปกรณ์					
การทดสอบระบบสัญญาณของอุปกรณ์					
สร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 1 ตัว					
สร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ที่มีมากกว่า 1 ตัว					

ในส่วนของการศึกษาที่ 2 จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการแสดงผลและทดสอบระบบ
ในรูปแบบต่าง ๆ และนำผลการทดสอบที่ได้มาสรุปผลดังข้อมูลที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แผนผังกำหนดงานภาคการศึกษาที่ 2

รายการ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ทดสอบการตรวจจับตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง					
ทดสอบความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์					
พัฒนาโปรแกรมสำหรับการแสดงผล					
ทดสอบการระบุตำแหน่งกับโปรแกรมแสดงผลพร้อมทั้งหาข้อบกพร่องและแก้ไข					
นำระบบไปทดสอบในพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ ในลักษณะพื้นที่ปิด					
สรุปผลโครงการ จัดทำเอกสาร และ โภสเตอร์					

1.6. ผลการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 1

- ออกแบบ และทดสอบระบบสัญญาณและอุปกรณ์ระบบทดลองให้สามารถใช้งานได้ครบถ้วน
 - สร้างโปรแกรมสำหรับการรับค่าผลลัพธ์ของทุกอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการระบบทดลอง

1.7. ผลการดำเนินงานในภาคการศึกษาที่ 2

- สร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยให้สามารถใช้งานได้มากกว่า 1 ตัวและสามารถตรวจสอบหาตำแหน่งได้มากกว่า 1 ตำแหน่ง
 - สร้างโปรแกรมสำหรับการแสดงผล โดยแสดงผลเป็นการจำลองพื้นที่ในรูปแบบ 2 มิติ และให้โปรแกรมสามารถระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

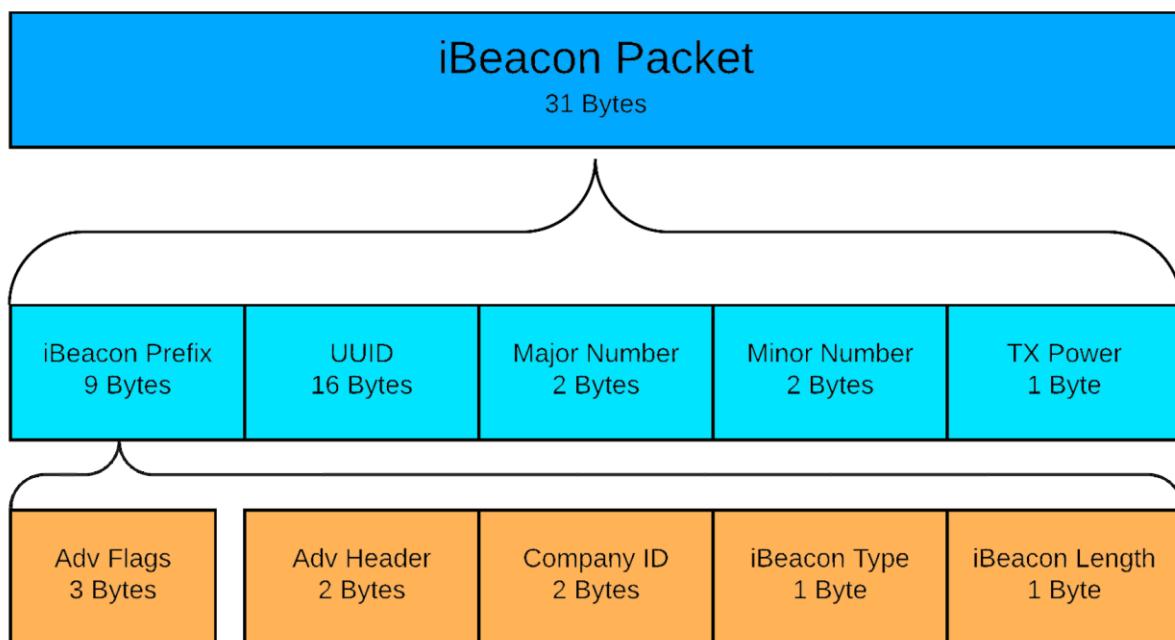
บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. โปรโตคอลการรับส่งข้อมูลแบบ iBeacon

iBeacon Protocol เป็นโปรโตคอลการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ Bluetooth ที่พัฒนาโดย Apple เทคโนโลยีนี้ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่ง โดยการใช้เทคโนโลยี Bluetooth 4.0 LE (Low Energy) มีรัศมีสูงสุดที่ใช้งานได้ในทางทฤษฎีคือ 70 เมตร [3]

ลักษณะการทำงานจะเริ่มจากการส่งข้อมูลไปที่ตัวรับสัญญาณ โดยการส่งข้อมูลนั้นจะมีการส่งออกมาเป็นชุดข้อมูลเล็ก ๆ ประกอบไปด้วยข้อมูลตัวอักษรที่ระบุบริษัทที่ผลิต เลขแทนกลุ่มของอุปกรณ์ Beacons เลขแทนอุปกรณ์ Beacons ในแต่ละตัว และเลขบอกความเข้มข้นของสัญญาณที่ปล่อยออกมา [2] ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.1 ซึ่งสามารถตัวเลขดังกล่าวไปคำนวณเพื่อหาระยะห่างได้

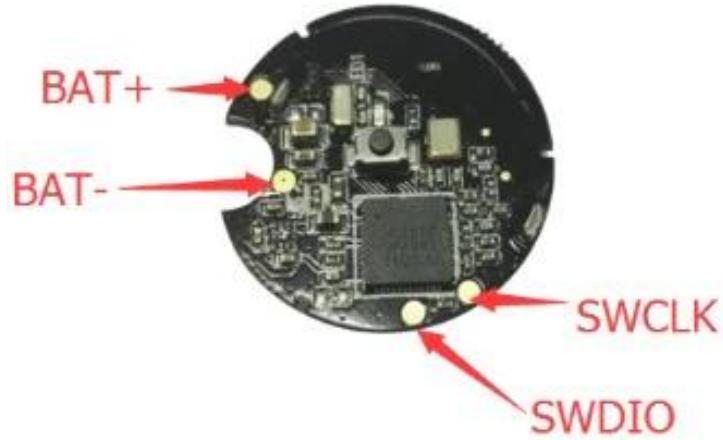


รูปที่ 2.1 แพคเกจข้อมูลที่ส่งในโปรโตคอล iBeacon

โดยในงานชิ้นนี้ ผู้จัดทำจะใช้เทคโนโลยี iBeacon Protocol เพื่อใช้ในการระบุระยะห่างระหว่าง อุปกรณ์ชุดส่งสัญญาณ และรับสัญญาณ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหาพิกัดของอุปกรณ์รับสัญญาณ

2.2. อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822

เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณ Bluetooth 4.0 ซึ่งสามารถโปรแกรมให้ส่งข้อมูลออกมาในรูปแบบ
โปรโตคอล iBeacon ได้ โดยใช้ชิป NRF51822 ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu รุ่น NRF51822 Bluetooth 4.0 Wireless Module

[ที่มา : <https://www.aliexpress.com/item/2V-3-3V-NRF51822-Bluetooth-4-0-Wireless-Module-for-iBeacon-Base-Station-Intelligent-Control-System/32826502025.html>]

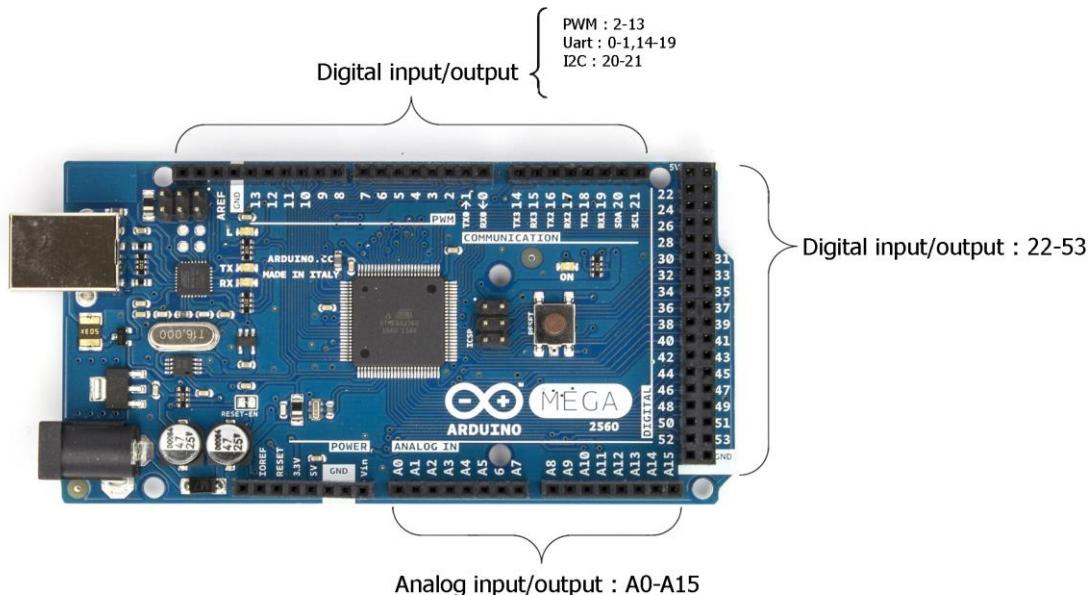
ReYeBu NRF51822 Bluetooth 4.0 Wireless Module นี้ จะใช้แรงดันไฟฟ้า 2.0 - 3.3 V และมี Interface การเชื่อมต่อ จำนวน 2 Port [20] ได้แก่

- SWDIO : เป็น Interface การเชื่อมต่อสำหรับ Data Digital
- SWCLK : เป็น Interface การเชื่อมต่อสำหรับ Clock Signal

โดยผู้จัดทำได้นำผลิตภัณฑ์นี้มาใช้เป็นชุดอุปกรณ์สำหรับส่งสัญญาณ โดยใช้เทคโนโลยี iBeacon Protocol ในการระบุระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อนำไปคำนวณหาระยะห่างและพิกัดต่อไป

2.3. ໄມໂຄຣຄອນໂຖຣລເລອ້ງ Arduino ຈຸນ MEGA 2560

Arduino MEGA 2560 เป็นชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิป ATmega2560 ในการประมวลผลโดยมี Interface สำหรับการเชื่อมต่อกันถึง 70 Port ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น MEGA 2560

[ที่มา : <http://www.robotpark.com/Arduino-Mega-2560-ADK-En>]

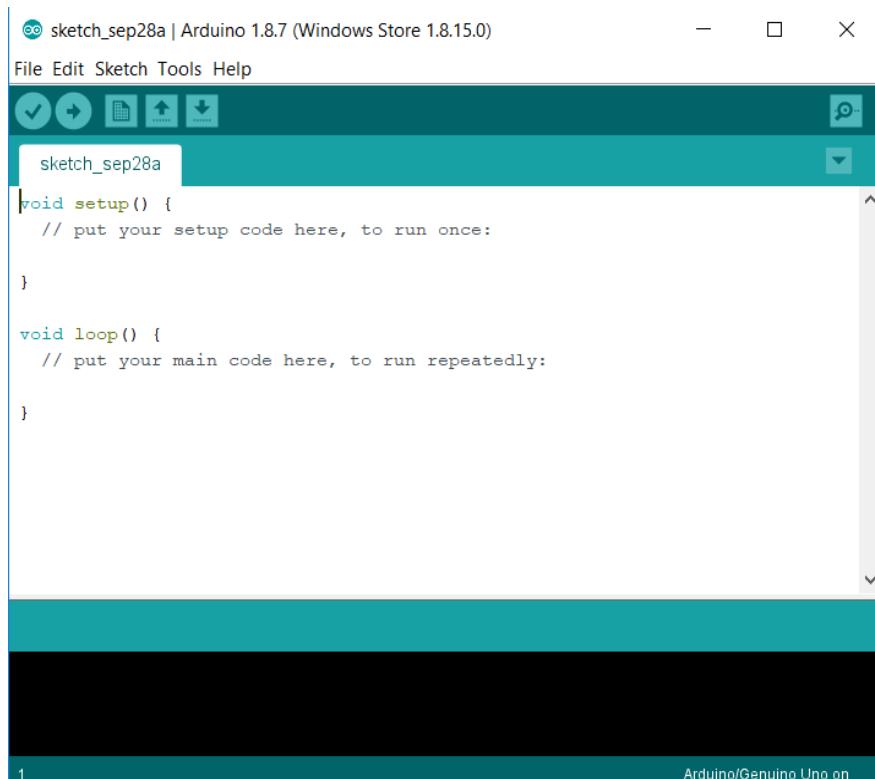
Arduino MEGA 2560 จะใช้ใช้แรงดันไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงระบบ 7 - 12 V และจ่ายไฟ 5 V ที่ Interface แบบ Analog และ Digital [9] ใน Interface การเชื่อมต่อสามารถแบ่งออกเป็นแบบ Digital และ Analog โดยมีคุณสมบัติต่อไปนี้

- Digital Input / Output สามารถเชื่อมต่อได้ 54 Port โดยสามารถรองรับการเชื่อมต่อแบบ
 - PWM 14 port
 - Serial Uart 4 port
 - I2C 1 port
 - SPI 1 port
 - Analog Input / Output สามารถเชื่อมต่อได้ 16 Port

โดยผู้จัดทำได้ใช้ Arduino MEGA 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการรับข้อมูลของอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อพัฒนาโปรแกรมเพื่อคำนวณหาพิกัดของอุปกรณ์รับสัญญาณ

2.4. โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้เพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Arduino โดยมีหน้าต่างการใช้งานที่เข้าใจง่าย มีตัวอย่างการใช้งานสำหรับผู้ใช้มือใหม่และยังสามารถดาวน์โหลดและติดตั้ง Library เพื่อเรียกใช้ฟังก์ชันของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ง่ายจากการค้นหาและทำการติดตั้งเพิ่มเติม โดยมีหน้าต่างการใช้งานดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Arduino IDE

ในการสร้างโปรแกรมสำหรับ Arduino IDE นั้นจะมีวิธีการเขียนโปรแกรมที่คล้ายคลึงกับภาษา C แต่โปรแกรมจะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็นต้องสร้างเสมอในการเขียนโปรแกรม ให้แก่ setup() และ loop() โดยภายในฟังก์ชัน setup() เขียนเพื่อกำหนดสิ่งต้องทำเพียงครั้งแรกเมื่อเริ่มโปรแกรม และ loop() คือ ชุดคำสั่งที่ต้องทำซ้ำๆ ทุกรอบ ดังตัวอย่างการเขียนโปรแกรมในรูปที่ 2.5 โดยการสร้างโปรแกรมดังกล่าวจะสามารถสั่งการทำงานต่าง ๆ บนอุปกรณ์ Arduino ได้ผ่านการอัพโหลดโปรแกรมไปยังอุปกรณ์ Arduino [8] ซึ่งผู้จัดทำจะใช้โปรแกรม Arduino IDE นี้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลหากาค่าพิกัดของอุปกรณ์รับสัญญาณ

```

int LED = 13;
void setup() {
    // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
    pinMode(LED, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
    digitalWrite(LED, HIGH);      // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
    delay(1000);                // wait for a second
    digitalWrite(LED, LOW);       // turn the LED off by making the voltage LOW
    delay(1000);                // wait for a second
}

```

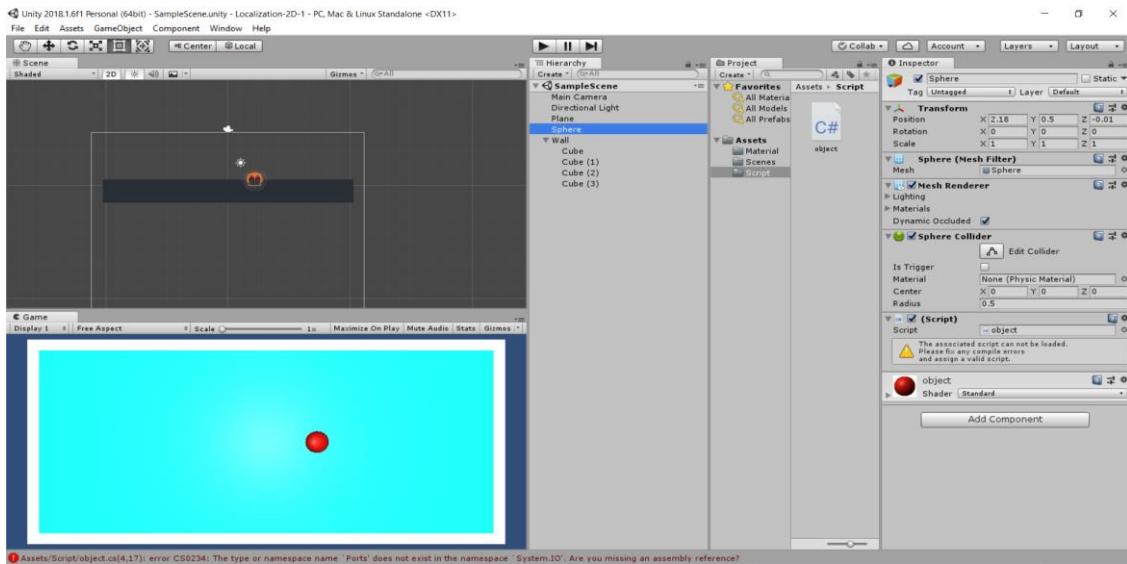
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino

[ที่มา : https://microcontrollerslab.com/arduino-programming-tutorial-beginners/#Control_Structure_in_Arduino_programming_in_C_Language]

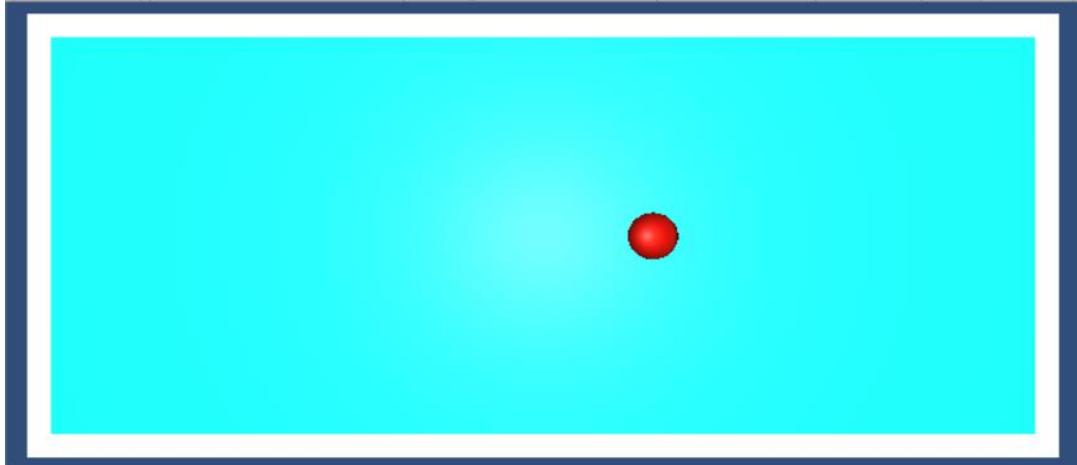
2.5. โปรแกรม Unity

เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อพัฒนาเกม (Game Engine) มีจุดเด่นคือใช้งานง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สามารถออกแบบเกมได้หลากหลายรูปแบบและเกมที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการทั้ง Windows MacOS รวมไปถึงรองรับการออกแบบเกมสำหรับ Smartphone ทั้งระบบปฏิบัติการ iOS และ Android

สำหรับภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเกม (Script) สามารถพัฒนาได้ 2 ภาษา ได้แก่ C# และ Javascript [7] โดยในงานชิ้นนี้ผู้จัดทำได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างระบบจำลองพื้นที่ในการระบุตำแหน่ง โดยหน้าต่างการใช้งานจะมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.6 และมีผลลัพธ์ตัวอย่างสำหรับแสดงการจำลองตำแหน่งดังรูปที่ 2.6



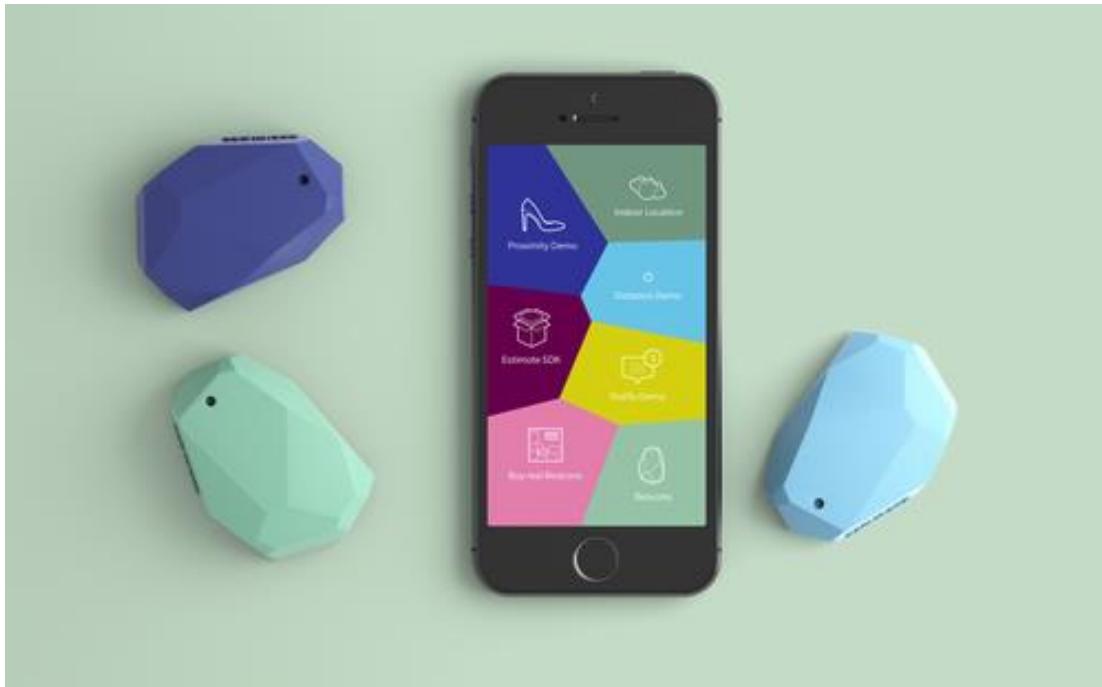
รูปที่ 2.6 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม Unity



รูปที่ 2.7 ผลลัพธ์แสดงการจำลองตำแหน่ง

2.6. ผลิตภัณฑ์ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร Estimote Indoor Localization

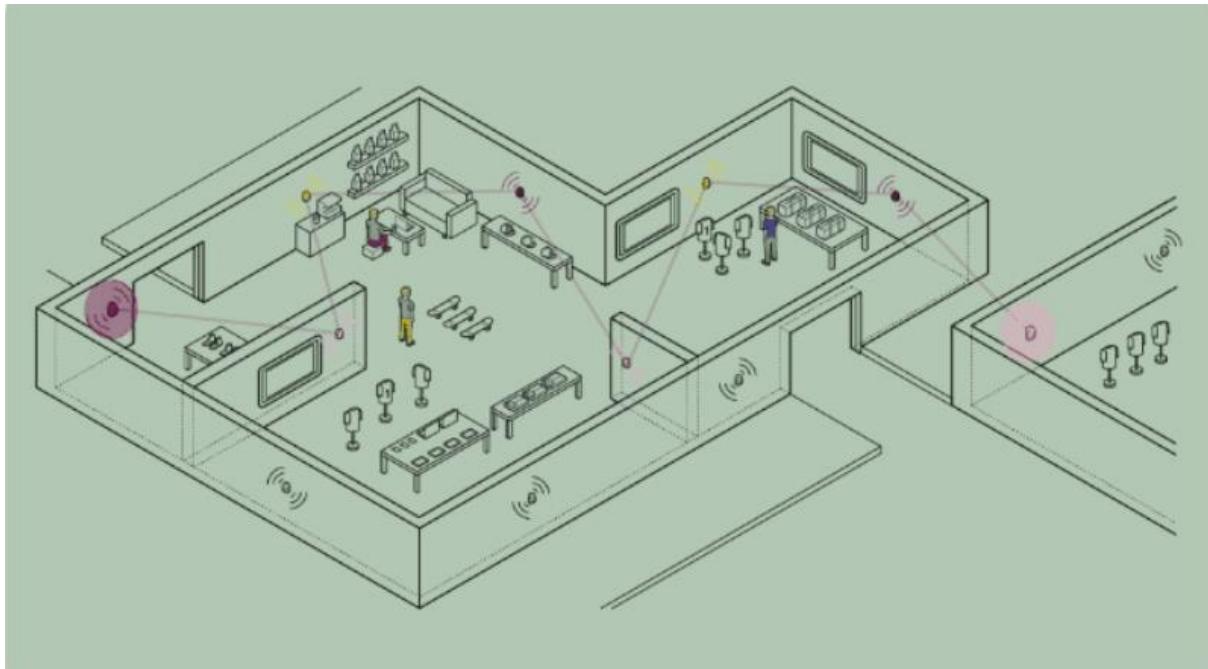
เป็นผลิตภัณฑ์จากทาง Estimote ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งของโทรศัพท์หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่ติดตั้งอุปกรณ์ปล่อยสัญญาณไว้ภายในพื้นที่ที่ต้องการได้ ในผลิตภัณฑ์จะประกอบไปด้วย Application บน Smartphone โดยรองรับระบบปฏิบัติการ iOS และ Andriod และมีชุดอุปกรณ์ Bluetooth โดยใช้เทคโนโลยี iBeacon ส่งสัญญาณสื่อสารกันภายในพื้นที่ ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์ Estimote รุ่น Indoor Localization

[ที่มา : https://microcontrollerslab.com/arduino-programming-tutorial-beginners/#Control_Structure_in_Arduino_programming_in_C_Language]

ลักษณะการใช้งานจะสั่งงานผ่านแอพพลิเคชันของตัวเอง มีจุดเด่นคือใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง ในหน่วยนิว และทำงานได้ในพื้นที่ที่ไม่ซึ้งโดยเพิ่มจำนวนของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ Bluetooth ของ Estimote Indoor Localization นี้จะมีลักษณะการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ Mesh Networking [1] โดยอุปกรณ์ Bluetooth จะมีความสามารถในการเชื่อมต่อกันเองระหว่างอุปกรณ์และเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือในเวลาเดียวกัน โดยการเชื่อมต่อประเภทนี้จะมีข้อดีคือทำให้การส่งสัญญาณ Bluetooth ในแต่ละจุดสามารถทำได้มากขึ้นและอุปกรณ์ Bluetooth ในแต่ละตัวจะส่งค่าระยะห่างระหว่างอุปกรณ์กับโทรศัพท์มือถือไปยังอุปกรณ์ Bluetooth ตัวอื่น ๆ ที่เชื่อมต่ออยู่ด้วยรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.9 โดยการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ Bluetooth นี้จะช่วยทำให้การบอกระยะห่างระหว่างของอุปกรณ์และโทรศัพท์มือถือ มีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อแบบ Mesh Networking ของผลิตภัณฑ์ Estimote Indoor Localization

[ที่มา : https://microcontrollerslab.com/arduino-programming-tutorial-beginners/#Control_Structure_in_Arduino_programming_in_C_Language]

ในการออกแบบระบบขึ้นต้น โครงการนี้ผู้จัดทำจะใช้วิธีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ และรับสัญญาณ โดยตรง โดยจะใช้อุปกรณ์รับสัญญาณทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณทั้งหมด โดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะไม่เชื่อมต่อกันเองและนำผลลัพธ์ที่ได้จากการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ มาคำนวณหาระยะทางและพิกัดโดยใช้ในโครงการ โทรอลเลอร์และนำพิกัดที่ได้ไปแสดงผลต่อไป ซึ่งจะแตกต่างจากการทำงานของผลิตภัณฑ์ Estimote Indoor Localization ที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวจะมีการ เชื่อมต่อกันเอง แบบ Mesh Networking ด้วย

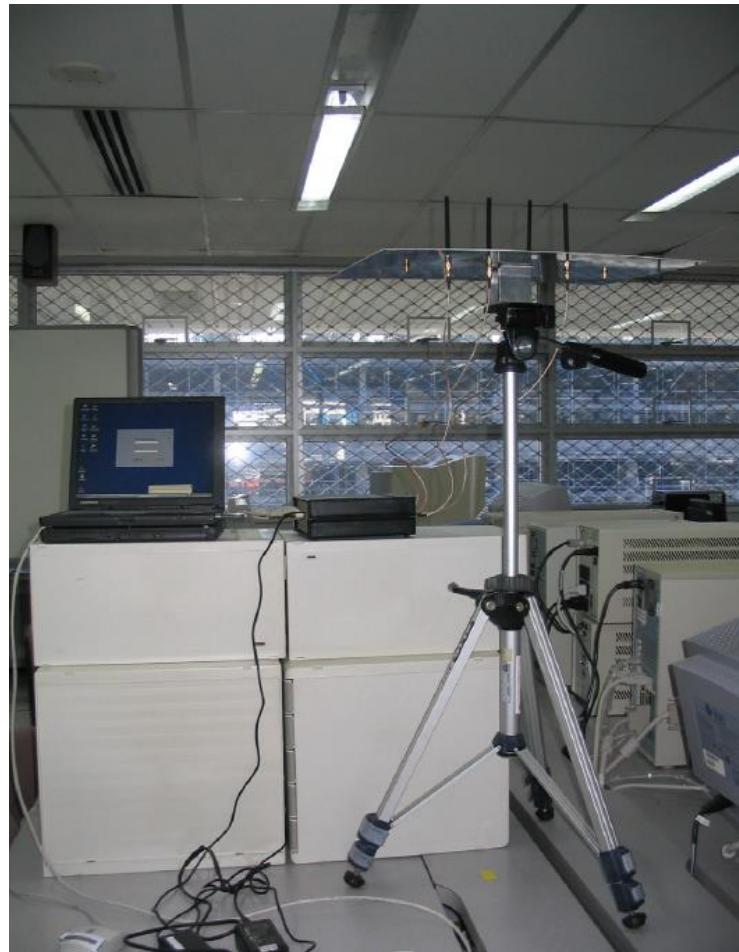
2.7. งานวิจัยและทฤษฎีการใช้ WiFi ระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยี Smart Antennas

งานวิจัยและทฤษฎีการใช้ WiFi ระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยี Smart Antennas (A Real-Time Indoor WiFi Localization System Utilizing Smart Antennas) เป็นงานวิจัยโดยการเผยแพร่โดย IEEE Transactions on Consumer Electronics ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการใช้สัญญาณ WiFi ในการทำระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Localization) โดยจะใช้เสาสัญญาณ WiFi แบบพิเศษเพื่อรับความแรงของสัญญาณที่อยู่ภายในพื้นที่และนำความแรงของสัญญาณที่ได้มาทำการประมวลผลร่วมกับค่าความแรงสัญญาณของเสาสัญญาณตัวอื่น ๆ มาวิเคราะห์หาตำแหน่งโดยใช้หลักการ Triangulation และอุปกรณ์สำหรับระบุตำแหน่งนั้นจะเป็นโทรศัพท์มือถือที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อแบบ WiFi ที่รองรับมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ IEEE 802.11 b/g [6]

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาทำการวิจัย ได้แก่ เรื่องเทคโนโลยี Smart Antennas System และเรื่องการหาพิกัดโดยใช้ทฤษฎี Triangulation โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1. เทคโนโลยี Smart Antennas System

เสาอากาศอัจฉริยะ (Smart Antennas System) เป็นเสาอากาศที่มีความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดผลกระทบที่ไม่เหมาะสมให้กับเสาสัญญาณ โดยจะใช้เสาอากาศแบบ Low Gain นำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยการทำขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับค่าการรับของสัญญาณในสูตรต้องเหมาะสมในมุมต่าง ๆ โดยจะรับค่าสัญญาณตามแต่ละมุมที่หมุนไปของตัวรับสัญญาณนำมาคำนวณหาค่าอ่วงน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละมุมและเก็บไว้เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณารับค่า RSSI (ค่าพลังงานที่รับได้ในอุปกรณ์รับสัญญาณ) และใช้ในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งต่อไป โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง Smart Antenna จำนวน 3 ชุด เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณและคำนวณ [6] ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.10



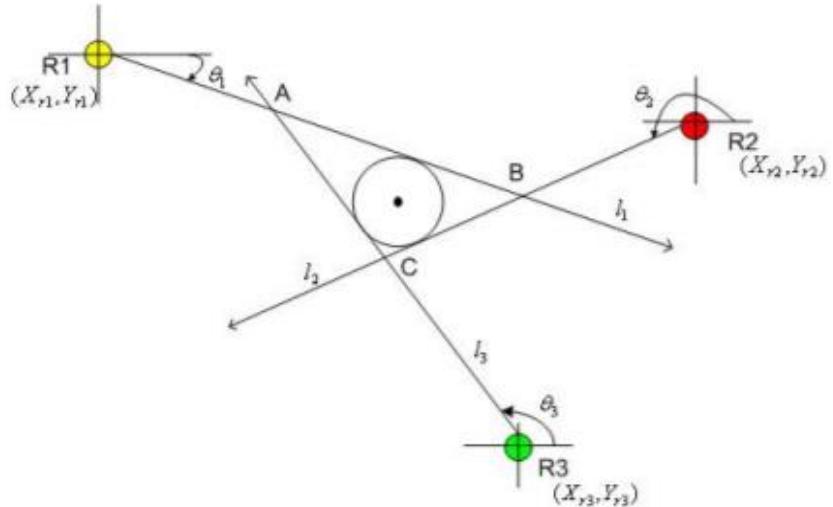
รูปที่ 2.10 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และ Smart Antenna

[ที่มา : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4266950>]

2.7.2. วิธีการหาพิกัด โดยใช้ทฤษฎี Triangulation

หลักการ Triangulation กือการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณทั้งหมดอย่างน้อย 3 ตัวในการรับสัญญาณโดยจะรับค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละมุม โดยใช้ประโยชน์จากวิธีการในข้อ 2.7.1 เพื่อให้ได้มุมที่ดีที่สุด เมื่ออุปกรณ์ทั้งสามจะได้มุมที่เหมาะสมแล้วจะสามารถติดกรอบพื้นที่การระบุตำแหน่งเป็นรูปสามเหลี่ยม และสามารถคำนวณหาพิกัดของมุมสามเหลี่ยมทั้งสามมุมรวมไปถึงระยะทางของด้านทั้งสาม เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาพิกัดกึ่งกลางของพื้นที่สามเหลี่ยมนั้นและใช้พิกัดนั้นเป็นคำตوبดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 2.11 โดยการหาพิกัดนี้จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของมุมสามเหลี่ยม ดังสมการที่ 2.1, 2.2, 2.3 และ 2.4 การคำนวณหาระยะห่างระหว่างมุมสามเหลี่ยมหรือระยะด้านของสามเหลี่ยม ดังสมการที่ 2.5, 2.6 และ 2.7 และการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมหรือพิกัดตำแหน่ง ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9 [6]

โดยในโครงการนี้ ผู้จัดทำจะทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี Triangulation และทดลองใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการหาพิกัดของอุปกรณ์รับสัญญาณสำหรับในส่วนของการออกแบบระบบระบุตำแหน่งขั้นต้นต่อไป



รูปที่ 2.11 แบบจำลองการหาตำแหน่งแบบ Triangulation

[ที่มา : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4266950>]

สมการหาพิกัดตำแหน่งของมุมสามเหลี่ยม :

$$x = \frac{x_{r2} \cdot \tan \theta_2 + x_{r1} \cdot \tan \theta_1 + y_{r2} + y_{r1}}{\tan \theta_2 + \tan \theta_1} \quad (2.1)$$

$$l_1: y = -\tan \theta_1 \cdot x + x_{r1} \cdot \tan \theta_1 + y_{r1} \quad (2.2)$$

$$l_2: y = \tan \theta_2 \cdot x - x_{r2} \cdot \tan \theta_2 + y_{r2} \quad (2.3)$$

$$l_3: y = -\tan \theta_3 \cdot x + x_{r3} \cdot \tan \theta_3 + y_{r3} \quad (2.4)$$

เมื่อ l_1 กือเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิงที่ 1

l_2 กือเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิงที่ 2

l_3 กือเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิงที่ 3

θ_1 กือมุมที่จุดอ้างอิงที่ 1 ได้รับสัญญาณแรงที่สุด

θ_2 กือมุมที่จุดอ้างอิงที่ 2 ได้รับสัญญาณแรงที่สุด

θ_3 กือมุมที่จุดอ้างอิงที่ 3 ได้รับสัญญาณแรงที่สุด

- เมื่อ x_{r1} กีอพิกัด X ของจุดอ้างอิงที่ 1 , y_{r1} กีอพิกัด Y ของจุดอ้างอิงที่ 1
 x_{r2} กีอพิกัด X ของจุดอ้างอิงที่ 2 , y_{r2} กีอพิกัด Y ของจุดอ้างอิงที่ 2
 x_{r3} กีอพิกัด X ของจุดอ้างอิงที่ 3 , y_{r3} กีอพิกัด Y ของจุดอ้างอิงที่ 3

สมการหาระยะห่างระหว่างสามเหลี่ยมหรือระยะด้านของสามเหลี่ยม :

$$a = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.5)$$

$$b = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} \quad (2.6)$$

$$c = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2} \quad (2.7)$$

สมการหาพิกัดตำแหน่งจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมหรือพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ :

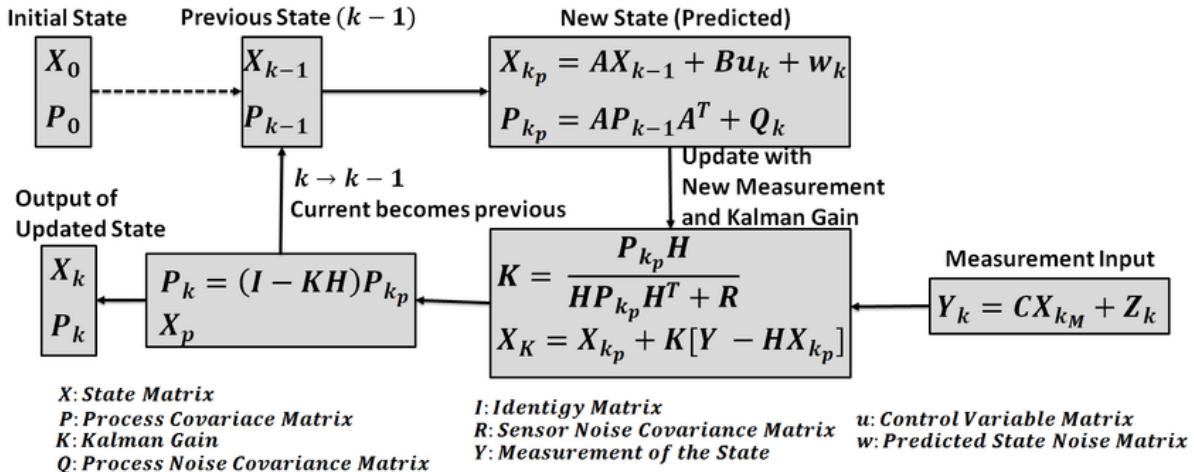
$$x_{\text{Incenter}} = \frac{(b \cdot x_1 + c \cdot x_2 + a \cdot x_3)}{a + b + c} \quad (2.8)$$

$$y_{\text{Incenter}} = \frac{(b \cdot y_1 + c \cdot y_2 + a \cdot y_3)}{a + b + c} \quad (2.9)$$

- เมื่อ x_1 กีอพิกัด X ของจุด A , y_1 กีอพิกัด Y ของจุด A
 x_2 กีอพิกัด X ของจุด B , y_2 กีอพิกัด Y ของจุด B
 x_3 กีอพิกัด X ของจุด C , y_3 กีอพิกัด Y ของจุด C
 a กีระยะห่างระหว่างจุด A และจุด B
 b กีระยะห่างระหว่างจุด B และจุด C
 c กีระยะห่างระหว่างจุด A และจุด C

2.8. ตัวกรองแบบค่าลามาน (Kalman Filter Algorithm)

ตัวกรองแบบค่าลามานเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกใช้ในการประมาณค่าเชิงเส้น (Linear Quadratic Estimation) โดยวิธีการนี้นิยมถูกใช้ในการนำมาประมาณค่าของเซนเซอร์ในระบบฟังตัวเนื่องจากมีการใช้หน่วยความจำที่น้อยและให้ค่าที่มีแนวโน้มจะเป็นค่าที่ถูกต้องสูง โดยหลักการของตัวกรองแบบค่าลามานจะอธิบายเป็น State Diagram ได้ดังในรูปภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 State Diagram แสดงการทำงานของตัวกรองค่าลามาน

[ที่มา : https://www.researchgate.net/figure/Multi-Dimensional-Kalman-Filter_fig1_311647948]

โดยเริ่มแรกเราจะเป็นต้องมีสมการ Process Model และ Measurement Model ของค่าที่เราต้องการวัด ทั้งสองสมการจะถูกเพิ่มด้วยตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยตัวแปรสุ่มนี้จะอยู่ในรูปแบบของ Zero-Mean Gaussian White Noise ต่อมาจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนที่จะเปิดการทำงานตัววัดและคำนวณหาค่า Variance ของความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่วัด ได้กับค่าเริ่มต้น

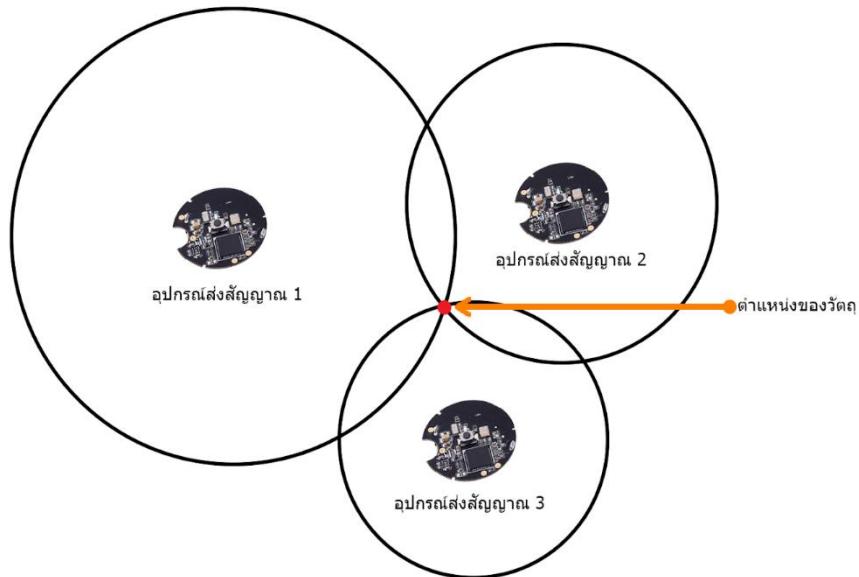
จากนั้นจะค่าที่ได้มาคำนวณหา Kalman Gain และสูตรท้ายจะนำค่าทั้งหมดที่ได้มาคำนวณหาค่าที่ต้องการวัดผลและนำค่าที่ได้เนื้อกลับมาหาค่า Variance และนำเข้าไปคำนวณใหม่ไปเรื่อย ๆ [13]

ดังนี้เราจะนิยามหลักการทำงานของ Kalman Filter Algorithm ได้ว่าเป็นการนำค่าที่ได้จากการรับก่อนหน้ามาคำนวณร่วมกับค่าที่วัด ได้ปัจจุบัน ร่วมกับวิธีการที่ทำให้ค่าที่ได้มารู้เข้าสู่ค่าที่เป็นจริงมากที่สุด

โดยในโครงงานนี้จะนำตัวกรองค่าลามานมาใช้ในการกรองค่าของสัญญาณ RSSI ที่จะนำมาคำนวณระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณและอุปกรณ์ส่งสัญญาณเนื่องจากตัวอุปกรณ์รับสัญญาตนั้นจะได้รับค่าที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ได้ไม่เที่ยงตรงนักเพื่อการส่งสัญญาณในอากาศนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะมีคลื่นรบกวนรวมไปถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับสัญญาณเองก็อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ทางผู้จัดทำโครงงานจึงเลือกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งให้ดียิ่งขึ้น

2.9. การทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration)

การทำสามเหลี่ยมระยะ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการ โดยใช้จุดที่ตัดกันของเส้นวงกลมสามวง โดยจะอาศัยระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณและอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่คำนวณได้มาเข้าสมการเพื่อหาพิกัดตำแหน่ง ดังรูปภาพที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบจำลองการทำตำแหน่งแบบ Trilateration

โดยการคำนวณตำแหน่งนั้นจะเริ่มจากการกำหนดจุดอ้างอิงทึ้งหมด 3 จุด โดยในจุดอ้างอิงที่ 1 จะกำหนดให้เป็นจุดกำเนิดในพิกัด $(0,0)$ จุดอ้างอิงที่สองจะอยู่ห่างจากจุดอ้างอิงที่ 1 ในแนวแกน x โดยจะอยู่ในพิกัด $(U,0)$ และจุดอ้างอิงที่ 3 จะอยู่ในพิกัด (V_x, V_y) โดยจะนำค่าพิกัดของจุดอ้างอิงทั้ง 3 และระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัตถุกับจุดอ้างอิงมาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุดังสมการที่ 2.10 และ 2.11

สมการหาพิกัดตำแหน่งโดยการทำสามเหลี่ยมระยะ :

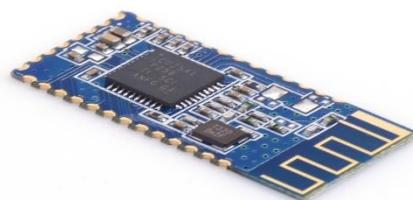
$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + U^2}{2U} \quad (2.10)$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + V^2 - 2V_x x}{2V_y} \quad (2.11)$$

- เมื่อ r_1 คือระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงที่ 1 และตำแหน่งของวัตถุ
 r_2 คือระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงที่ 2 และตำแหน่งของวัตถุ
 r_3 คือระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงที่ 3 และตำแหน่งของวัตถุ
 U คือพิกัด X ของจุดอ้างอิงที่ 2
 V_x คือพิกัด X ของจุดอ้างอิงที่ 3
 V_y คือพิกัด y ของจุดอ้างอิงที่ 3

2.10. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module

เป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ Bluetooth 4.0 ซึ่งสามารถโปรแกรมให้รับข้อมูลที่เข้ามาในรูปแบบ
โปรโตคอล iBeacon ได้ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 2.14



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module

[ที่มา : <https://www.itead.cc/serial-port-ble-module-master-slave-hm-10.html>]

HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module นี้จะใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 3.3 V [16] และมี Interface การเชื่อมต่อเป็นแบบ UART คือใช้พอร์ท Tx และ Rx ในการรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรเลอร์ [17] โดยผู้จัดทำได้นำผลิตภัณฑ์นี้มาใช้เป็นชุดอุปกรณ์สำหรับรับสัญญาณโดยนำมารับข้อมูลที่มาจากการอุปกรณ์ส่งสัญญาณ และส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผล เพื่อนำไปคำนวณหาระยะห่างและพิกัดต่อไป

บทที่ 3

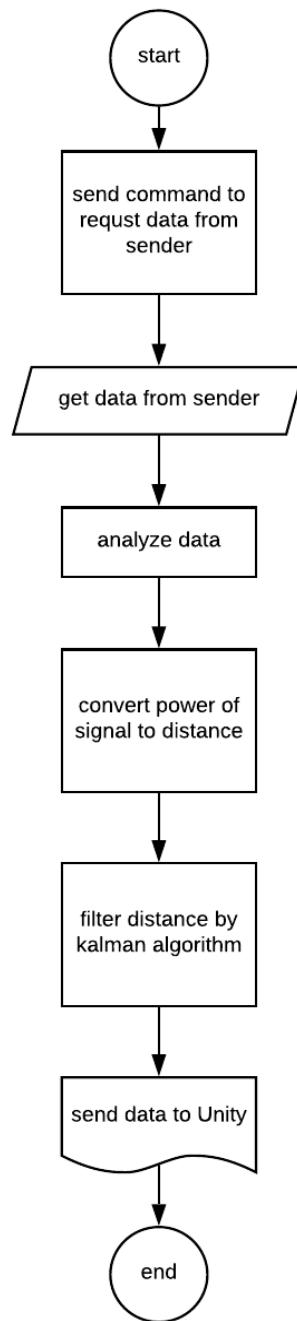
การออกแบบและระบบวิธีทดลอง

3.1. การออกแบบขั้นต้น

ในการออกแบบระบบทรุ่นต้นๆ จะประกอบส่วนการทำงาน 3 ส่วน ได้แก่

3.1.1. ส่วนอุปกรณ์ส่วนส่งสัญญาณ (Sender) จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ ReYeBu NRF51822 Bluetooth 4.0 Wireless Module ไว้บริเวณรอบพื้นที่ของห้องในตำแหน่งระนาบเดียวกันและติดตั้งในระยะห่างที่เท่ากันโดยจะใช้อุปกรณ์จำนวนอย่างน้อย 3 ตัวสำหรับหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณมาที่ตัวรับสัญญาณเพื่อใช้ในการบอกระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ

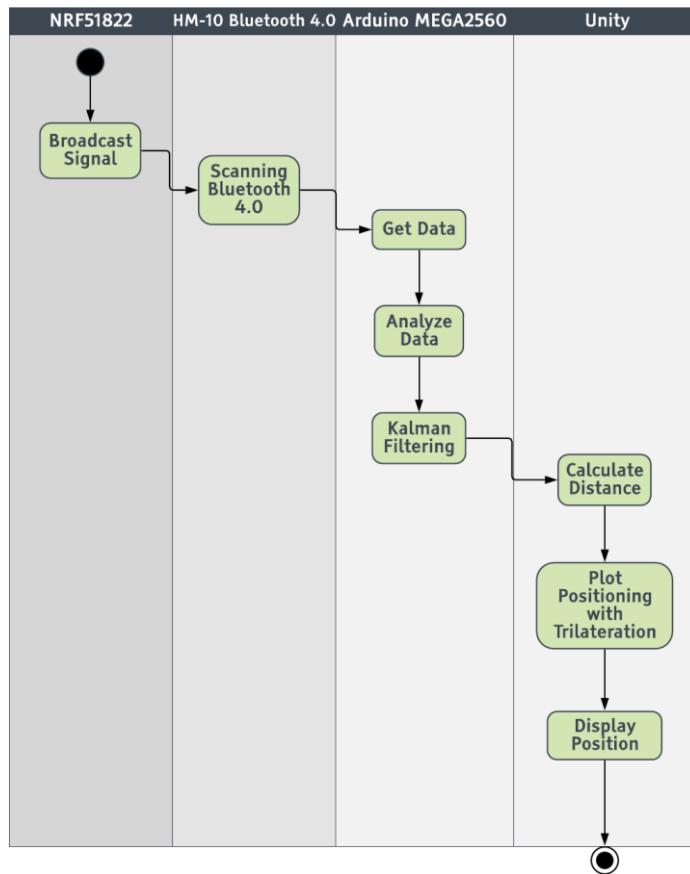
3.1.2. ส่วนอุปกรณ์ส่วนรับสัญญาณ (Receiver) และไมโครคอนโทรลเลอร์ ชุดอุปกรณ์ส่วนรับสัญญาณจะใช้ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module ทำหน้าที่รับ Packet ที่ได้จากอุปกรณ์ส่วนส่งสัญญาณ และเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับ Data ที่ได้มายังเคราะห์และคำนวณหาระยะห่างของชุดส่งสัญญาณในแต่ละจุดในโปรแกรม Arduino เพื่อนำค่าระยะห่างที่ได้จากการคำนวณส่งไปยังส่วนของโปรแกรมการแสดงผลเพื่อกำหนดพิกัดต่อไป โดยสามารถนำมาแสดงเป็นแผนภาพขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) ได้ดังตัวอย่างในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) แสดงการทำงานของชุดอุปกรณ์ส่วนรับสัญญาณ และไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.3. ส่วนโปรแกรมการแสดงผล (Unity) จะรับข้อมูลระยะห่างที่ได้จากโปรแกรม Arduino มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งพร้อมทั้งแสดงผลในรูปแบบ 2 มิติ

จากการออกแบบระบบขั้นต้นนั้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) ได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.2



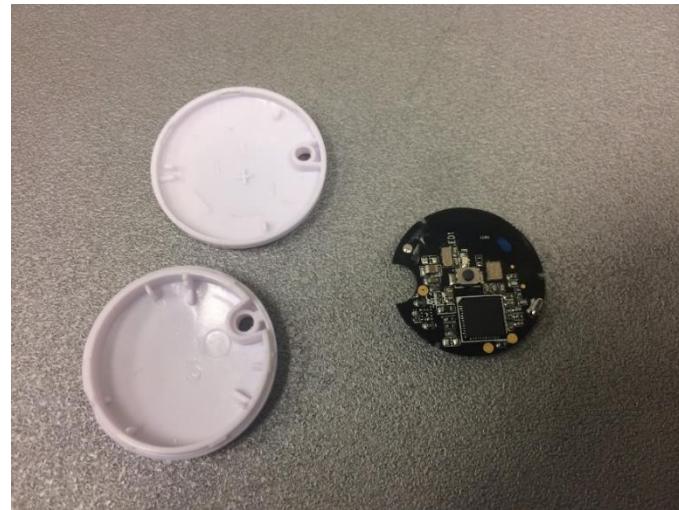
รูปที่ 3.2 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) แสดงการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง

3.2 การตั้งค่าเลข Major และ Minor สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822

ในโครงการนี้จะมีการตั้งค่าเลข Major และ Minor สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822 เพื่อทำการจำแนกอุปกรณ์ในแต่ละตัว โดยสามารถตั้งค่าผ่านทาง Application ชื่อ RL Beacons ในอุปกรณ์ Smartphone ระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งมีขั้นตอนการตั้งค่าดังต่อไปนี้

3.2.1. ส่วนชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

3.2.1.1. ทำการติดต่ออุปกรณ์ออกจากชุดคอมพิวเตอร์ที่ 3.3 เพื่อทำการติดต่อแบบเตอร์



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ถูกถอนออกจากชุด kospla สติก

3.2.1.2. ติดตั้งแบตเตอรี่โดยใช้แบตเตอรี่เบอร์ CR2032 ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.4 บริเวณด้านหลังของอุปกรณ์โดยให้ด้านฝั่งประจุบวกของแบตเตอรี่อยู่ด้านล่าง ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แบตเตอรี่เบอร์ CR2032



รูปที่ 3.5 วิธีการติดตั้งแบตเตอรี่ โดยให้ด้านจ่ายประจุบวกอยู่ด้านล่างของอุปกรณ์

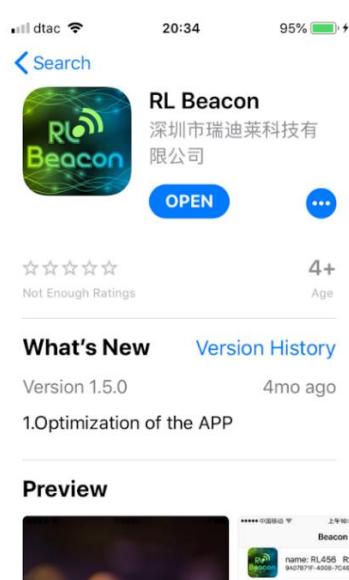
3.2.1.3. LED บนอุปกรณ์จะทำการกระพริบโดยจะกระพริบเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อพร้อมสำหรับการตั้งค่าอุปกรณ์ ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.6



รูปที่ 3.6 LED บนอุปกรณ์จะทำการกระพริบจำนวน 3 ครั้ง

3.2.2. ส่วนการตั้งค่าใน Application

3.2.2.1. ทำการดาวน์โหลด Application “RL Beacon” ใน Apple App Store ดังรูปภาพที่ 3.7



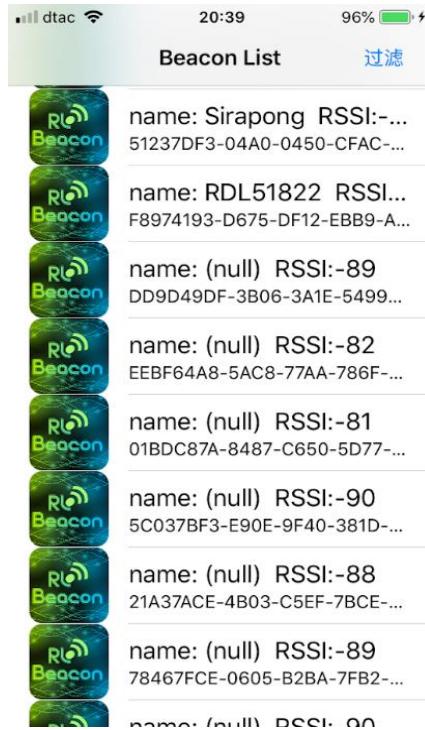
รูปที่ 3.7 ดาวน์โหลด Application “RL Beacon” ใน Apple App Store

3.2.2.2. เปิดการทำงาน Bluetooth ของโทรศัพท์มือถือโดยไปที่ Settings -> Bluetooth ดังรูปภาพที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเปิดการทำงาน Bluetooth ของอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือระบบ iOS

3.2.2.3. เปิด Application “RL Beacon” และให้ Application ทำการค้นหาอุปกรณ์ Beacon โดยจะขึ้นเป็นชื่ออุปกรณ์ “RDL51822” ในหน้าค้นหา ดังในรูปภาพที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หน้าการทำงานและการค้นหาของ Application “RL Beacon”

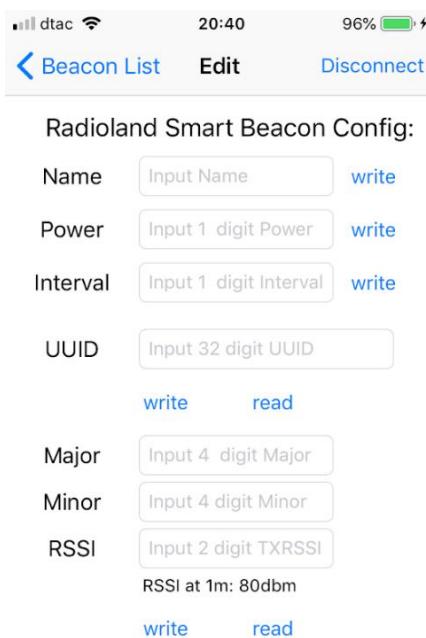
3.2.2.4 ให้ทำการเดือกดูอุปกรณ์ที่มี name เป็น RDL51822 Application จะทำการเปลี่ยนไปยังหน้าที่ทำการตั้งค่า ดังรูปภาพที่ 3.10 โดยในหน้าดังกล่าวสามารถตั้งค่าอุปกรณ์ได้ดังนี้

- **Name** เป็นการตั้งชื่อ Advertise ของอุปกรณ์
- **Power** เป็นการตั้งค่าการทำงานของ TX Power ของอุปกรณ์นี้ โดยอุปกรณ์นี้สามารถตั้งค่า Power การทำงานของอุปกรณ์ให้มีการส่งสัญญาณแรงหรืออ่อน ได้โดยการกรอกค่านี้จะเป็นการกรอกเลขฐาน 16 (Hexadecimal) ซึ่งสามารถกรอกได้เป็นเลข 01 - 13 โดยเลขแต่ละค่าจะมีความสัมพันธ์กับกำลังของการส่งสัญญาณ (dbm) หากใส่ตัวเลขมากจะทำให้กำลังการส่งสัญญาณทำได้ในระยะที่ไกลหรือถ้าหากใส่ตัวเลขน้อย ก็จะทำให้กำลังการส่งสัญญาณน้อยลงดังในตารางที่ 3.1 [14]

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ของเลขฐาน 16 (Hexadecimal) และกำลังในการส่งสัญญาณ

dBm	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	1	2	3	4	5
Hex	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13

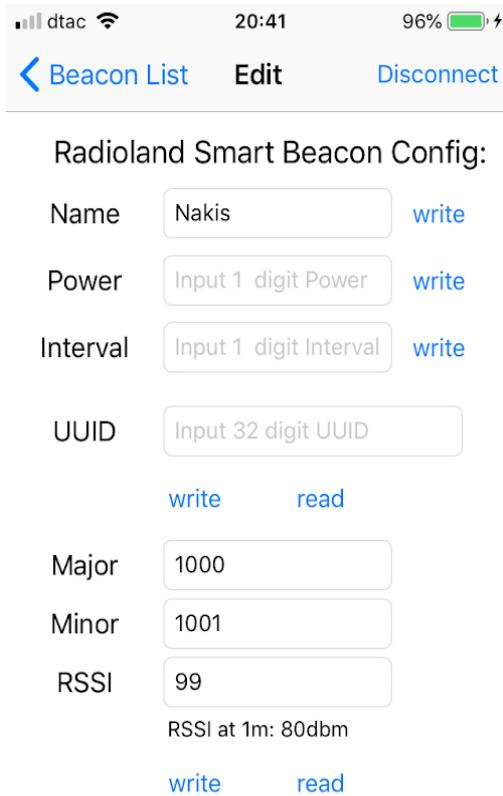
- **Interval** เป็นการตั้งค่าระยะเวลาการ Broadcast สัญญาณของอุปกรณ์ในแต่ละช่วงต่อ 1 วินาทีโดยถ้าตั้งเวลาสั้นน้อจะทำให้การ Broadcast ของสัญญาณทำได้ถี่ขึ้น เช่นถ้าหากตั้งเวลาการ Broadcast เป็น 50ms จะหมายความว่าใน 1 วินาที อุปกรณ์จะ Broadcast สัญญาณทุก ๆ 50ms โดยการกรอกค่า Interval นี้สามารถทำได้โดยการนำเวลาที่ต้องการจะตั้งนำมาหารด้วยเลข 50 และนำผลหารที่ได้ไปแปลงเป็นเลขฐาน 16
- **UUID** ใช้ในการเปลี่ยนหมายเลข UUID ของอุปกรณ์นี้
- **Major** เป็นการตั้งเลข Major ของอุปกรณ์โดยสามารถตั้งได้ตั้งแต่เลข 0 - 9999
- **Minor** เป็นการตั้งเลข Minor ของอุปกรณ์โดยสามารถตั้งได้ตั้งแต่เลข 0 - 9999
- **RSSI** ใช้สำหรับในการ Calibrate ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณและโทรศัพท์มือถือ โดยต้องทำการวางแผนอุปกรณ์ห่างจากโทรศัพท์มือถือเป็นระยะ 1 เมตร สังเกตค่า RSSI ของอุปกรณ์ในขณะนั้นและนำเลข RSSI ที่ได้ไปแปลงเป็นเลขฐาน 16 แล้วกรอกเลขที่ได้มาในช่องดังกล่าว



รูปที่ 3.10 หน้าการตั้งค่าอุปกรณ์ ของ Application RL Beacon

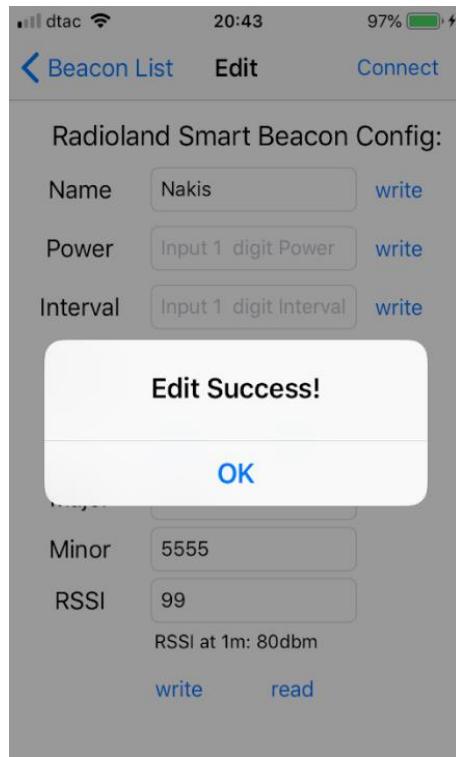
โดยในโครงงานนี้ ผู้จัดทำจะทำการตั้งค่าจำนวน 4 ค่า ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.11 ได้แก่

- **Name** เพื่อตั้งชื่อให้กับในแต่ละอุปกรณ์
- **Major** เพื่อแยกหมวดหมู่ของอุปกรณ์
- **Minor** เพื่อแยกหมวดหมู่ของอุปกรณ์ส่วนที่อยู่ในเลข Major เดียวกัน
- **RSSI** เพื่อ Calibrate สัญญาณ Bluetooth ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการตั้งค่า Name, Major, Minor และ RSSI สำหรับโครงงาน

เมื่อทำการกรอกข้อมูลสำหรับการตั้งค่าแล้ว ให้ทำการกดปุ่ม write ของในแต่ละหัวข้อกรณีที่กรอกข้อมูลถูกต้อง เมื่อกด write แล้ว Application จะขึ้นข้อความ “Edit Success!” ดังรูปภาพที่ 3.12 และ Application ส่งผลลัพธ์ที่ตั้งค่าไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อใช้งานต่อไป



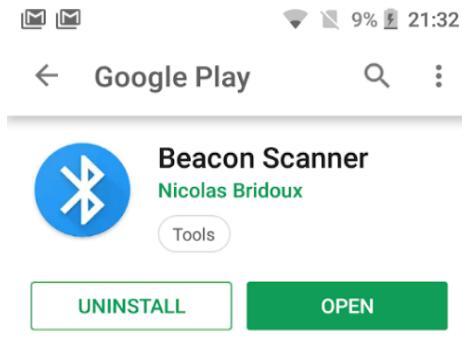
รูปที่ 3.12 กรณิกรอกข้อมูลอุกต้อง Application จะแสดงข้อความ “Edit Success!” และส่งผลลัพธ์ที่ตั้งค่าไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

3.3. วิธีการตรวจสอบผลลัพธ์การตั้งค่าอุปกรณ์ขั้นต้น สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu

NRF51822

ในการตรวจสอบผลลัพธ์ของการตั้งค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณในข้อที่ 3.2 ผู้จัดทำได้ใช้ Application Beacon Scanner ใน Smartphone ระบบปฏิบัติการ Android เป็น Application สำหรับการค้นหาและตรวจสอบผลลัพธ์จากการตั้งค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณเนื่องจาก Application ดังกล่าวมีการแสดงผลลัพธ์ของอุปกรณ์อย่างละเอียดและสามารถแสดงผลลัพธ์การทำงานแบบเวลาจริง (Real-time Scanning) ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 ทำการดาวน์โหลด Application “Beacon Scanner” ใน Google Play Store ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.13



What's new •
Last updated Jan 29, 2018

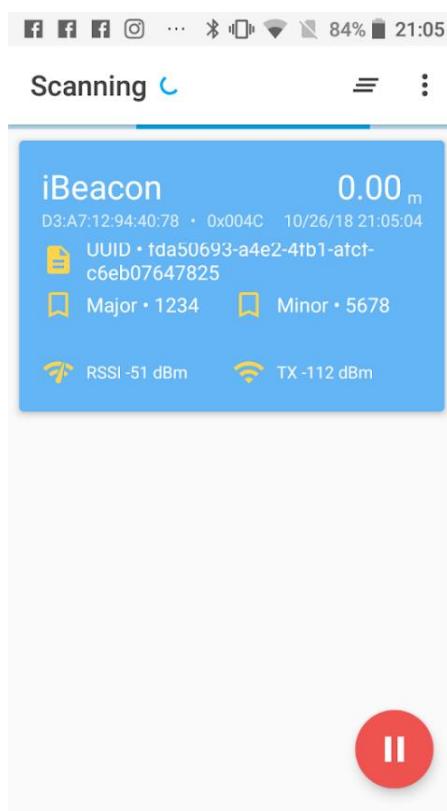
- Added the possibility to remove only one beacon from the scanned list
- Added the possibility to "blacklist" a beacon

[Read more](#)

รูปที่ 3.13 ดาวน์โหลด Application Beacon Scanner ใน Google Play Store

3.3.2 เปิดการทำงานของ Bluetooth ในโทรศัพท์มือถือ

3.3.3 เปิด Application Beacon Scanner และทำการกดปุ่ม เพื่อค้นหาอุปกรณ์ส่งสัญญาณ โดย Application จะแสดงผลการค้นหาเป็นดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Application แสดงผลการค้นหาอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

โดยใน Application นี้ ผู้จัดทำจะใช้ในการตรวจสอบหมายเลข UUID, Major และ Minor ของในแต่ละอุปกรณ์โดยขึ้นต้นชื่นจะเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการตั้งค่าใน Application RL Beacon ในข้อที่ 3.2 และนำผลลัพธ์ที่ได้นี้ไปประกอบการพัฒนาโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์ในโครงการโทรศัพท์ต่อไป

3.4. การเชื่อมต่ออุปกรณ์รับสัญญาณ กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโครงการนี้ ผู้จัดทำได้ใช้อุปกรณ์ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module เป็นอุปกรณ์สำหรับการรับสัญญาณ Bluetooth ที่ได้มาราจากชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลในการรับสัญญาณที่เกี่ยวข้องและคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ และอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณกับไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะมี Interface ที่ในการเชื่อมต่อจำนวน 4 Port ได้แก่

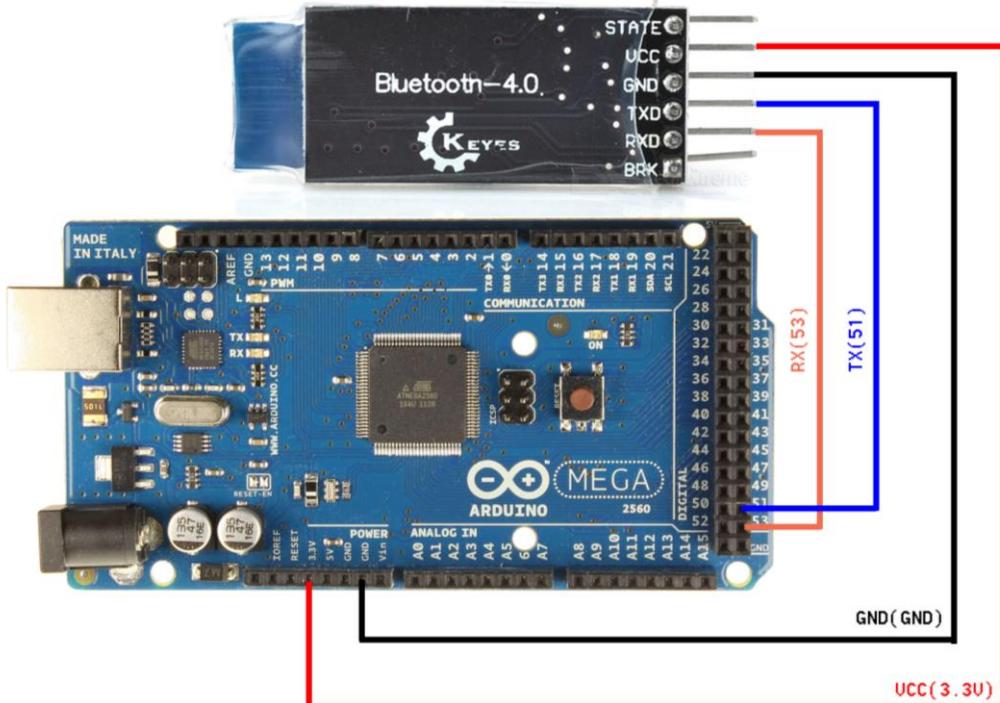
VCC - เป็น Interface เชื่อมต่อไฟฟ้าเพื่อใช้เลี้ยงอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module จะใช้แรงดันไฟฟ้าทำงานที่ 3.3V

GND - เป็น Interface Ground ไฟฟ้าของอุปกรณ์

TXD - เป็น Interface สำหรับในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ

RXD - เป็น Interface สำหรับในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์รับสัญญาณ มา.yังไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยวิธีการเชื่อมต่อ จะทำการเชื่อมต่อ VCC ไปยัง Interface 3.3V ของไมโครคอนโทรลเลอร์และ GND จะทำการเชื่อมต่อไปยัง Interface GND ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วน Interface TX และ RX นี้จะเชื่อมต่อไปยัง Digital Interface ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในโครงการนี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้ Digital Port หมายเลขที่ 51 และ 53 โดย Digital Port หมายเลข 51 จะเชื่อมต่อกับ Interface TX และหมายเลข 53 จะเชื่อมต่อกับ Interface RX ของอุปกรณ์ตามลำดับดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วิธีการเชื่อมต่อระหว่าง HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module กับไมโครคอนโทรลเลอร์
[ที่มา : <https://www.amazon.com/SmartProjects-Mega-Arduino-MEGA-Board/dp/B004A7H3DG>]

3.5. วิธีการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module

สำหรับการตั้งค่าให้อุปกรณ์รับสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการค้นหาสัญญาณและรับสัญญาณ ที่ได้จากชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะต้องทำการตั้งค่าเพื่อกำหนด Mode การทำงานของอุปกรณ์และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ส่งชุดคำสั่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและรับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์มาประมวลผลโดยการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1. การเขียนโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในขั้นต้นจะทำการเขียนโปรแกรมในโปรแกรม Arduino เพื่อทำการอัพโหลดโปรแกรม ดังกล่าวไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์โดยโปรแกรมดังกล่าวจะทำการกำหนด Port Interface สำหรับ TX RX Interface และกำหนดการทำงานของ Serial Monitor สำหรับการรับส่งข้อมูล ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์รับสัญญาณ ดังตัวอย่างในรูปภาพที่

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(51, 53); // ก้านดเลน Port TX RX ในไมโครคอนโทรลเลอร์ (TX Pin, RX Pin)

void setup()
{
    Serial.begin(9600); // ตั้งค่า Serial Monitor ให้ทำงานที่ Rate Baud 9600 bps.
    BTSerial.begin(9600); // ตั้งค่าการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ HM-10 ให้ทำงานที่ Rate Baud 9600 bps.
    Serial.println("AT Command > "); // แสดงข้อความ "AT Command >" บนหน้า Serial Monitor
}

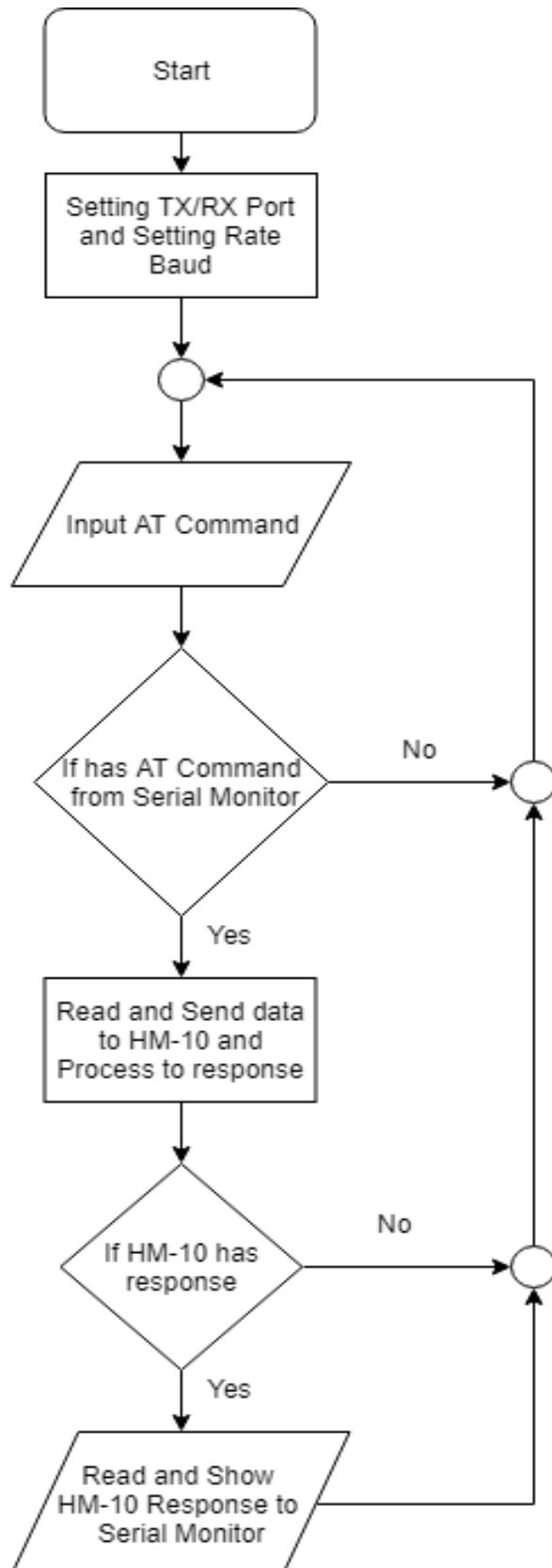
void loop()
{
    if (BTSerial.available()) // กรณีที่ HM-10 มีการส่งข้อมูลกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์
    {
        Serial.write(BTSerial.read()); // อ่านข้อมูลที่ได้จาก HM-10 และแสดงผลไปยังหน้า Serial Monitor
    }

    if (Serial.available()) // กรณีที่มีการส่ง AT Command จากหน้า Serial Monitor
    {
        BTSerial.write(Serial.read()); // อ่านข้อมูลที่ได้จากหน้า Serial Monitor และส่งข้อมูลไปยัง HM-10
    }
}
```

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างโปรแกรมสำหรับการอัพโหลดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใชในการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ

[ที่มา : <https://m2msupport.net/m2msupport/using-at-command-tester-with-arduino-boards/>]

หลักการทำงานของโปรแกรมดังกล่าว จะเป็นการวนรับคำสั่ง AT Command จากผู้ใช้มือถือ โปรแกรมพบว่ามีการพิมพ์คำสั่งมาจากหน้า Serial Monitor จะทำการอ่านค่าที่ได้และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ และถ้าโปรแกรมพบว่าอุปกรณ์รับสัญญาณมีการส่งข้อมูลมายังไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อมูลดังกล่าวและนำมาแสดงผลในหน้า Serial Monitor โดยโปรแกรมดังกล่าวจะมี Flowchart ขั้นตอนในการทำงาน ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.17



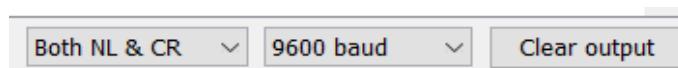
รูปที่ 3.17 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม สำหรับทดสอบและตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ

3.5.2. ตั้งค่าการทำงานของ Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino และทดสอบการส่งคำสั่ง

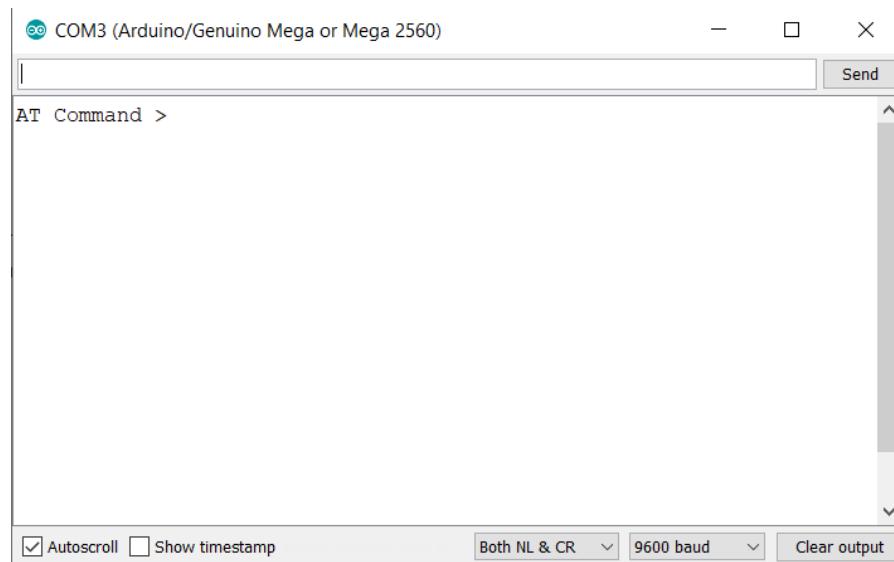
AT Command

3.5.2.1. เปิดหน้าการทำงานของ Serial Monitor โดยกดไปที่เครื่องหมาย  ซึ่งจะอยู่บริเวณด้านบนขวาของโปรแกรม หรือกดแป้นลัด “Ctrl+Shift+M”

3.5.2.2. ตั้งค่าการแสดงผลของหน้า Serial Monitor โดยทำการตั้งค่า Line Ending และ Serial Monitor Baud โดยจะอยู่บริเวณล่างขวาของหน้า Serial Monitor โดย Line Ending ให้ทำการตั้งค่าเป็น “Both NL & CR” และ Serial Monitor Baud ตั้งค่าเป็น “9600 Baud” ดังในรูปภาพที่ 3.18 โดยถ้าหากตั้งค่าถูกต้องแล้วภายในหน้า Serial Monitor จะแสดงข้อความ “AT Command >” เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการรับคำสั่ง AT Command ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.19



รูปที่ 3.18 การตั้งค่า Line Ending และ Serial Monitor Baud ในหน้า Serial Monitor



รูปที่ 3.19 หน้า Serial Monitor แสดงข้อความ “AT Command >” เพื่อเตรียมรับคำสั่ง AT Command ในการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ

3.5.2.3. ทดสอบการพิมพ์คำสั่ง AT Command ในหน้า Serial Monitor อุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module จะสามารถพิมพ์คำสั่ง AT Command [17] เพื่อให้อุปกรณ์รับสัญญาณ ได้ทำการส่งข้อมูลกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการแสดงผลในหน้า Serial Monitor เพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ หรือเพื่อค้นหาสัญญาณ Bluetooth ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงແລว์นามาแสดงผลโดยคำสั่ง AT Command นี้ จะมีคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณและคำสั่งอื่น ๆ เพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.2

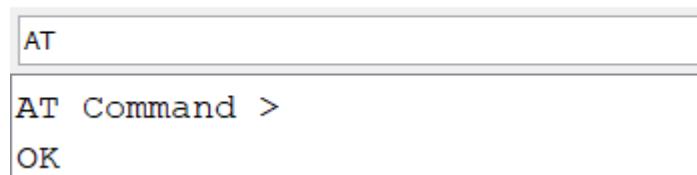
ตารางที่ 3.2 คำสั่ง AT Command ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ

คำสั่ง	การตอบกลับ	รายละเอียด
AT	OK	เป็นการตอบกลับกรณีที่อุปกรณ์เข้ามารับสัญญาณต่ออย่างถูกต้อง และยังมีการเชื่อมต่ออยู่
AT+ADDR?	OK+ADDR:[MAC Adress]	เป็นคำสั่งเพื่อแสดง MAC Address ของอุปกรณ์รับสัญญาณ
AT+BAUD?	OK+GET:{A}	เป็นคำสั่งเพื่อแสดงค่า Baud Rate ของอุปกรณ์รับสัญญาณในปัจจุบัน โดย A จะเป็นหมายเลข 0 - 8 โดยในแต่ละตัวเลขจะมีความหมายได้แก่ 0 = 9600 ; 1 = 19200 ; 2 = 38400 ; 3 = 57600 ; 4 = 115200 ; 5 = 4800 ; 6 = 2400 ; 7 = 1200 ; 8 = 230400
AT+DISI?	OK+DISCS OK+DIS[A:B:C:D:E] OK+DISCE	เป็นคำสั่งในการค้นหา และแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ Bluetooth ในบริเวณใกล้เคียง โดย A B C D และ E จะมีการแสดงผลได้แก่ A = Factory ID B = iBeacon UUID C = Major Number + Minor Number + TX Power D = MAC Address E = RSSI Value

คำสั่ง	การตอบกลับ	รายละเอียด
AT+NAME?	OK+Get[A]	เป็นคำสั่งแสดงชื่อของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดย A จะเป็นชื่อของอุปกรณ์
AT+UUID?	OK+Get:[A]	เป็นคำสั่งแสดง UUID ของอุปกรณ์ โดย A จะแสดงเป็น UUID ของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยจะแสดงผลในรูปแบบ Hexadecimal (0x0001 - 0xFFFF)
AT+HELP?	Help Information	เป็นคำสั่งเพื่อใช้กราฟฟิกส์สอบถามคำสั่ง AT Command ที่รองรับในแต่ละอุปกรณ์นั้น ๆ หรือสอบถามเกี่ยวกับรายละเอียดของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยข้อมูลในส่วนนี้ จะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โดยผู้ผลิตในแต่ละยี่ห้ออาจจะมีการใส่ข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน
AT+VERR?	V[X]	เป็นคำสั่งแสดง Version ของ Firmware โดย X จะแทนหมายเลขรุ่น Firmware ที่ใช้งานอยู่

โดยในการทดสอบนี้ผู้จัดทำจะทำการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module ตามรายละเอียดในข้อที่ 3.5.3 และตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์เขื่อมต่อถูกต้องและอุปกรณ์สามารถค้นหาสัญญาณ Bluetooth ในบริเวณใกล้เคียงได้หรือไม่ หากอุปกรณ์มีการตอบสนองจากคำสั่งทั้งสองดังกล่าวจะหมายความว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้จากการใช้คำสั่ง “AT” และ “AT+DISC?” ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.20 ในการใช้คำสั่ง “AT” หากมีการตอบกลับเป็น “OK” จะหมายความว่าอุปกรณ์รับสัญญาณสามารถส่งผลลัพธ์กลับมาบ้าง ไม่ต้องเป็นโตรค่อน โทรลเดอร์ ได้หรือในการใช้คำสั่ง “AT+DISC?” หากอุปกรณ์รับสัญญาณมีการตอบกลับเป็นค่า MAC Address ชื่ออุปกรณ์ และค่า RSSI ในขณะนั้นดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.21 จะหมายความว่าอุปกรณ์นี้สามารถค้นหาสัญญาณ Bluetooth ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้

● COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง “AT” และแสดงข้อความ “OK” ในหน้า Serial Monitor

COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

AT+DISC?

```
AT Command >
OK+DISCS
OK+DIS1:D1FFF725CC70OK+RSSI:-089
OK+NAME:Mi Band 3
OK+DIS1:EF709C702795OK+RSSI:-050
OK+NAME:DuDu
OK+DISCE
```

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง “AT+DISC?” และแสดงข้อมูลของสัญญาณ Bluetooth บริเวณโกลเดน Serial

Monitor

3.5.3. การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module

ในการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อค้นหาสัญญาณ Bluetooth ในบริเวณโกลเดนให้สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องนั้นจะมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อกำหนด MODE และ ROLE การทำงานของอุปกรณ์เพื่อให้อุปกรณ์สามารถค้นหาสัญญาณและส่งผลการค้นหาสัญญาณที่ได้มาแสดงผลในหน้า Serial Monitor ได้ครบถ้วนและถูกต้องโดยการตั้งค่าอุปกรณ์จะมีการใช้คำสั่ง AT Command ในการตั้งค่าตามลำดับดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คำสั่ง AT Command ที่ใช้ในการตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ

ลำดับที่	คำสั่ง	การตอบกลับ	รายละเอียด
1	AT+BAUD4	OK+SET:0	ตั้งค่า Baud Rate ของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยตั้งค่าให้ทำงานที่ Baud Rate 9600 bps.
2	AT+ROLE1	OK+SET:1	ตั้งค่า Role การทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยตั้ง Role ให้เป็น 1 ซึ่งเป็นการตั้งให้อุปกรณ์รับสัญญาณทำงานในรูปแบบ Central Role
3	AT+IMME1	OK+SET:1	ตั้งค่า Peripheral role ของอุปกรณ์ โดยเป็นการตั้งค่าให้อุปกรณ์สามารถค้นหาสัญญาณ Bluetooth จากการใช้คำสั่ง AT Command

3.6 การรับและจำแนกข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless

Module

ในส่วนของการรับข้อมูลจากอุปกรณ์รับสัญญาตนี้จะเริ่มจากการเขียนโปรแกรมให้ในโครคอนโทรลเลอร์ส่งคำสั่งไปที่อุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อให้อุปกรณ์รับสัญญาณทำการค้นหาอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่อยู่ในระยะและส่งผลลัพธ์จากการค้นหากลับมาที่โครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบหากเป็นชุดข้อมูลที่ต้องการจึงจะนำข้อมูลดังกล่าวมาจำแนกเป็นชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการระบุอุปกรณ์และคำนวณระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ พร้อมทั้งนำระยะห่างที่ได้มาเข้าด้วยกรองแบบคามาลัน (Kalman Filter) เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาพิกัดต่อไป โดยจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.6.1. การรับข้อมูลจากอุปกรณ์รับสัญญาณ

การรับข้อมูลจากอุปกรณ์รับสัญญาณ จะใช้วิธีการส่งชุดคำสั่งไปที่อุปกรณ์เพื่อให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลที่เราต้องการกลับมาโดยใช้คำสั่ง “AT+DISI?” [17] โดยชุดข้อมูลที่ได้รับจะเป็นข้อมูลตัวอักษรที่อยู่ในรูปแบบดังตารางที่ 3.2 ข้างต้น โดยจะมีการเขียนโปรแกรมเพื่อวนรอบรับข้อมูลดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.22

```

void loop()
{
    if (millis() - timestamp > 5000) // ໃນເພື່ອນັບເວລາ 5 ວັນທີໂດຍໃຫ້ຝຶກໜັນ millis ຂອງ arduino
    {
        for(int del=0;del<=i;del++) // ວິນຮອນເພື່ອລັງຂໍ້ມູນລາຍໄນ dataInarray
        {
            dataInarray[del] = (char)0; // ລັງຂໍ້ມູນທີ່ອຸ່ນໃນ dataInarray
        }
        i = 0;
        BTSerial.write("AT+DISI?"); // ສົ່ງຄໍາສັ່ງ AT+DISI? ໄປທີ່ໂນດຸລ HM-10 ເພື່ອສັ່ງໃຫ້ການແສກນຄ່າ
        timestamp = millis();
    }
    if(BTSerial.available()) // ເຈືອນໄຟ ເພື່ອຕຽບສອບວ່າອຸປະກອດຮັນສັນຍາມທ່ານອູ່
    {
        while(BTSerial.available() > 0) // ໃຫ້ວັນເກັນຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຈາກ HM-10 ເພື່ອອຸປະກອດມີສຳຄະນະທ່ານອູ່
        {
            char received = BTSerial.read(); // ໃຫ້ຕັ້ງແປຣ received ມາເປັນທີ່ພັກຂໍ້ມູນກອນຈະນາໄປເກັນໃນ dataInarray
            dataInarray[i] = received; // ນຳຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ມາເກັນໃນ dataInarray
            // ເພີ້ງວ່າຄ່າໃນ 3 ຕາແໜ່ງສຸດທ້າຍຂອງ Array ວ່າມີຄ່າທ່າກັນ SCE ໃຫ້ເຂົ້າເງື່ອນໄຟ
            if(dataInarray[i]=='E'&&dataInarray[i-1]=='C'&&dataInarray[i-2]=='S')
            {
            }
            i++; // ນາກຄ່າເພີ້ມເພື່ອປຶ້ມຕົວແໜ່ງ Array ຂອງ dataInarray
        }
    }
}

```

ຮູບທີ 3.22 ການເຂົ້າເວັບໂປຣແກຣມເພື່ອວິນຮອນການຮັບຄ່າຈາກອຸປະກອດຮັນສັນຍາມ

3.6.2. ການຈຳແນກຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຈາກອຸປະກອດຮັນສັນຍາມ

ເນື່ອງຈາກຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຮັບກັບມານັ້ນຈະເປັນຂໍ້ມູນທີ່ແສດງພລັພັບທີ່ໜັກໃນຮູບແບບນຽບທັດເດີຍວາ ຈຶ່ງຈຳເປັນຕົ້ນມີການຈຳແນກຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຮັບມາຈາກອຸປະກອດຮັນສັນຍາມ ໂດຍການຈຳແນກຂໍ້ມູນ ຈະຕົ້ນ ຄຳນຶງຄື່ງຮູບແບບຂອງຂໍ້ມູນທີ່ໄດ້ຮັບ ໂດຍຈະໃຊ້ວິທີຕຽບສອບຄໍາເຂົ້າຕົ້ນແລະຄໍາປົດທ້າຍຂອງໜຸດຂໍ້ມູນແລ້ວຫາ ຕຳແໜ່ງຂອງຄໍາແຫລ່ານັ້ນແລະນຳມາຄຳນວນຫາຈຳນວນຂອງສັນຍາມທີ່ອຸປະກອດຮັນສັນຍາມຫາເຈືອ ດັ່ງ ຮາຍລະເອີ້ດໃນຮູບກາພທີ 3.23

```

lastposition = dataInString.lastIndexOf('E'); // ເພີ້ງຈາກຫັກສຸດທ້າຍ ມາເຈືອ E ໃຫ້ສົ່ງຕົວແໜ່ງນາເກັນໃນ lastposition
lastposition = lastposition - 7; // ອັບເດທດຄ່າ lastposition ໃຫ້ນອຍລັງ 7 ເພື່ອໄຫ້ຕຽບກັນຫັກສຸດທ້າຍຂອງຂໍ້ມູນທີ່ຕົ້ນການ
startposition = dataInString.indexOf('O'); // ເພີ້ງຈາກຫັກສັກແກຣກ ມາເຈືອ O ໃຫ້ສົ່ງຕົວແໜ່ງນາເກັນໃນ startposition
startposition = startposition + 8; // ອັບເດທດຄ່າ startposition ໃຫ້ນາກເຂົ້າ 8 ເພື່ອໄຫ້ຕຽບກັນຫັກສັກແກຣກຂອງຂໍ້ມູນທີ່ຕົ້ນການ
numberofpacket = (lastposition-startposition)/78; /* ດຳນາຄ່າຂອງຫັກສຸດທ້າຍລົບກັບຫັກສັກແກຣກ ແລະຫາວ່າຈຳນວນຂອງອຸປະກອດທີ່ແສກນເຈືອ
ໂດຍນາຄ່າຂອງຫັກສຸດທ້າຍລົບກັບຫັກສັກແກຣກ ແລະຫາວ່າຈຳນວນຂອງຍາວ່າຕ້ອງຫຼັກຂໍ້ມູນ */

```

ຮູບທີ 3.23 ຕັ້ງຢ່າງໂປຣແກຣມເພື່ອຄຳນວນຫາຈຳນວນອຸປະກອດຮັນສັນຍາມທີ່ກັນຫາເຈືອ

ການກັນຫາສັນຍາມນັ້ນ ຈະວິນຮອນດາມຈຳນວນອຸປະກອດທີ່ເຈືອເພື່ອຕຽບສອບຂໍ້ມູນທີ່ຮັບມາໄດ້ວ່າຕຽບກັນ ອຸປະກອດທີ່ຕົ້ນການຫຼັກສຸດທ້າຍ ໂດຍຈະຕຽບສອບຈາກໝາຍເລຂ່າ MAC Address ຂອງແຕ່ລະອຸປະກອດພຣັອມທີ່ຈັດເກັນ ຂໍ້ມູນທີ່ຈຳເປັນໄວ້ດັ່ງຮາຍລະເອີ້ດໃນຮູບກາພທີ 3.24

```

for(i=0;i<numberofpacket;i++) // วนรอบตามจำนวนของอุปกรณ์ที่ส่งกันเจอ
{
    packetDevice[i] = dataInString.substring(startposition,startposition+78); // นำข้อมูลเก็บแยกของแต่ละอุปกรณ์
    countstart =0;
    for(j=0;j<5;j++) // วนรอบเพื่อเก็บชุดข้อมูลต่างๆที่อยู่ในตัวแปรที่เก็บของบล็อกของแต่ละอุปกรณ์
    {
        // หากตำแหน่งของ : ซึ่งเป็นเครื่องหมายที่ใช้คั่นระหว่างข้อมูลต่างๆ โดยหาจุดเริ่มต้นและเก็บไว้ใน countstart
        countstart = packetDevice[i].indexOf(':',countstart);
        // หากตำแหน่งของจุดสิ้นสุดของบล็อกที่ต้องการโดยเก็บไว้ที่ countlast
        countlast = packetDevice[i].indexOf(':',countstart+1);
        // เก็บชุดข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ โดยแยกเก็บตามข้อมูลที่ถูกคั่นด้วย :
        subPacketDevice[v][j] = packetDevice[i].substring(countstart+1,countlast);
        countstart = countlast; // อัพเดทให้ค่าเริ่มต้นเป็นค่าสุดท้าย เพื่อใช้เริ่มต้นชุดข้อมูลในตัวแหน่งถัดไป
        // วนรอบเพื่อเข้าด้วย MAC Address ของอุปกรณ์ที่ต้องการและเก็บค่า major number, minor number และ measured Power
        for(k=0;k<3;k++)
        {
            if(subPacketDevice[v][3]==ref[k]) //ถ้าหากค่า MAC Address ตรงกับค่าที่กำหนดไว้ให้เข้าเงื่อนไข
            {
                major[v] = subPacketDevice[v][2].substring(0,4); // เก็บค่า major number
                minor[v] = subPacketDevice[v][2].substring(4,8); // เก็บค่า minor number
                measuredPowerInString[v] = subPacketDevice[v][2].substring(8,10); // เก็บค่า measured Power

                v++; // เลื่อนตัวแหน่ง Array ของตัวแปร ที่ต้องการเก็บข้อมูล
            }
        }
    }
    startposition = startposition + 78; // อัพเดทให้ค่าเริ่มต้นเป็นค่าสุดท้าย เพื่อใช้เริ่มต้นข้อมูลของอุปกรณ์ในตัวแหน่งถัดไป
}
numberofpacket = v; // อัพเดทจำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องการที่ผ่านการตรวจสอบ MAC Address

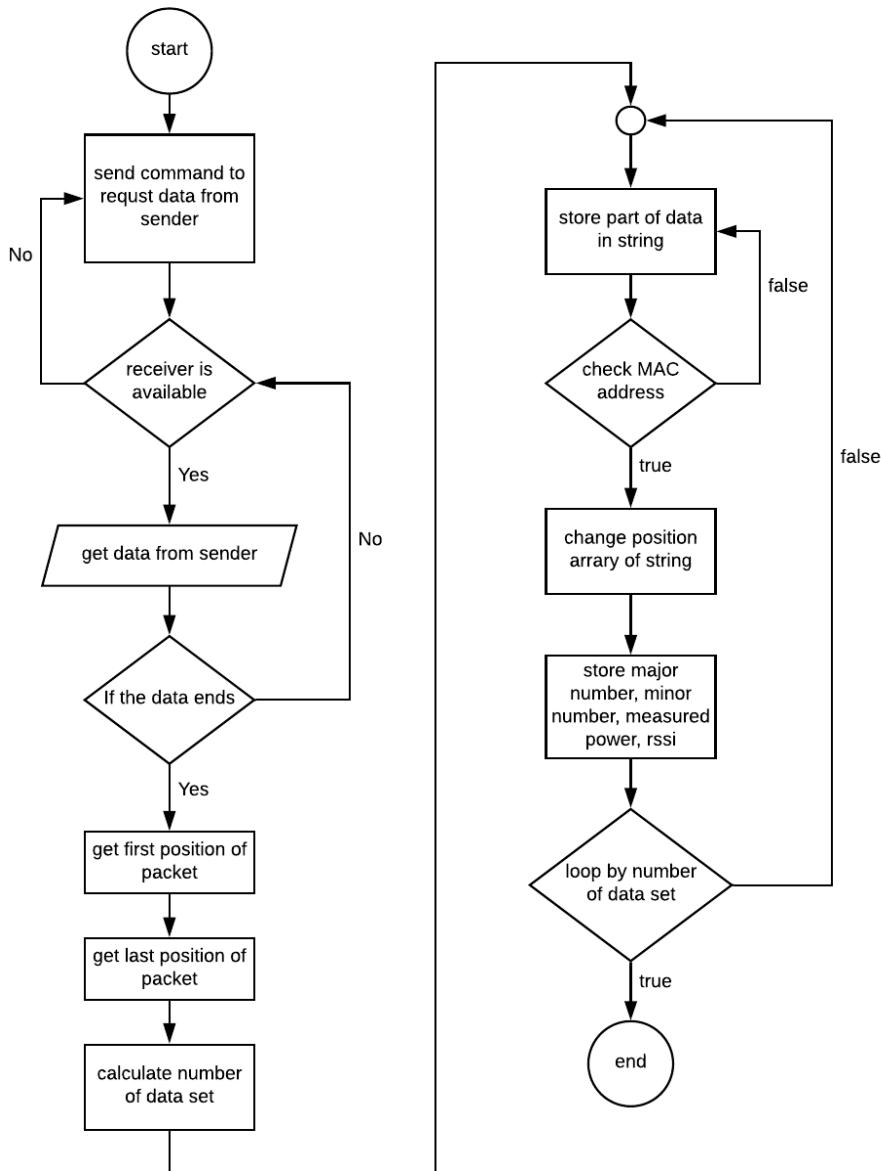
```

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างโปรแกรมเพื่อตรวจสอบและจำแนกข้อมูล

โดยหลักการตรวจสอบและจำแนกข้อมูลจากตัวอย่างโปรแกรมข้างต้นนี้จะใช้หลักการของการวนรอบจำนวน Array ในการรับข้อมูลในช่วงแรก หลังจากนั้นจะตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับมา นั้นสิ้นสุดการส่งแล้วก็จะนำข้อมูลที่ได้ทิ้งหมดมาใส่ในตัวแปรที่อยู่ในรูปแบบ String และ คำนวณหาขนาดของข้อมูลที่รับมาได้เพื่อนำไปใช้ในการจำแนกข้อมูลจากรูปแบบของชุดข้อมูลนั้น โดยทั้งหมดจะมีการเก็บข้อมูลที่ต้องการลงในตัวแปรโดยข้อมูลที่เลือกเก็บได้แก่

1. ค่า Major Number ของในแต่ละอุปกรณ์
2. ค่า Minor Number ของในแต่ละอุปกรณ์
3. ค่า Measured Power (TX Power) ของในแต่ละอุปกรณ์
4. ค่า RSSI ที่ได้รับ

โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อรับบุกอุปกรณ์ที่อ่านได้พร้อมทั้งคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณพิกัดตำแหน่งต่อไป โดยโปรแกรมดังกล่าวสามารถเขียนเป็น Flowchart เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปภาพที่ 3.25



รูปที่ 3.25 Flowchart เพื่อแสดงขั้นตอนการรับและจำแนกข้อมูล

3.6.3. การคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์

ในการคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์ จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงหลักการและสมการที่ใช้มาคำนวณระยะห่าง เช่น ค่าความแรงของสัญญาณที่สูญเสีย ไประหว่างการเดินทางในอากาศโดยค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์คือค่า RSSI และค่าของ Measured Power ที่ได้รับจากการค้นหาสัญญาณเมื่อเราสามารถจำแนกแต่ละข้อมูลได้แล้ว จะต้องทำการแปลงค่าชนิดของข้อมูลให้กลับมาเป็นค่าตัวเลขดังต่อไปนี้ โปรแกรมในรูปภาพที่ 3.26 และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาระยะห่างจากสมการที่ 3.1

$$distance = 10^{\left(\frac{measured\ power - RSSI}{10n}\right)} \quad (3.1)$$

โดยวิธีการในการคำนวณหาค่าระยะห่างดังกล่าว จะนำค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ละจุดมาเทียบกับค่า RSSI ที่ได้ทำการ Calibrate ในระยะ 1 เมตร และนำมาหาระยะห่างจริงที่วัดได้โดยนำผลลัพธ์ที่วัดได้ในแต่ละจุดมาคำนวณในสมการที่ 3.1 เมื่อคำนวณหาระยะห่างที่วัดได้แล้วจะนำผลลัพธ์ที่วัดได้จำนวน 10 ครั้งมาคำนวณหาค่ามัธยฐาน (Median) เพื่อทำการเฉลี่ยผลลัพธ์ที่ได้และนำมาเทียบกับระยะห่างจริงระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณและอุปกรณ์ส่งสัญญาณในแต่ละตัว เพื่อหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดที่ได้ต่อไป

นอกเหนือจากการนำสมการที่ 3.1 มาใช้ในการคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์ในแต่ละตัวแล้ว ผู้จัดทำยังนำสมการดังกล่าวมาใช้คำนวณหาค่าสภาพแวดล้อมของพื้นที่หรือค่า Environment Variable (n) อีกด้วย โดยการคำนวณจะใช้ค่าระยะห่างของอุปกรณ์รับสัญญาณกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณในแต่ละจุดวัดมาใช้ในการคำนวณค่าดังกล่าวซึ่งในแต่ละจุดการทดสอบการรับสัญญาณกับการวัดในแต่ละรูปแบบนี้เมื่อนำมาคำนวณแล้วจะให้ค่า Environment ที่แตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบ ซึ่งในการใช้ค่า Environment นี้ผู้จัดทำจะนำค่า Environment ที่วัดได้ในแต่ละจุดและในแต่ละรูปแบบมาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ในแต่ละรูปแบบจะมีค่า Environment เพียงค่าเดียวของในแต่ละรูปแบบ เพื่อใช้ให้เป็นค่ากลางในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณทั้งหมดเพื่อนำผลลัพธ์ของระยะห่างที่ได้ไปคำนวณเป็นค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป

```
// แปลงค่า measuredPower ให้อยู่ในรูปแบบของจำนวนเต็ม
measuredPowerInninteger[i] = measuredPowerInString[i].toInt();
// แปลงค่า rssi ให้อยู่ในรูปแบบของจำนวนเต็ม
distance[i] = subPacketDevice[i][4].toInt();
// คำนวนค่าระยะห่างของอุปกรณ์
distance[i] = 10 ^ ((measuredPowerInninteger[i]-distance[i]) / 10*n);
```

รูปที่ 3.26 ตัวอย่างโปรแกรมเพื่อแปลงค่าชนิดตัวแปร และคำนวณหาระยะห่าง

โดยผลลัพธ์จากโปรแกรมจำแนกชุดข้อมูลในหัวข้อที่ 3.6.2 และผลลัพธ์จากโปรแกรมคำนวณระยะห่างจะแสดงได้ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.27

```

COM5 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

number of device : 1

packet of device[0] : OK+DISC:00000000:00000000000000000000000000000000:0000000000:107BF72DFA34:-063
distance[0] : 3
major number[0] : 0457
minor number[0] : 08AE
measured power[0] : 10
subPacketDevice[0][0] : 4C000215
subPacketDevice[0][1] : FDA50693A4E24FB1AFCFC6EB07647825
subPacketDevice[0][2] : 045708AE10
subPacketDevice[0][3] : EFT09C702795
subPacketDevice[0][4] : -088

Autoscroll  Show timestamp  Newline  9600 baud  Clear output

```

รูปที่ 3.27 ผลลัพธ์จากโปรแกรมจำแนกชุดข้อมูล

จากรูปภาพที่ 3.27 รายละเอียดของข้อมูลที่แสดงออกมาจะประกอบไปด้วย

- จำนวนของอุปกรณ์ที่ค้นหาเจอที่มีเลข MAC Address ตรงกับที่กำหนดไว้
- ข้อมูลทั้งหมดที่อุปกรณ์รับสัญญาณนั้นที่อ่านได้
- ระยะห่างระหว่างสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ
- ค่า Major Number
- ค่า Minor Number
- ค่า Measured Power (TX Power)
- หมายเลขผู้ผลิต (Factory ID)
- UUID ของอุปกรณ์ที่พบ
- ค่า Major Number, Minor Number และค่า Measured Power (TX Power)
- MAC Address ของอุปกรณ์ที่พบ
- ค่า RSSI ของสัญญาณจากอุปกรณ์ที่พบ

3.6.4. การใช้ตัวกรองแบบคามาโนในการกรองข้อมูล

การใช้ตัวกรองข้อมูลแบบคามาโนในโครงการนี้ผู้จัดทำได้นำฟังก์ชันจากไลบรารี “kalman.h” [15] โดยจะใส่ค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการคำนวณ โดยจะต้องใส่ค่าทั้งหมดดังต่อไปนี้

1. Process Noise Covariance
2. Measurement Noise Covariance
3. Estimation Error Covariance

โดยรายละเอียดของค่าต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานและตั้งค่า จะเป็นดังรายละเอียดที่แสดงอยู่ในหัวข้อที่ 2.8 ในบทที่ 2 ซึ่งในส่วนของตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมจะแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่

- ส่วนการกำหนดค่าเริ่มต้นโดยการใช้ฟังก์ชันตัวรองแบบคามาณจะต้องมีการกำหนดตัวแปรและค่าเริ่มต้นในการทำงานดังรายละเอียดที่แสดงในรูปภาพที่ 3.28

```
// ตัวแปรที่นำมาเก็บค่าที่ใช้ในฟังก์ชัน Kalman Filter
double x,measurement, filteredMeasurement;
Kalman myFilter(q,r,p,0); // กำหนดค่าเริ่มต้นของฟังก์ชัน Kalman Filter โดยประกอบไปด้วย
// q = Process Noise Covariance
// r = Measurement Noise Covariance
// p = Estimation Error Covariance
```

รูปที่ 3.28 ตัวอย่างโปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการกรองข้อมูล

- ส่วนการกรองข้อมูล เมื่อได้ข้อมูลของระยะทางแล้วจะนำผลลัพธ์ที่ได้มานำเข้าฟังก์ชันในการกรองข้อมูลดังรายละเอียดที่แสดงในรูปภาพที่ 3.29

```
// นำค่าระยะห่างที่ต้องการใส่ฟังก์ชันเพื่อกรองข้อมูล
measurement = distance ;
filteredMeasurement = myFilter.getFilteredValue(measurement);
```

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างโปรแกรมการเรียกใช้ฟังก์ชันการกรองข้อมูลแบบคามาณ

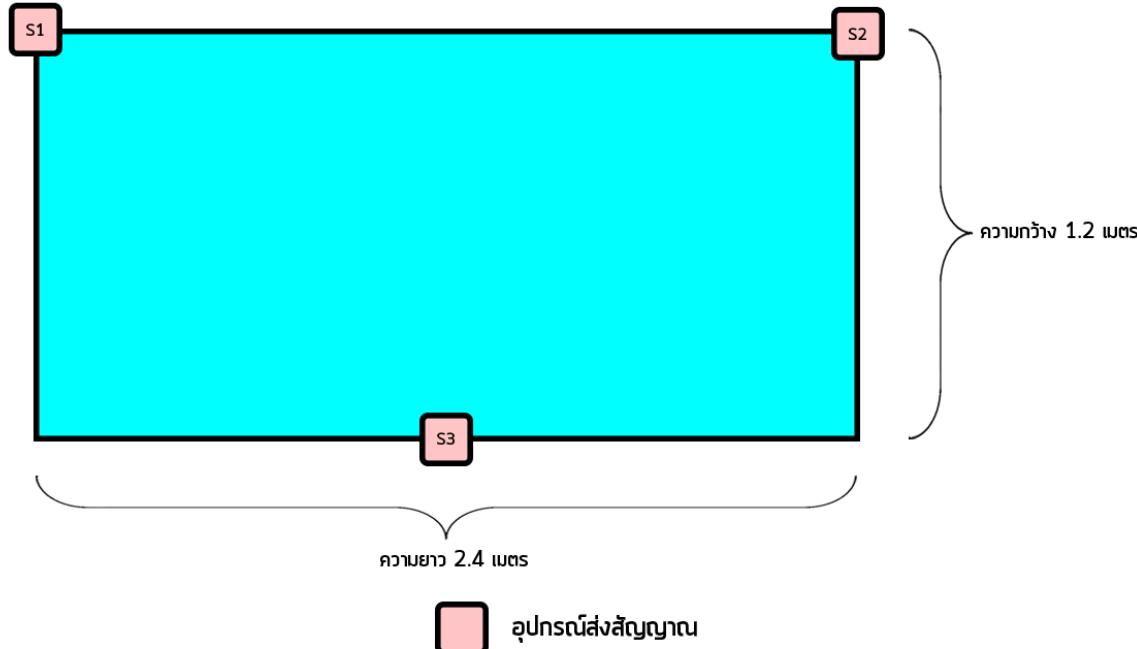
3.7. การทดสอบการรับสัญญาณและความแม่นยำ

เพื่อให้การคำนวณหาระยะทางและพิกัด ของอุปกรณ์รับสัญญาณนั้นสามารถระบุได้อย่างถูกต้อง จะต้องมีการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณและความแม่นยำของอุปกรณ์เพื่อนำผลลัพธ์ ดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบและแก้ไขการทำงานของโปรแกรมเพื่อคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ โดยในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ออกแบบวิธีการทดสอบโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.7.1. ขนาดพื้นที่ในการทดสอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

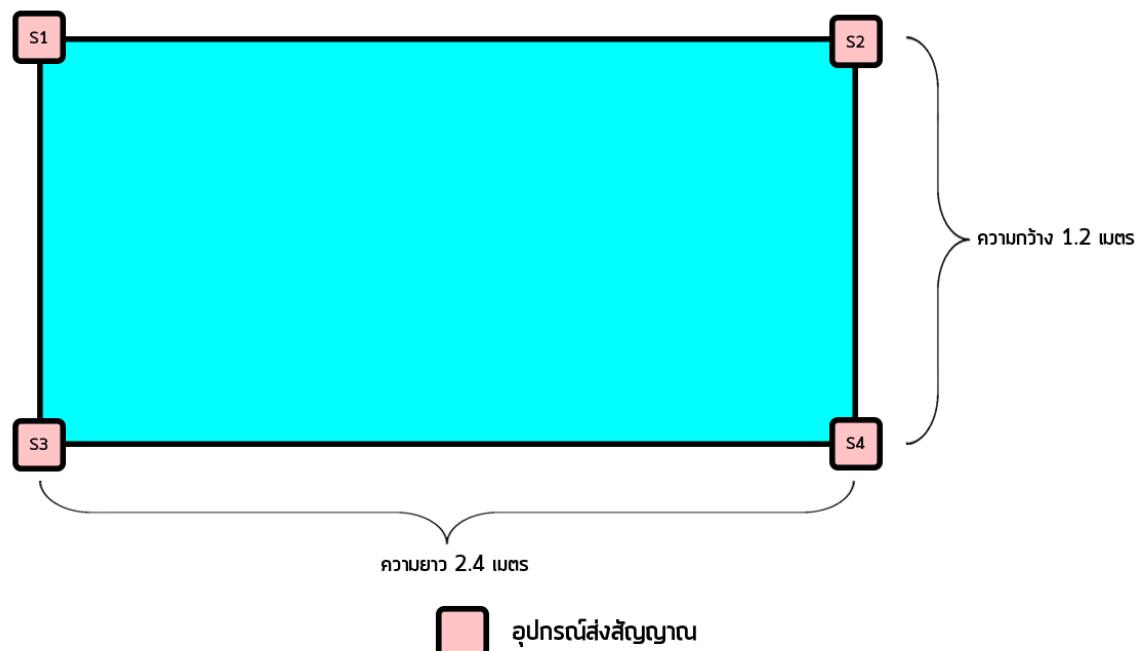
ผู้จัดทำจะทำการทดสอบในพื้นที่ 1.2×2.4 เมตร โดยการทดสอบจะทำการการติดตั้ง อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (ReYeBu NRF51822) 4 รูปแบบ ได้แก่

3.7.1.1. ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 3 ตัว จะเป็นการติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 3 ตัวติดตั้งที่ด้านขวาของพื้นที่ทั้ง 2 ด้าน โดยด้านหนึ่งจะติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ 2 ตัวบริเวณมุม ของพื้นที่ และในอีกด้านหนึ่งติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ 1 ตัวโดยจะติดตั้งบริเวณจุดกึ่งกลางของด้านและแทนสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเป็น S1, S2 และ S3 ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.30



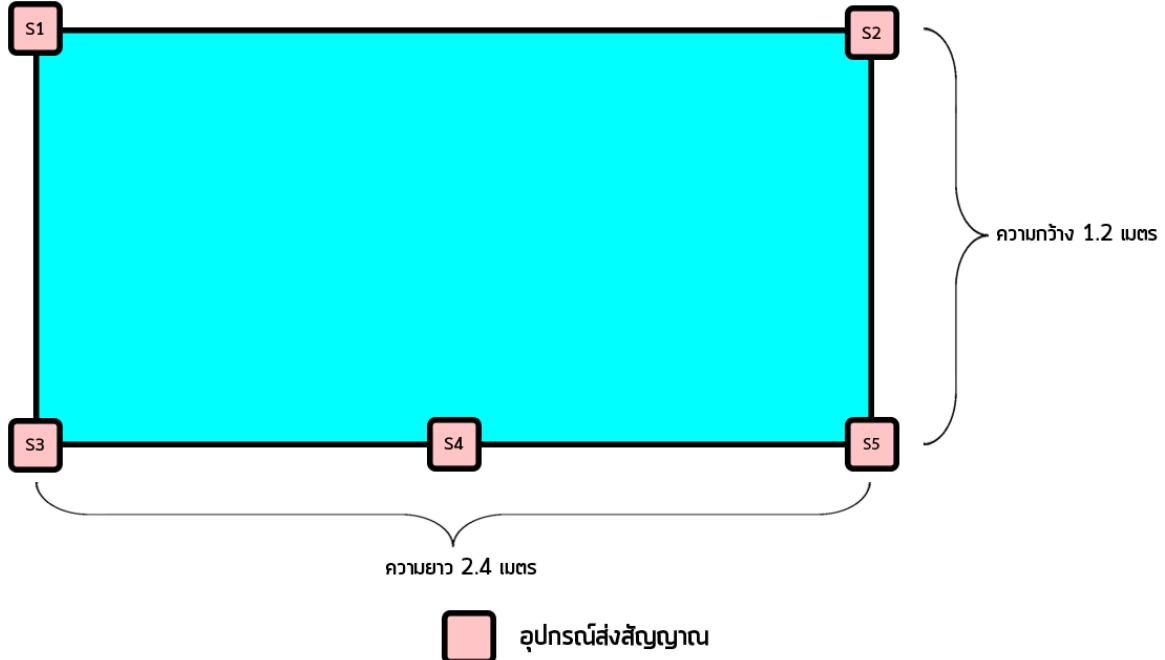
รูปที่ 3.30 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 3 ตัว

3.7.1.2. ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 4 ตัว จะเป็นการติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 4 ตัว ติดตั้งบริเวณมุมของพื้นที่ทั้ง 4 ด้าน โดยแทนสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเป็น S1, S2, S3 และ S4 ดังตัวอย่างรูปภาพที่ 3.31



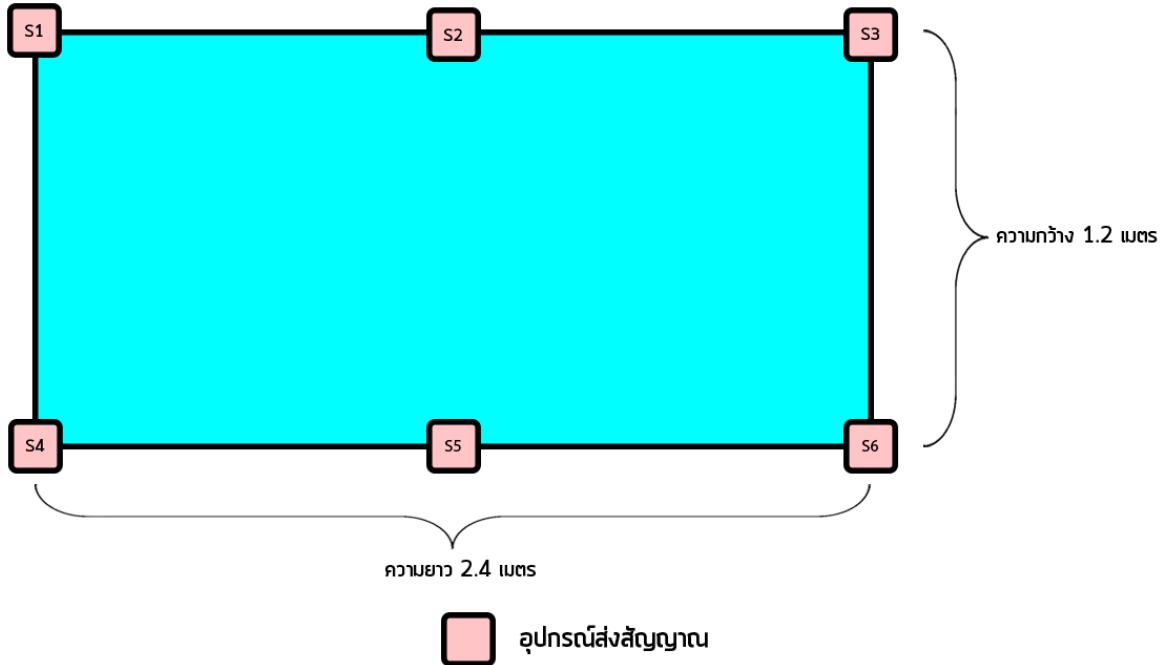
รูปที่ 3.31 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 4 ตัว

3.7.1.3. ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 5 ตัว จะเป็นการติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 5 ตัว ติดตั้งที่ด้านขวาของพื้นที่ห้อง 2 ด้าน โดยด้านหนึ่งจะติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ 2 ตัวบริเวณมุม ของพื้นที่ และในอีกด้านหนึ่งติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ 3 ตัวโดยจะติดตั้งบริเวณจุดกึ่งกลางของ ด้าน 1 ตัว และติดตั้งบริเวณมุมของด้าน 2 ตัวโดยแทนสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเป็น S1, S2, S3, S4 และ S5 ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.32



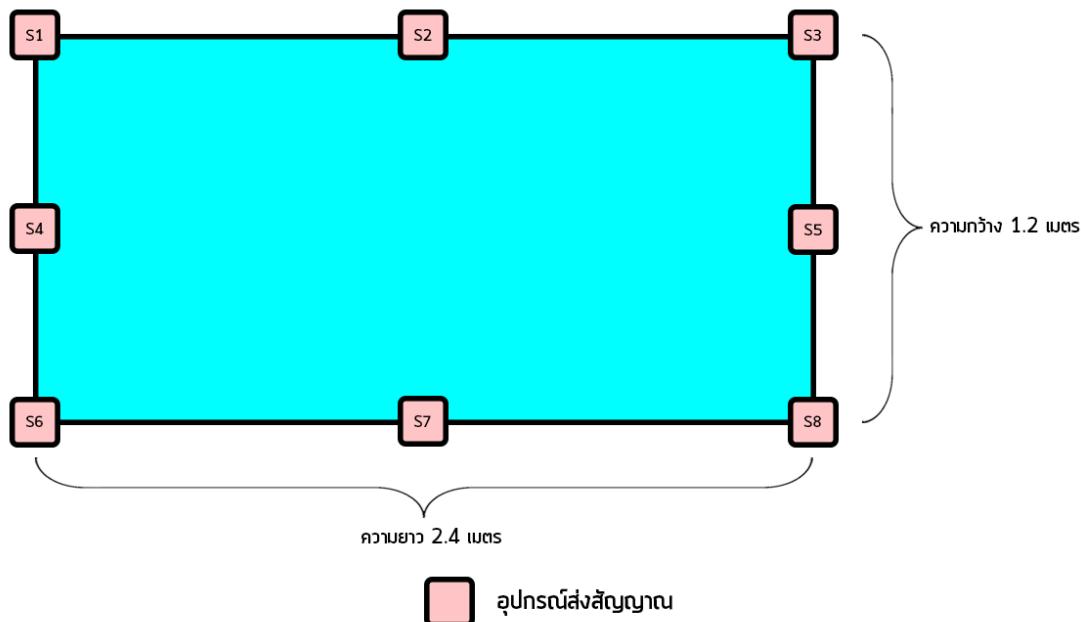
รูปที่ 3.32 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 5 ตัว

3.7.1.4. ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 6 ตัว จะเป็นการติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 6 ตัว ติดตั้งที่ด้านขวาของพื้นที่ห้อง 2 ด้าน โดยห้อง 2 ด้านจะติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัวโดย จะติดตั้งบริเวณมุมของด้าน 2 ตัว และติดตั้งบริเวณจุดกึ่งกลางของด้าน 1 ตัวโดยแทนสัญลักษณ์ของ อุปกรณ์ส่งสัญญาณเป็น S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 ตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 6 ตัว

3.7.1.5. ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 8 ตัว จะเป็นการติดตั้งโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 8 ตัว ติดตั้งในบริเวณขอบสนามทั้ง 4 ด้าน โดยในด้านยาวทั้ง 2 ด้านจะติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ จำนวน 3 ตัวโดยจะติดตั้งบริเวณมุมของด้าน 2 ตัว ติดตั้งบริเวณจุดกึ่งกลางของด้าน 1 ตัว และติดตั้ง ในบริเวณกึ่งกลางของด้านกว้างทั้ง 2 ด้าน จำนวน 1 ตัว โดยแทนสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ เป็น S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 และ S8 ตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 8 ตัว

3.7.2. ระยะห่างและจุดที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้จัดทำจะทำการทดสอบในบริเวณพื้นที่โดยจะแบ่งออกเป็น 5 จุด ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.35 ได้แก่

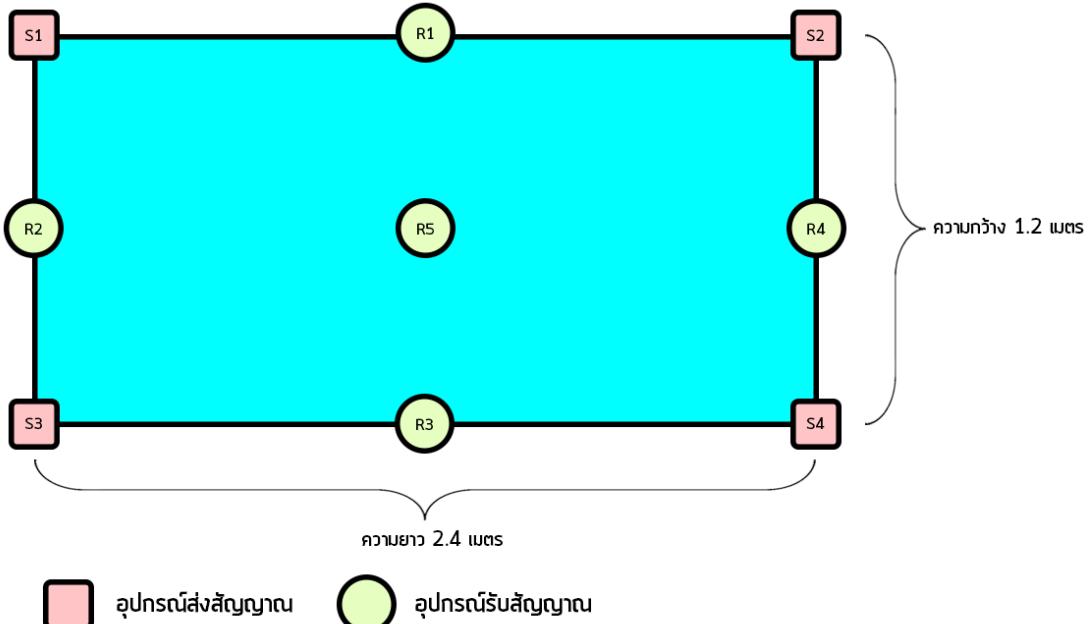
- จุด **R1** ซึ่งจะอยู่จุดกึ่งกลางระหว่าง S1 และ S2 โดยระยะห่างระหว่าง S1 กับ R1 และระหว่าง S2 กับ R1 จะมีระยะห่างประมาณ 1.2 เมตร และระหว่าง S3 กับ R1 และ S4 กับ R1 จะมีระยะห่างประมาณ 1.697 เมตรตามหลักทฤษฎีพิทาゴรัส

- จุด **R2** ซึ่งจะอยู่จุดกึ่งกลางระหว่าง S1 และ S3 โดยระยะห่างระหว่าง S1 กับ R2 และระหว่าง S3 กับ R2 จะมีระยะห่างประมาณ 0.6 เมตร และระหว่าง S2 กับ R2 และ S4 กับ R2 จะมีระยะห่างประมาณ 2.494 เมตรตามหลักทฤษฎีพิทาゴรัส

- จุด **R3** ซึ่งจะอยู่จุดกึ่งกลางระหว่าง S3 และ S4 โดยระยะห่างระหว่าง S3 กับ R3 และระหว่าง S4 กับ R3 จะมีระยะห่างประมาณ 1.2 เมตร และระหว่าง S1 กับ R3 และ S2 กับ R3 จะมีระยะห่างประมาณ 1.697 เมตรตามหลักทฤษฎีพิทาゴรัส

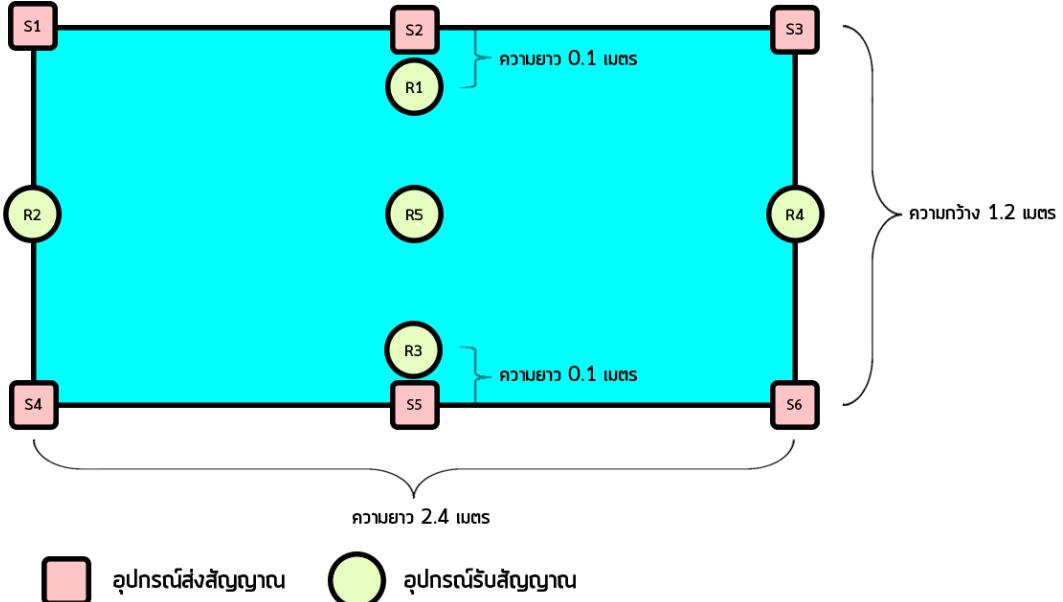
- จุด **R4** ซึ่งจะอยู่จุดกึ่งกลางระหว่าง S2 และ S4 โดยระยะห่างระหว่าง S2 กับ R4 และระหว่าง S4 กับ R4 จะมีระยะห่างประมาณ 0.6 เมตร และระหว่าง S1 กับ R4 และ S3 กับ R4 จะมีระยะห่างประมาณ 2.494 เมตรตามหลักทฤษฎีพิทาゴรัส

- จุด **R5** ซึ่งจะทดสอบในจุดกึ่งกลางของสนาม โดย R5 และทุกจุดของอุปกรณ์ลั่นสัญญาณจะมีระยะห่างระหว่างกันประมาณ 1.342 เมตร ตามหลักทฤษฎีพิทาゴรัส



รูปที่ 3.35 แผนผังวิธีการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์

ในกรณีที่อุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ได้แก่กรณีการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ 3 ชุด, 5 ชุด และ 6 ชุดจะทดสอบรับสัญญาณโดยให้ห่างจากอุปกรณ์รับสัญญาณเป็นระยะ 10 เมตรติดต่อครดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ตัวอย่างการทดสอบการรับสัญญาณ กรณีอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาโนยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

3.7.3. วิธีการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์รับสัญญาณ

ในการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์รับสัญญาณ จะทำการตั้งค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อ Calibrate ค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ในระยะ 1 เมตรเพื่อให้อุปกรณ์รับสัญญาณสามารถระบุระยะห่างในระยะ 1 เมตร ได้ถูกต้อง โดยค่า RSSI ในระยะ 1 เมตรของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์จะมีผลลัพธ์ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.4

หลังจากทำการตั้งค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพื่อ Calibrate ค่า RSSI แล้ว ผู้จัดทำจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

3.7.3.1 ทดสอบแบบปกติ จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณแบบปกติ โดยที่ยังไม่ได้ใช้ตัวกรองแบบคามานา โดยจะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งและบันทึกผลการทดสอบ

3.7.3.2 ทดสอบแบบใช้ตัวกรองแบบคามานา จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยใช้ตัวกรองแบบคามานา โดยจะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งและบันทึกผลการทดสอบ

โดยวิธีการทดสอบในข้อ 3.7.3 ในแต่ละครั้ง จะทำการทดสอบทั้งหมด 5 จุด ดังรายละเอียด ในข้อ 3.7.2 และทำการบันทึกผลในทุกครั้งเพื่อสังเกตผลลัพธ์ และเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 2 รูปแบบเพื่อเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดในการจัดทำโครงการนี้ต่อไป

ตารางที่ 3.4 ผลลัพธ์การตั้งค่า RSSI ในระยะ 1 เมตร ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

อุปกรณ์	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
RSSI (dB)	-56	-56	-55	-58	-59	-69	-63	-62

3.7.4. วิธีการทดสอบความแม่นยำของสัญญาณแบบมีวัสดุกีดขวาง

เนื่องจากในการทดสอบปกติ ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบโดยให้อุปกรณ์รับสัญญาณ สามารถรับสัญญาณได้แบบไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ ทำให้ผลลัพธ์ของการรับสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้ง่ายและให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงพบว่าจะมีปัญหาเรื่องของวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ภายในสนาม เช่น วัสดุตัวหุ่นของหุ่นยนต์ หรือวัสดุอื่น ๆ ที่อยู่ภายในบริเวณสนามซึ่งอาจส่งผลต่อการรับสัญญาณทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ด้วยปัญหาดังกล่าว才 ผู้จัดทำจึงได้ทำการทดสอบในกรณีสมมติเมื่อมีวัสดุกีดขวางอุปกรณ์รับสัญญาณ โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

3.7.4.1. ขนาดพื้นที่ในการทดสอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ผู้จัดทำจะทำการทดสอบในพื้นที่สนามจำลอง ขนาด 1.2×2.4 เมตร โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (ReYeBu NRF51822) จำนวน 6 ชุด โดยในด้านขวาของสนามจะติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว โดยติดตั้งที่มุมของสนามจำนวน 2 ตัว และติดตั้งที่จุดกึ่งกลางของด้านขวาของสนามจำนวน 1 ตัว โดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะติดตั้งสูงขึ้นจากพื้นสนาม เป็นระยะ 5 เซนติเมตร

3.7.4.2. ระยะห่างและจุดที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้จัดทำจะทำการทดสอบโดยจะใช้จุดที่รับสัญญาณ 1 จุด ซึ่งตั้งอยู่ในจุดกึ่งกลางของสนาม โดยอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S1, S3, S4, และ S6 จะมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณประมาณ 1.342 เมตรตามหลักทฤษฎีพิทาโกรัสและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S2 และ S5 จะมีระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณประมาณ 0.6 เมตร

3.7.4.3. ตำแหน่งของวัตถุที่นำมาเก็บข้างสัญญาณ

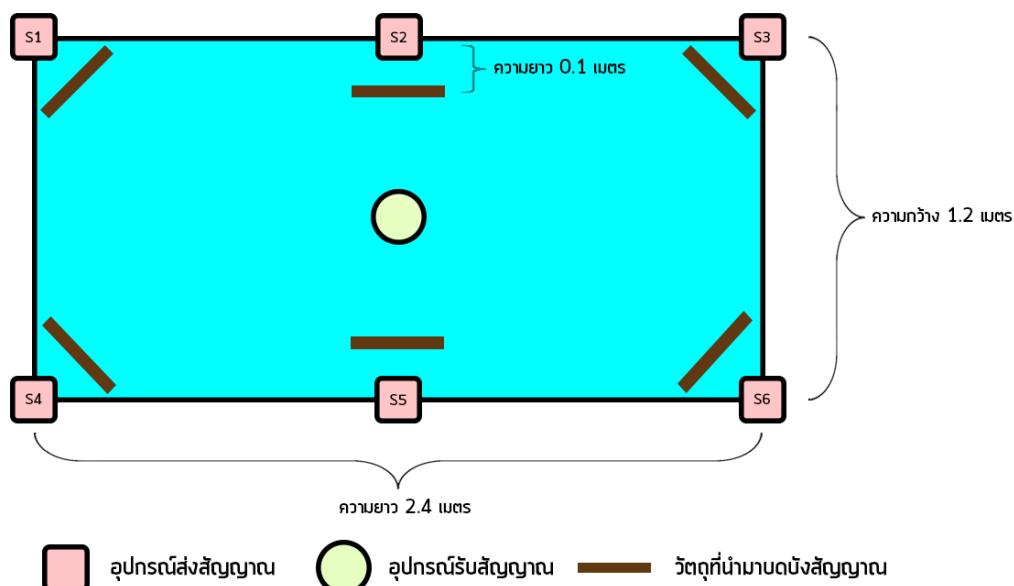
ผู้จัดทำได้นำวัสดุชนิดต่าง ๆ ดังที่ระบุไว้ข้างต้นติดตั้งไว้บริเวณสนามโดยจะมาติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของอุปกรณ์ส่งสัญญาณแต่ละตัวและหันด้านพื้นผิวของวัสดุเข้าหาจุดกึ่งกลางของสนาม ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างวัตถุที่นำมาบดบังและอุปกรณ์ส่งสัญญาณเท่ากับ 0.1 เมตรดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.37

3.7.4.4. ชนิด และขนาดของวัสดุที่ใช้เป็นสิ่งกีดขวาง

ในการทดสอบความแม่นยำของสัญญาณแบบมีวัสดุกีดขวางนี้ ผู้จัดทำได้เลือกใช้วัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นอะคริลิค และแผ่นอะลูминีียม เนื่องจากทั้ง 2 วัสดุนี้เป็นวัสดุพื้นฐานที่นิยมใช้ในการประกอบหุ่นยนต์โดยแผ่นอะคริลิคที่ใช้ในการทดสอบจะมีขนาด $10 \times 11.75 \times 0.1$ เซนติเมตร และแผ่นอะลูминีียม จะมีขนาด $10 \times 10 \times 0.05$ เซนติเมตร

3.7.4.5. วิธีการทดสอบการรับสัญญาณ

ในการทดสอบการรับสัญญาณกรณีที่มีวัสดุกีดขวางนั้น ผู้จัดทำจะทดสอบหาเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนในจุดที่ใช้รับสัญญาณ โดยจะทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งในจุดกึ่งกลางของสนามแล้วบันทึกผลการทดสอบ และนำค่าที่บันทึกได้มาเปรียบเทียบกับกรณีที่รับสัญญาณโดยไม่มีวัสดุกีดขวาง โดยจะนำค่าความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมกรองค่าสัญญาณต่อไป

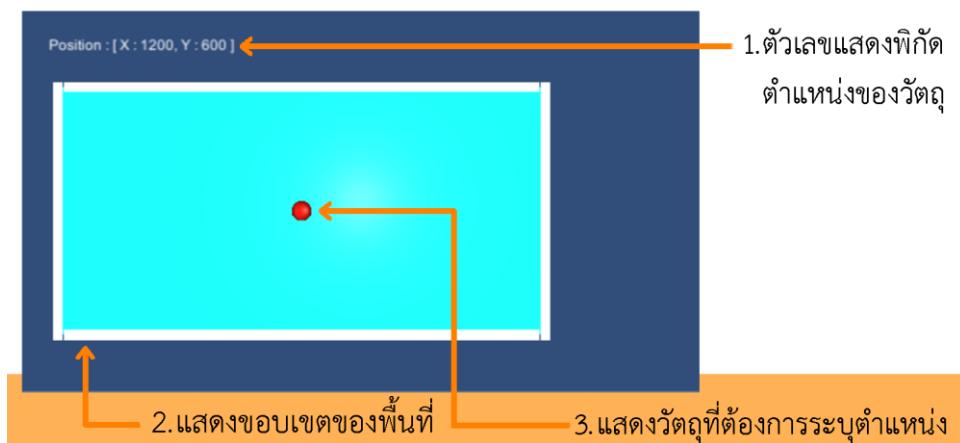


รูปที่ 3.37 แผนผังวิธีการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์ กรณีที่สัญญาณถูกรบกวนด้วยวัสดุกีดขวาง

3.8. การเขียนโปรแกรมการแสดงผล ด้วยโปรแกรม Unity

3.8.1. การออกแบบหน้าต่างของโปรแกรมการแสดงผล (User interface)

ในการออกแบบหน้าต่างการใช้งานในส่วนของโปรแกรมการแสดงผลนั้นจะเป็นการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Unity โดยการออกแบบจะเน้นให้แสดงผลให้เห็นถึงรูปแบบสัดส่วนของสนามที่ใช้ในการทดสอบขนาด 1.2×2.4 เมตร และแสดงเลขกำกัծพิกัดของตำแหน่งที่คำนวณได้ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.38 เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณตำแหน่งจริงที่สามารถระบุได้



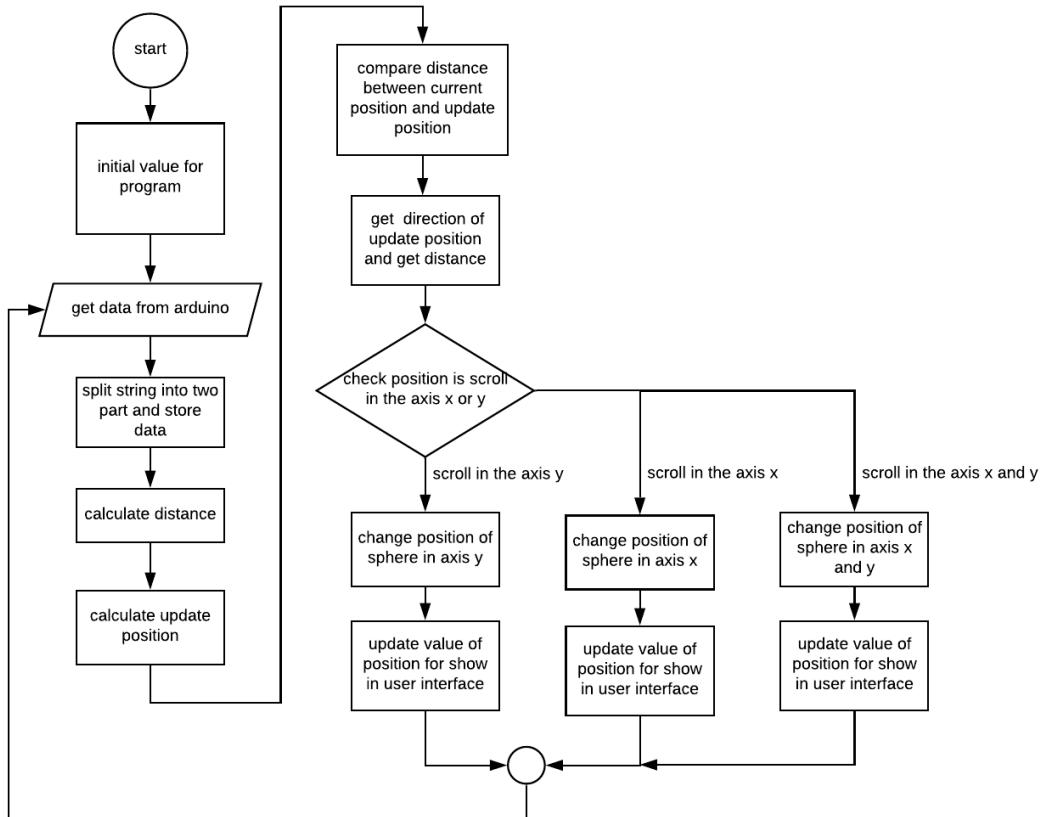
รูปที่ 3.38 รูปแบบของหน้าต่างโปรแกรมแสดงผล ด้วยโปรแกรม Unity

โดยในเบื้องต้นนี้การออกแบบหน้าจอแสดงผลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญได้แก่

- ส่วนที่แสดงตัวเลขพิกัดตำแหน่งของวัตถุ โดยในส่วนนี้จะแสดงข้อมูลอุปกรณ์ในรูปแบบพิกัดในแกน X และแกน Y โดยกำหนดให้จุดมุ่งชี้ย่างของสนามเป็นพิกัด (0,0) และมุมขวาบนเป็นพิกัด (2400,1200) ซึ่งจะเป็นตัวเลขที่อยู่ในหน่วยมิลลิเมตร
- ส่วนที่แสดงขอบเขตของพื้นที่ ในส่วนนี้จะเป็นกรอบที่ล้อมสนามจำลองไว้เพื่อกำหนดขอบเขตของสนามให้เป็นไปตามสัดส่วนที่กำหนดค่านั้นคือ 1.2×2.4 เมตร โดยรูปทรงกลมที่แสดงถึงวัตถุนั้น จะไม่สามารถเคลื่อนที่เลยขอบเขตนี้ไปได้
- ส่วนที่แสดงวัตถุที่ต้องการระบุตำแหน่ง เป็นเสมือนวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่ภายในสนาม โดยจะเป็นรูปทรงกลมที่มีหน้าที่แสดงตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการระบุตำแหน่งภายในสนาม

3.8.2. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมการแสดงผลด้วยโปรแกรม Unity ผู้จัดทำได้ออกแบบการทำงานให้มีการรับข้อมูล คำนวณ และแสดงผล ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.39



รูปที่ 3.39 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงผล

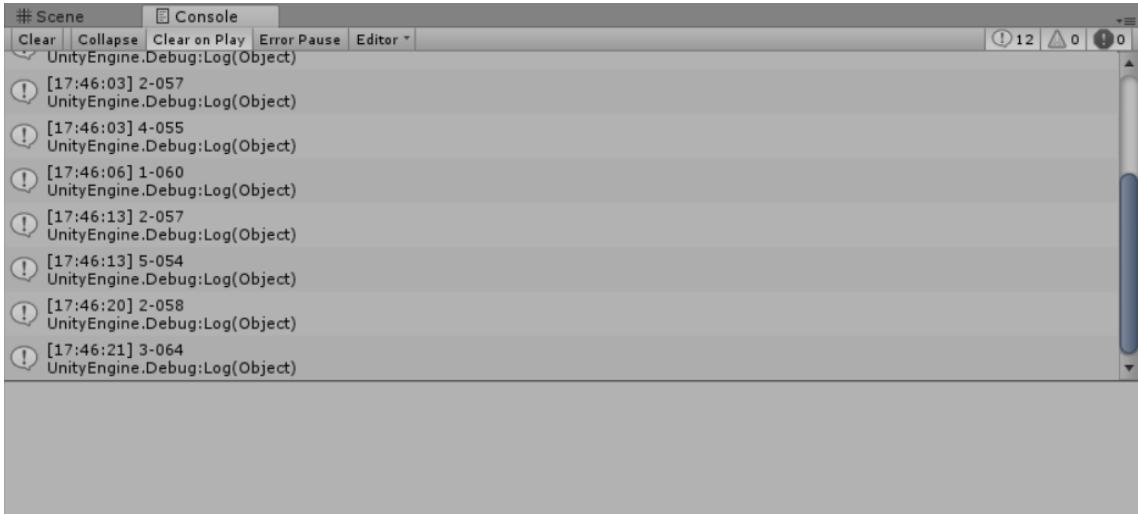
จาก Flowchart ที่แสดงไปนี้จะอธิบายการทำงานได้ว่าเมื่อเริ่มต้นโปรแกรมจะมีการตั้งค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น ค่าของพิกัดตำแหน่งเริ่มต้นของดาวหุ่นยนต์ จากนั้นจะเริ่มรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาทาง Serial Port โดยข้อมูลที่ส่งเข้ามาคือข้อมูลที่ใช้ระบุตัวตนของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ได้แก่ MAC Address ของอุปกรณ์ และเลข Major Minor ของอุปกรณ์พร้อมทั้งค่า RSSI ที่ได้ในขณะนั้นและนำค่าที่ได้มาคำนวณระยะห่างและพิกัดตำแหน่ง

เมื่อได้พิกัดแล้วจะนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งเดิมว่ามีการเคลื่อนที่ไปในแนวแกน X หรือแกน Y เป็นจำนวนเท่าใด จากนั้นจะทำการบวกค่าตำแหน่งของวัตถุและค่าที่ต้องแสดงผล โดยจะทำการวนการนี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณเข้ามาใหม่เสมอ

3.8.3. ผลการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้าระบบแสดงผล

ในส่วนของข้อมูลที่ส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โปรแกรมแสดงผลที่พัฒนาด้วย Unity นั้น ทางผู้จัดทำได้ทดสอบส่งข้อมูลที่ใช้ในการระบุอุปกรณ์ส่งสัญญาณตำแหน่งต่าง ๆ พร้อมทั้งระบุค่า RSSI ที่รับได้ในรูปแบบของข้อความ (String) ผ่านช่องทาง Serial Port โดยค่าที่ส่งมานั้น

จะถูกสั่งให้แสดงด้วยคำสั่ง Debug.Log(); ในโปรแกรม จากนั้นข้อความจะมาแสดงในหน้าต่าง Console ในโปรแกรม Unity ดังที่แสดงในรูปภาพที่ 3.40 โดยข้อมูลดังกล่าวที่นี่ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาพิกัดในการแสดงผลต่อไป



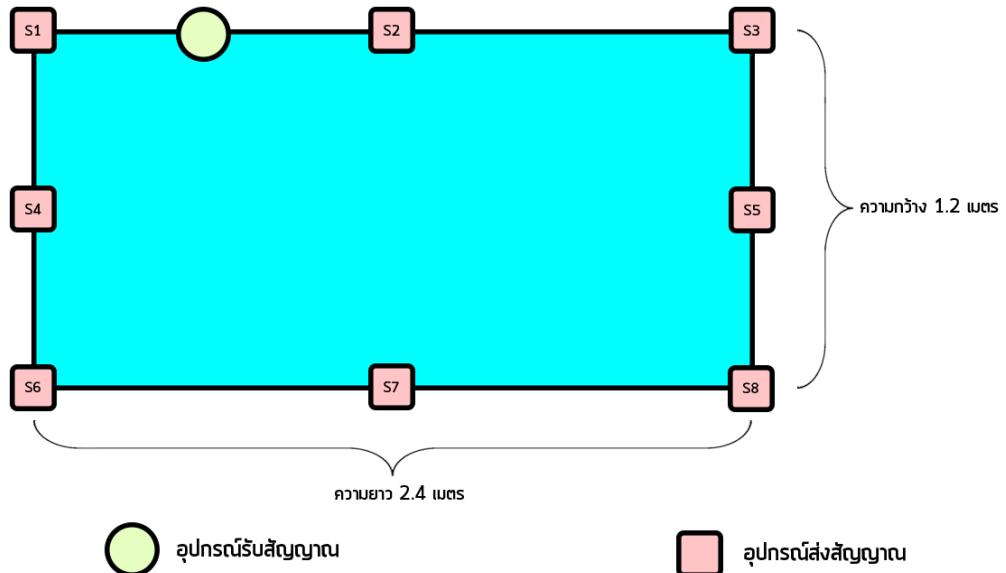
รูปที่ 3.40 หน้าต่าง Console ในโปรแกรม Unity แสดงข้อมูลที่ได้รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์

3.9. การทดสอบการระบบฐานที่หนึ่งในโปรแกรมแสดงผล และการทดสอบการระบบฐานที่มากกว่า 1 ตำแหน่ง

จากการพัฒนาโปรแกรมการแสดงผลโดยใช้ Unity เพื่อใช้ในการแสดงการระบบฐานที่หนึ่งของอุปกรณ์รับสัญญาณ เพื่อให้โปรแกรมสามารถแสดงผล และระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง ผู้จัดทำจึงทำการออกแบบการทดสอบการรับสัญญาณ กับโปรแกรมการแสดงผลโดยอ้างอิงตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณจากการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณไว้บริเวณสนามและนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการแสดงผลในโปรแกรมการแสดงผลโดยการทดสอบการระบบฐานที่หนึ่งจะมีการทดสอบดังต่อไปนี้

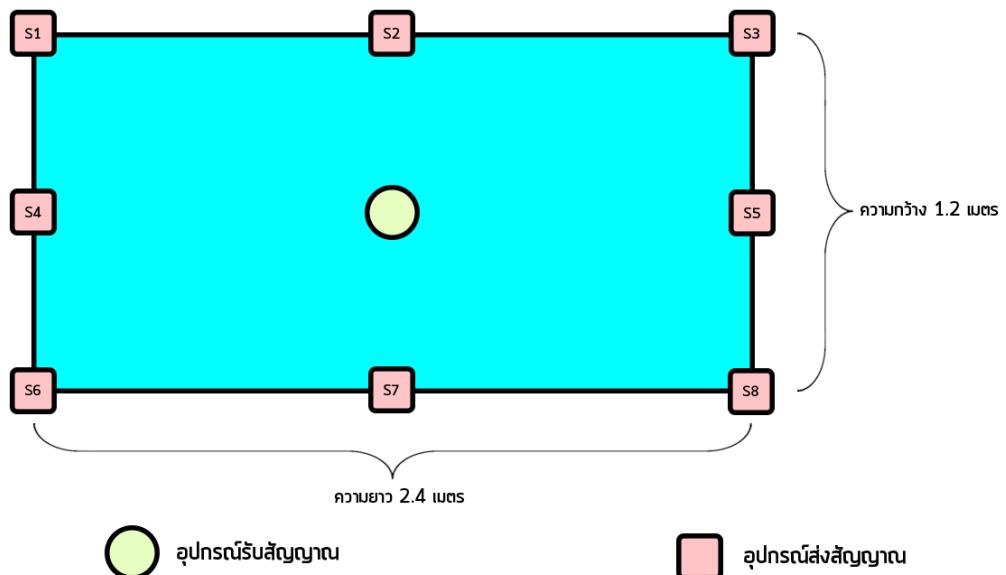
3.9.1. การทดสอบระบบฐานที่หนึ่ง โดยแสดงผลตำแหน่ง 1 ตำแหน่ง ผู้จัดทำจะนำอุปกรณ์รับสัญญาณ ติดตั้งไว้จำนวน 3 จุดของสนามและทำการบันทึกพิกัดที่ได้จากการทดสอบ จุดละ 10 ครั้ง ได้แก่

3.9.1.1. จุดกึ่งกลางระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S1 และ S2 ซึ่งจะมีพิกัดตามแนวยาวที่ 0.6 เมตรและแนวกว้างที่ 1.2 เมตร ตั้งรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.41 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (600, 1200)



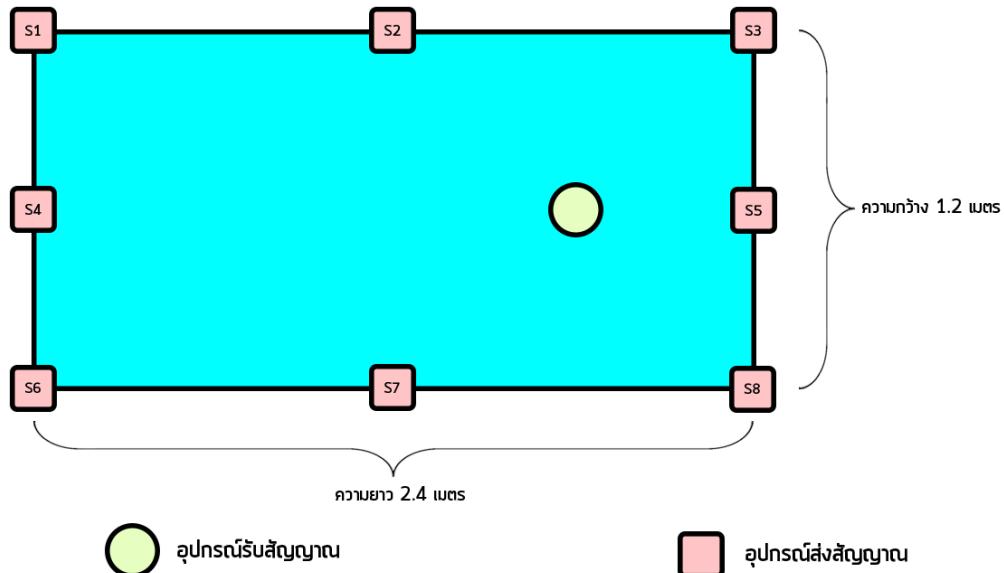
รูปที่ 3.41 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 1

3.9.1.2. จุดกึ่งกลางของถนนซึ่งจะมีพิกัดตามแนวยาวที่ 1.2 เมตรและแนวกว้างที่ 0.6 เมตร ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.42 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (1200,600)



รูปที่ 3.42 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 2

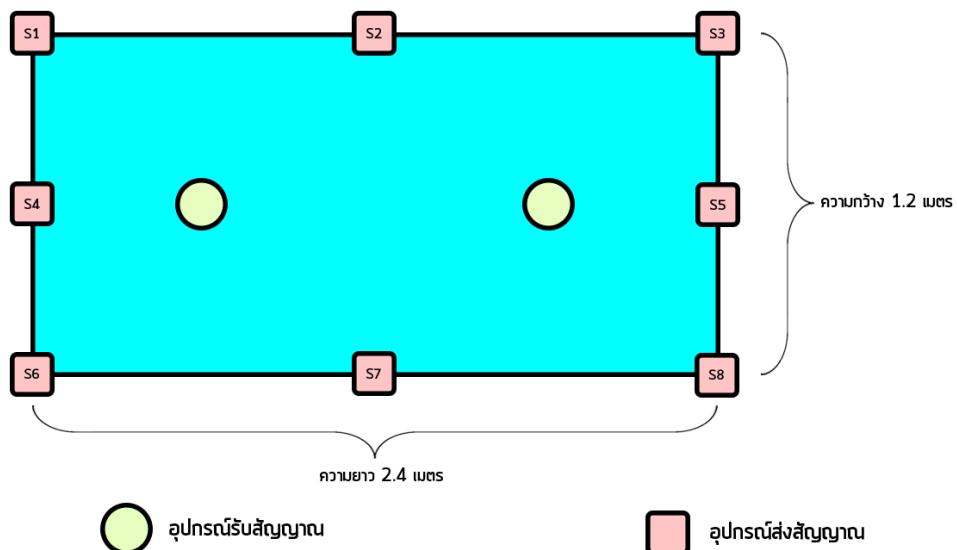
3.9.1.3. จุดกึ่งกลางของครึ่งถนนซึ่งจะมีพิกัดตามแนวยาวที่ 1.8 เมตร และแนวกว้างที่ 0.6 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.43 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (1800,600)



รูปที่ 3.43 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จุดที่ 3

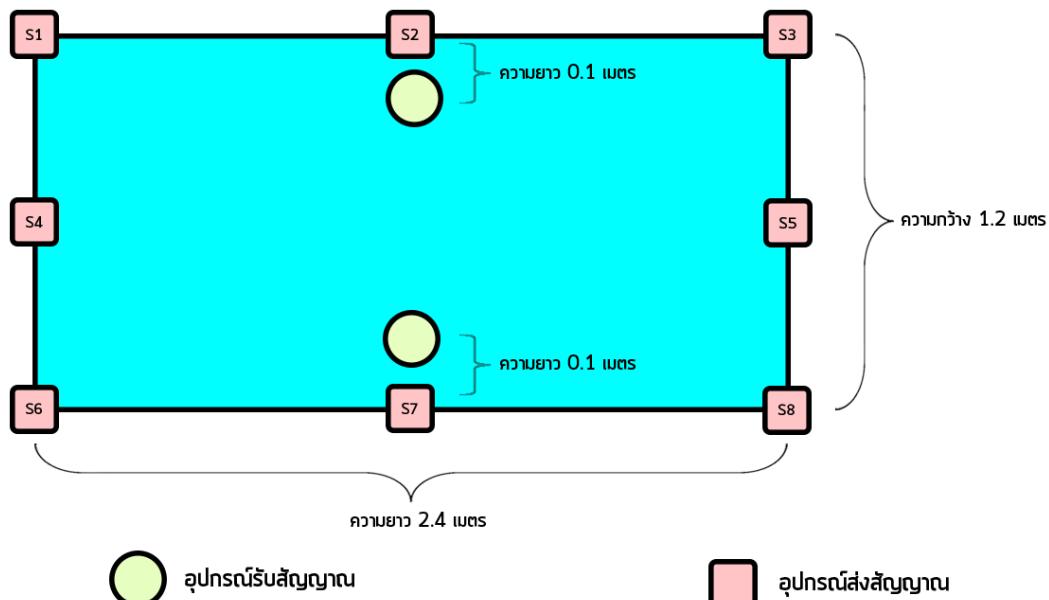
3.9.2. การทดสอบการรับสัญญาณที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณ และการแสดงผลในกรณีที่มีอุปกรณ์รับสัญญาณที่มีมากกว่า 1 ตัวในสถานะ โดยผู้จัดทำจะทำการทดสอบจำนวน 3 รูปแบบและบันทึกพิกัดที่ได้จากการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง ได้แก่

3.9.2.1. ระหว่างจุดกึ่งกลางของครึ่งสถานะ ผู้จัดทำจะติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณทั้ง 2 ตัวไว้ที่จุดกึ่งกลางของครึ่งสถานะทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งจุดแรกจะมีพิกัดตามแนวแกนยาว 0.6 เมตรและแนวกว้างที่ 0.6 เมตร และอีกจุดจะมีพิกัดตามแนวแกนยาว 1.8 เมตรและแนวกว้างที่ 0.6 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.44 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงพิกัดเป็น (600,600) และ (1800,600) ตามลำดับ



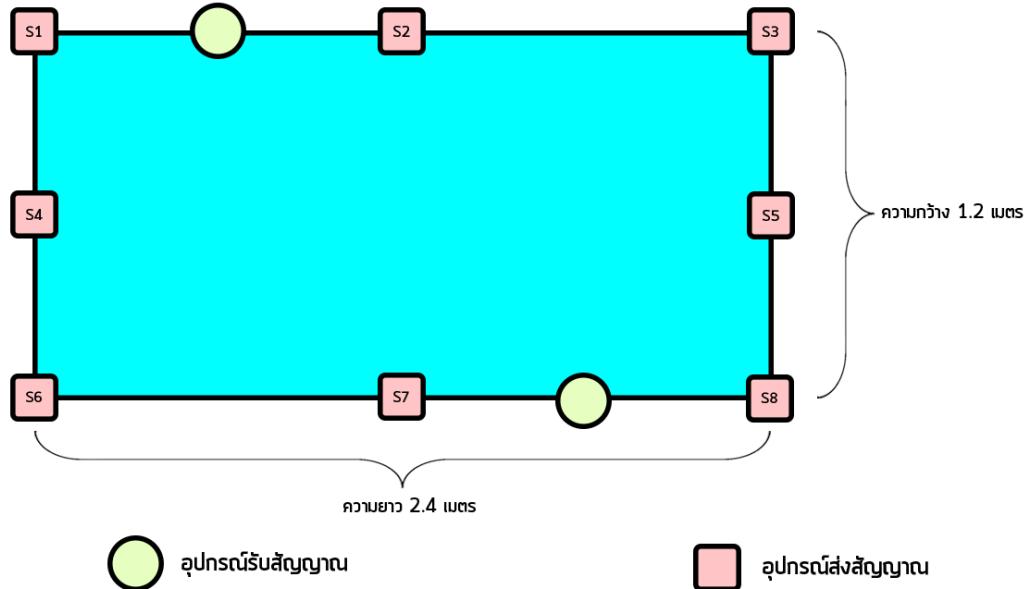
รูปที่ 3.44 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 1

3.9.2.2. ระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณ S2 และ S7 ซึ่งจุดแรกจะติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ บริเวณจุดกึ่งกลางของสนามห่างจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S2 เป็นระยะ 0.1 เมตร โดยจะมีพิกัดตามแนวยาว 1.2 เมตร และแนวกว้างที่ 1.1 เมตร และอีกจุดจะติดตั้งไว้บริเวณกึ่งกลางของสนามห่างจากอุปกรณ์ S7 เป็นระยะ 0.1 เมตร โดยจะมีพิกัดตามแนวยาว 1.2 เมตรและแนวกว้างที่ 0.1 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.45 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (1200,1100) และ (1200,100) ตามลำดับ



รูปที่ 3.45 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 2

3.9.2.3. บริเวณขอบของสนาม ระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S1 และ S2 กับ S7 และ S8 โดยจุดแรกจะติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S1 และ S2 โดยจะมีพิกัดตามแนวยาวที่ 0.6 เมตรและตามแนวกว้างที่ 1.2 เมตรและอีกจุดจะติดตั้งระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณ S7 และ S8 โดยจะมีพิกัดตามแนวยาว 1.8 เมตรและแนวกว้าง 0 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.46 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (600,1200) และ (1800,0) ตามลำดับ

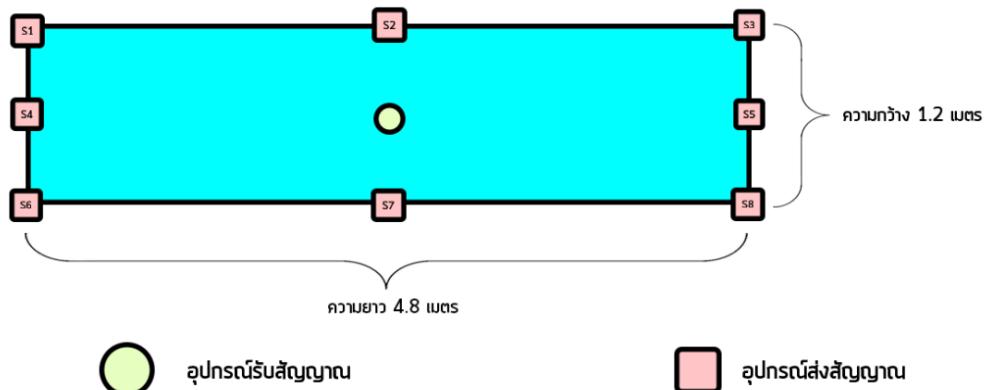


รูปที่ 3.46 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จุดที่ 3

3.10. การทดสอบการระบุตำแหน่ง ในสนามขนาดอื่น ๆ

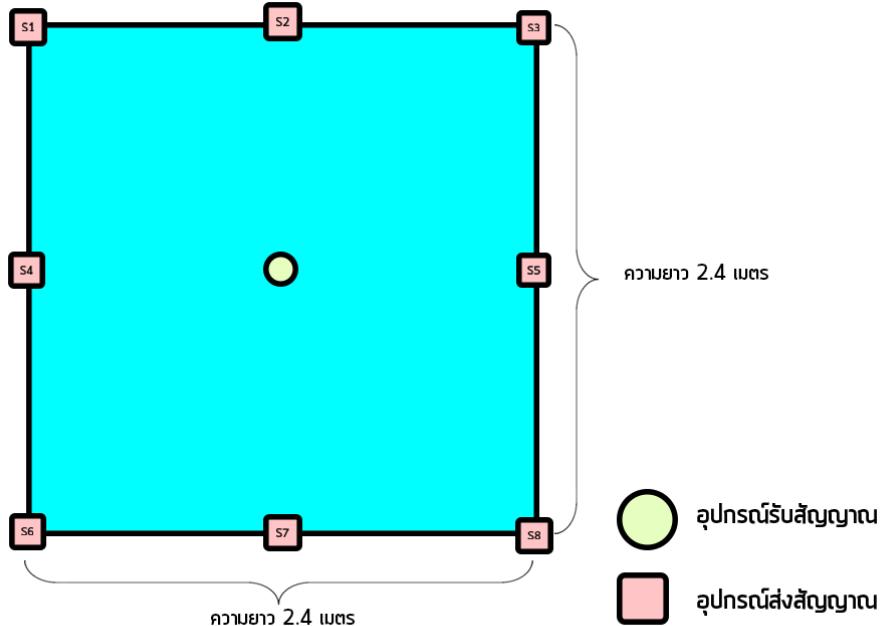
จากการทดสอบการรับสัญญาณนั้นผู้จัดทำจะใช้พื้นที่ในการทดสอบขนาด 1.2×2.4 เมตรเป็นมาตรฐานในการทดสอบ โดยการนำระบบระบุตำแหน่งไปใช้นั้นมีความเป็นไปได้ที่ขนาดของพื้นที่จะมีขนาดที่แตกต่างกัน ผู้จัดทำจึงได้ออกแบบการทดสอบการรับสัญญาณกรณีที่พื้นที่การระบุตำแหน่งโดยปรับเปลี่ยนขนาดของสนามออกเป็น 3 รูปแบบ และบันทึกพิกัดที่ได้จากการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง ดังต่อไปนี้

3.10.1. ทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 1.2×4.8 เมตร จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณโดยติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณไว้บริเวณกึ่งกลางของสนามในขนาดพื้นที่ค้านกว้าง 1.2 เมตร และค้านยาว 4.8 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.47 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (1200,4800)



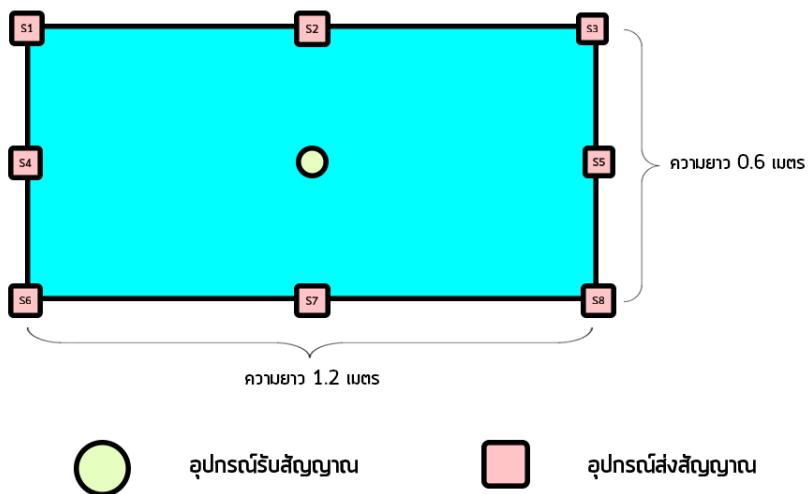
รูปที่ 3.47 แผนผังวิธีการทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 1.2×4.8 เมตร

3.10.2. ทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 2.4×2.4 เมตร จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณ โดยติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณไว้บริเวณกึ่งกลางของสนามในขนาดพื้นที่ด้านกว้างและด้านยาว 2.4 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.48 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (2400,2400)



รูปที่ 3.48 แผนผังวิธีการทดสอบการรับสัญญาณในสนามขนาด 2.4×2.4 เมตร

3.10.3. ทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 0.6×1.2 เมตร จะเป็นการทดสอบการรับสัญญาณ โดยติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณไว้บริเวณกึ่งกลางของสนามในขนาดพื้นที่ด้านกว้าง 0.6 เมตร และด้านยาว 1.2 เมตรดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.49 โดยโปรแกรมแสดงผลจะแสดงค่าพิกัดเป็น (600,1200)



รูปที่ 3.49 แผนผังวิธีการทดสอบการรับสัญญาณในสนามขนาด 0.6×1.2 เมตร

3.11. การทดสอบรับสัญญาณ โดยปรับเปลี่ยนขนาดความสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ในการทดสอบการรับสัญญาณนี้ เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของความสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีผลต่อการส่งสัญญาณและเลือกความสูงที่เหมาะสมในการนำไปใช้ระบุตำแหน่งของโพรเจกต์นี้ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนความสูงในการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะช่วยทำให้การส่งสัญญาณดีขึ้นในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ภายในสนาม [22] และลักษณะการส่งสัญญาณของอุปกรณ์นั้นมีลักษณะเป็นคลื่นตรงซึ่งระยะของความสูงของสายอากาศที่ติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์ส่งสัญญาณจะมีผลต่อระยะทางในการส่งสัญญาณด้วย [23]

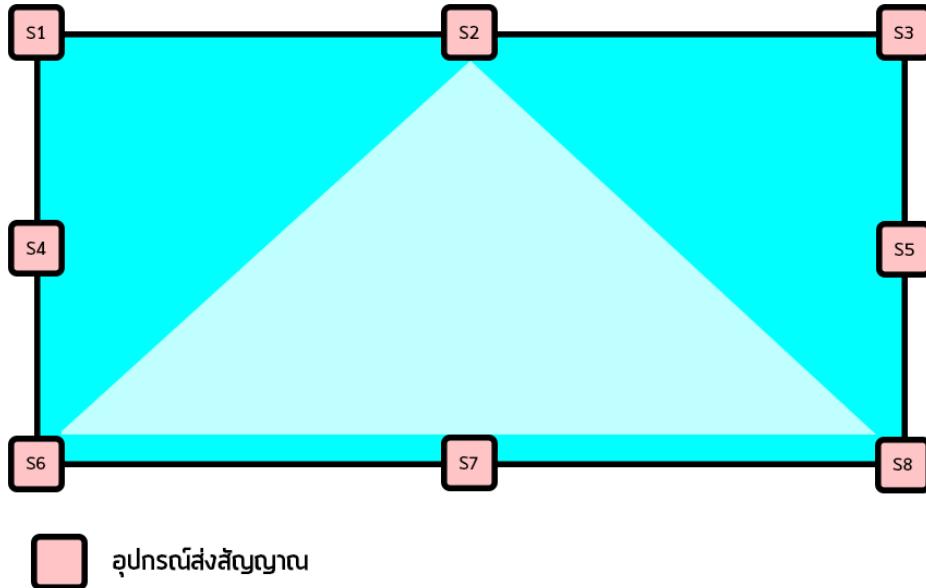
จากรายละเอียดดังกล่าวนี้ผู้จัดทำจึงได้มีการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 1 ตัว โดยห่างจากอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 1 เมตรและทำการเพิ่มความสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เซนติเมตรโดยในเริ่มต้นจากการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ความสูง 5 เซนติเมตรจนถึงความสูง 40 เซนติเมตรในแต่ละความสูงจะทำการทดสอบ 2 รูปแบบ ได้แก่ ทดสอบการรับสัญญาณแบบปกติ และทดสอบแบบใช้ตัวกรองแบบคามาน

3.12 รูปแบบการวางแผนพิกัดตำแหน่ง และการเลือกจุดอ้างอิงเพื่อคำนวณพิกัดตำแหน่ง

ในส่วนของการแสดงผลนี้จะมีการวางแผนตำแหน่งตัวเลขสมมติให้กับจุดต่าง ๆ ภายในสนามโดยรูปแบบการวางแผนนี้จะกำหนดให้ด้านขวาของสนามนี้เป็นแนวแกน X และให้ด้านกว้างของสนามนี้เป็นแนวแกน Y ซึ่งจะถูกกำหนดให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตรและในส่วนของการคำนวณหาพิกัดนั้นจะคำนวณโดยการทำสามเหลี่ยมระยะ ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้จุดอ้างอิงในการคำนวณทั้งหมด 3 จุดต่อครั้งในการคำนวณหาพิกัดโดยผู้จัดทำได้ออกแบบการคำนวณไว้ทั้งหมด 4 รูปแบบ ประกอบด้วย

3.12.1. จุดอ้างอิง S2, S6 และ S8

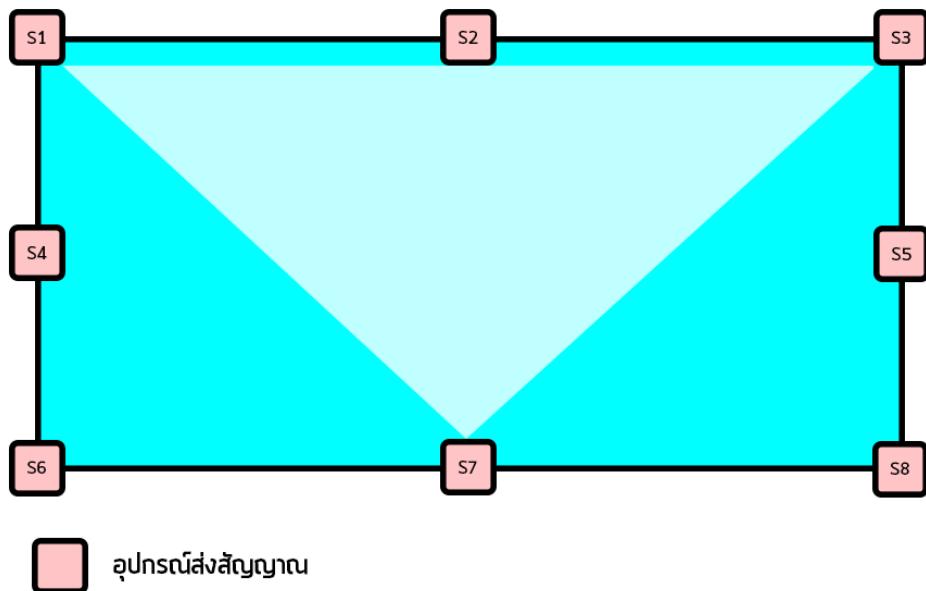
จะเป็นจุดที่ครอบคลุมตำแหน่งตั้งแต่บ่อมที่มีค่า Y ต่ำสุดทางด้านซ้ายของสนามไปจนถึงบ่อมที่ตั้งอยู่ในแนวแกน X และตำแหน่งสูงสุด ณ จุดกึ่งกลางของด้านขวาสนามดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.50



รูปที่ 3.50 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S2, S6 และ S8

3.12.2. จุดอ้างอิง S1, S3 และ S7

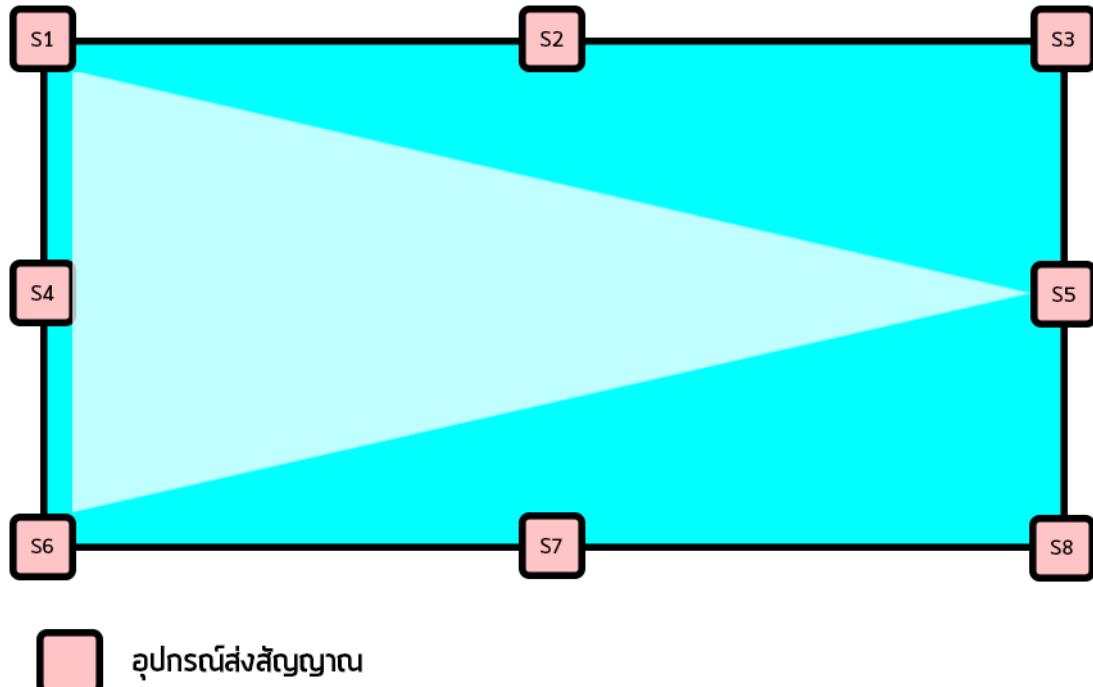
จะเป็นจุดที่ครอบคลุมตำแหน่งตั้งแต่บูมที่มีค่า Y สูงสุดทางด้านซ้ายของสนามไปจนถึงบูมตรงข้ามในแนวแกน X และตำแหน่งต่ำสุด ณ จุดกึ่งกลางของด้านยาวสนามดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.51



รูปที่ 3.51 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S1, S3 และ S7

3.12.3. จุดอ้างอิง S1, S5 และ S6

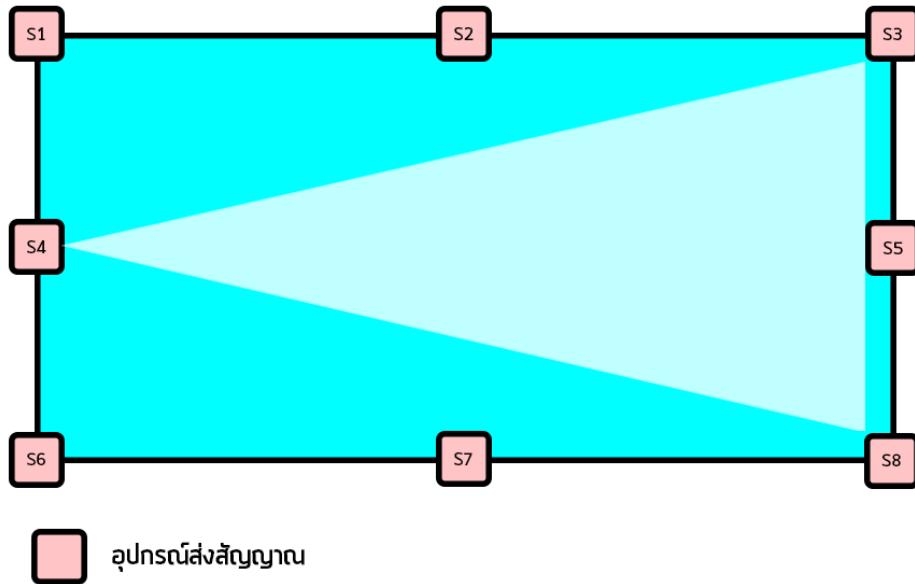
จะเป็นจุดที่ครอบคลุมตำแหน่งตั้งแต่บนที่มีค่า X ต่ำสุดทางด้านบนของสนามไปจนถึงบนตรงข้ามในแนวแกน Y และตำแหน่งขวาสุด ณ จุดกึ่งกลางของด้านกว้างสนามดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.52



รูปที่ 3.52 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S1, S5 และ S6

3.12.4. จุดอ้างอิง S3, S4 และ S8

จะเป็นจุดที่ครอบคลุมตำแหน่งตั้งแต่บนที่มีค่า X สูงสุดทางด้านล่างของสนามไปจนถึงบนตรงข้ามในแนวแกน Y และตำแหน่งซ้ายสุด ณ จุดกึ่งกลางของด้านกว้างสนามดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 3.53



รูปที่ 3.53 แผนผังแสดงจุดอ้างอิงที่เป็น S3, S4 และ S8

ชี้งการจัดวางตำแหน่งอ้างอิงดังกล่าวจะทำให้เกิดพื้นที่รูปสามเหลี่ยมตามทฤษฎีการทำสามเหลี่ยม
ระยะทั่วทั้งสนาม โดยเมื่อกำหนดรบทั้ง 4 ตำแหน่งแล้วจะนำมำกวนหาค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงผลต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1. ผลความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณแบบปกติ

4.1.1. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละชุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 1 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.2
ค่ามัธยฐาน (m)	1.07	1.31	1.39
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.13	+0.11	+0.19
คิดเป็นร้อยละ (%)	10	10	16

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 2 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.47	1.34
ค่ามัธยฐาน (m)	0.78	2.16	1.86
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.18	-0.31	+0.52
คิดเป็นร้อยละ (%)	31	12	39

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 3 ในภาคพนวกและสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	0.1
ค่ามัชยฐาน (m)	1.49	1.39	0.17
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.20	-0.30	+0.07
คิดเป็นร้อยละ (%)	12	18	78

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 4 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	2.47	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	1.79	0.64	1.73
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.68	+0.04	+0.39
คิดเป็นร้อยละ (%)	27	7	29

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 5 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	1.34	1.36	0.71
ผลต่างจากระยะจริง (m)	0	+0.02	+0.11
คิดเป็นร้อยละ (%)	27	2	20

4.1.2. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 6 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.69	1.69
ค่ามัธยฐาน (m)	1.37	1.21	1.92	1.28
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.17	+0.01	+0.23	-0.41
คิดเป็นร้อยละ (%)	14	1	13	24

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 7 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.49	0.6	2.49
ค่ามัธยฐาน (m)	0.72	1.88	0.67	1.43
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.12	-0.61	+0.6	-1.06
คิดเป็นร้อยละ (%)	22	25	12	43

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 8 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	1.2	1.2
ค่ามัธยฐาน (m)	2.13	2.08	1.31	0.91
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.44	+0.39	+0.11	-0.29
คิดเป็นร้อยละ (%)	26	23	10	23

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 9 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	2.49	0.6	2.49	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	2.52	0.68	1.84	0.53
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.03	+0.08	-0.65	-0.07
คิดเป็นร้อยละ (%)	1	14	26	11

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 10 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	1.34	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	1.46	1.62	1.52	1.40
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.12	+0.28	+0.2	+0.06
คิดเป็นร้อยละ (%)	9	21	14	4

4.1.3. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 11 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.69	1.2	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.42	1.37	2.16	1.26	1.73
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.22	+0.17	+0.47	+0.06	+0.04
คิดเป็นร้อยละ (%)	19	14	27	6	2

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 12 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.47	0.6	1.34	2.47
ค่ามัธยฐาน (m)	0.92	2.24	1.04	1.26	1.80
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.32	-0.23	+0.44	-0.08	-0.67
คิดเป็นร้อยละ (%)	54	9	73	5	27

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 13 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	1.2	0.1	1.2
ค่ามัธยฐาน (m)	1.99	1.95	1.12	0.1	1.19
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.3	+0.26	-0.08	0	-0.01
คิดเป็นร้อยละ (%)	18	15	6	0	0

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 14 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	2.47	0.6	2.47	1.34	0.6
ค่ามัธยฐาน (m)	1.92	0.67	2.21	1.17	0.62
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.55	+0.07	-0.26	-0.17	+0.02
คิดเป็นร้อยละ (%)	22	12	10	13	4

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 15 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	1.34	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	1.77	1.39	1.88	0.88	1.45
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.43	+0.05	+0.54	+0.28	+0.11
คิดเป็นร้อยละ (%)	32	4	40	48	9

4.1.4. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 16 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.2	0.1	1.2	1.69	1.2	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.20	0.10	1.35	1.70	1.89	2.19
ผลต่างจากระยะจริง (m)	0	0	+0.15	+0.01	+0.69	+0.5
คิดเป็นร้อยละ (%)	0	0	13	1	58	29

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 17 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	0.6	1.34	2.47	0.6	1.34	2.47
ค่ามัชยฐาน (m)	0.88	1.95	4.12	0.57	1.12	1.46
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.28	+0.61	+1.65	-0.03	+0.22	-1.01
คิดเป็นร้อยละ (%)	48	46	67	4	16	41

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 18 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.2	1.69	1.2	0.1	1.2
ค่ามัชยฐาน (m)	2.34	1.76	3.41	1.14	0.10	1.39
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.65	+0.56	+1.72	-0.06	0	+0.19
คิดเป็นร้อยละ (%)	38	47	101	5	0	17

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 19 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	2.47	1.34	0.6	2.47	1.34	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	3.31	1.44	0.77	2.65	1.72	0.73
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.84	+0.1	+0.17	+0.18	+0.38	+0.13
คิดเป็นร้อยละ (%)	34	8	30	7	29	22

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 20 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.34	0.6	1.34	1.34	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	2.41	0.77	2.26	1.60	0.94	1.13
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+1.07	+0.17	+0.92	+0.26	+0.34	-0.21
คิดเป็นร้อยละ (%)	80	30	69	20	57	15

4.1.5. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 21 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.2	0.1	1.2	1.34	1.34	1.69	1.2	1.69
ค่ามัธยฐาน (m)	1.29	0.1	1.32	2.12	1.52	1.60	1.52	1.67
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.09	0	+0.12	+0.78	+0.18	-0.09	+0.32	-0.02
คิดเป็นร้อยละ (%)	8	0	10	58	14	6	27	1

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 22 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	0.6	1.34	2.47	0.1	2.4	0.6	2.34	2.47
ค่ามัธยฐาน (m)	1.29	0.1	1.32	2.12	1.52	1.60	1.52	1.67
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.09	0	+0.12	+0.78	+0.18	-0.09	+0.32	-0.02
คิดเป็นร้อยละ (%)	8	0	10	58	14	6	27	1

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 23 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.2	1.69	1.34	1.34	1.2	0.1	1.2
ค่ามัธยฐาน (m)	1.60	1.72	2.12	1.70	1.34	0.87	0.33	1.59
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.09	+0.52	+0.43	+0.36	0	-0.33	+0.23	+0.39
คิดเป็นร้อยละ (%)	6	43	25	27	0	27	234	33

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 24 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	2.47	1.34	0.6	2.4	0.1	2.47	1.34	0.6
ค่ามัธยฐาน (m)	2.23	3.70	1.60	1.89	0.34	1.52	1.52	0.78
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.24	+2.36	+1.00	-0.51	+0.24	-0.95	+0.18	+0.18
คิดเป็นร้อยละ (%)	10	176	167	21	244	38	14	32

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 25 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

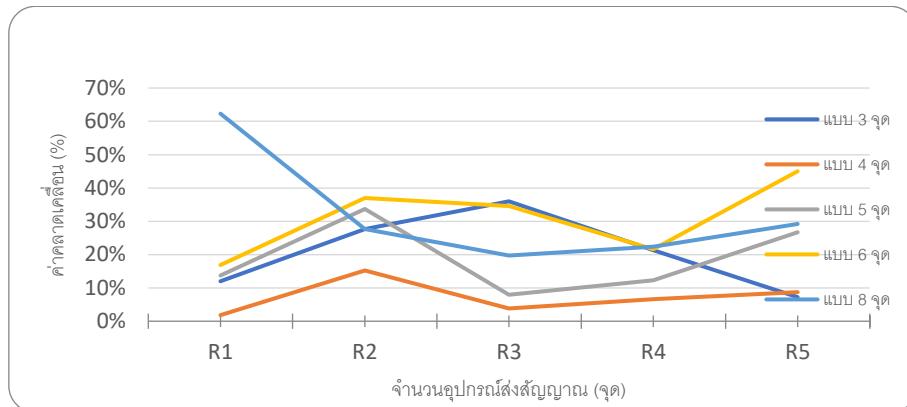
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.34	0.6	1.34	1.2	1.2	1.34	0.6	1.34
ค่ามัธยฐาน (m)	1.80	1.37	2.07	1.26	1.45	1.26	0.71	1.17
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.46	+0.77	+1.00	+0.06	+0.25	-0.08	+0.11	-0.17
คิดเป็นร้อยละ (%)	34	121	55	5	22	6	20	12

จากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 5 จุด ในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณนี้ จะมีค่าสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ สามารถนำค่าสภาพแวดล้อมดังกล่าว มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ได้ในแต่ละรูปแบบได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.26

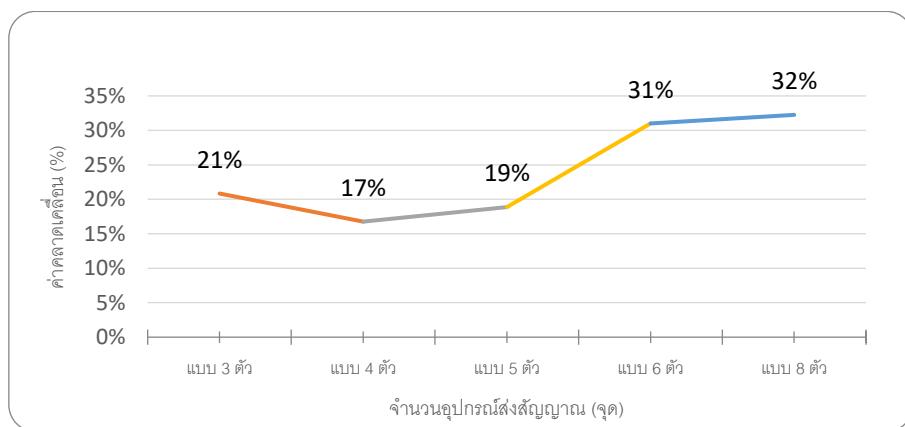
ตารางที่ 4.26 ค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ย ในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ

จำนวนอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	3 ตัว	4 ตัว	5 ตัว	6 ตัว	8 ตัว
ค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ย	6.27	5.46	5.82	3.65	1.97

ทั้งนี้ จากตารางแสดงผลลัพธ์ความคาดเคลื่อนของในแต่ละรูปแบบนั้นหากในกรณีที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวมาคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์รับสัญญาณในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบการรับสัญญาณนั้นจะมีความคาดเคลื่อนดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.1 และสามารถนำมาคำนวณหาค่าความคาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบได้ ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ค่าความคาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด



รูปที่ 4.2 ค่าความคาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด

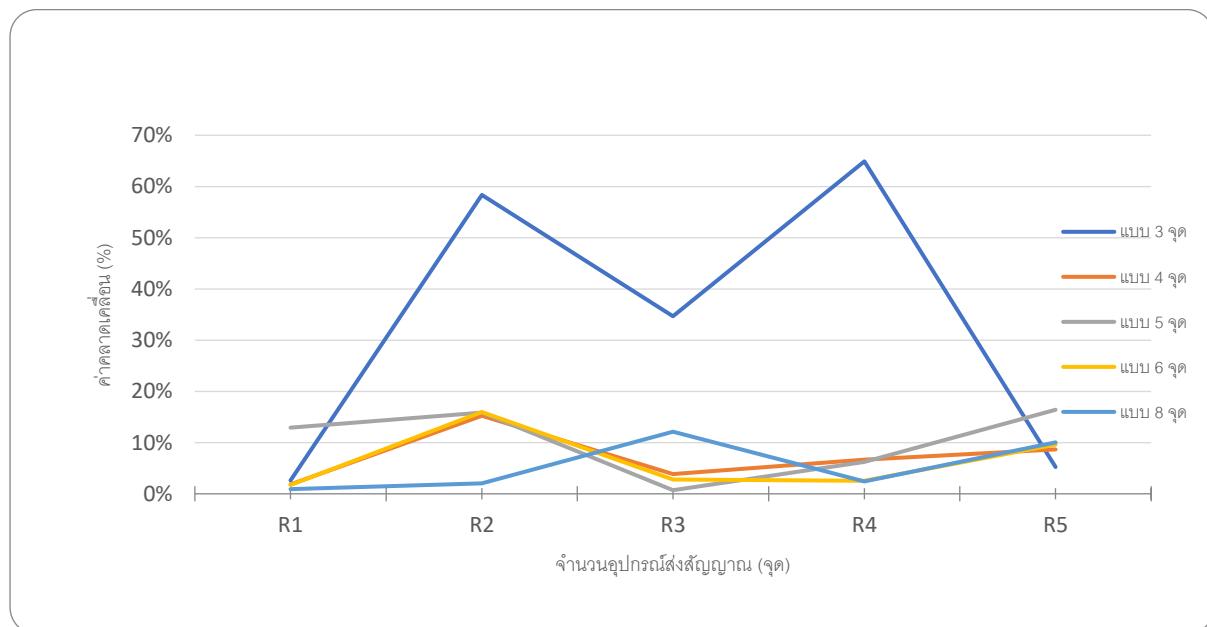
จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าในการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกรูปแบบจะส่งผลก่อให้เกิดความคาดเคลื่อนที่แตกต่างกันไป เนื่องจากในการระบุตำแหน่งในแต่ละจุดจะใช้ค่า RSSI ของทุกอุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุทั้งหมดเมื่อนำอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่อยู่ใกล้มาร่วมคำนวณด้วยจะส่งผลให้เกิดความคาดเคลื่อนขึ้นเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนอื่น ๆ ทั้งจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้คลื่นความถี่เดียวกันหรือรวมไปถึงอุปกรณ์ส่งสัญญาณด้วยกันเอง ทำให้ค่า RSSI ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่อยู่ใกล้นั้นมีความคาดเคลื่อนและส่งผลให้การคำนวณทั้งหมด เกิดความคาดเคลื่อนไปด้วย

ผู้จัดทำจึงได้ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) เพื่อเลือกให้คำนวณค่า RSSI ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัว ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.27 และนำค่า RSSI ที่ได้มาคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับสัญญาณและอุปกรณ์ส่งสัญญาณ 3 ตัวที่อยู่ใกล้ต่อไป

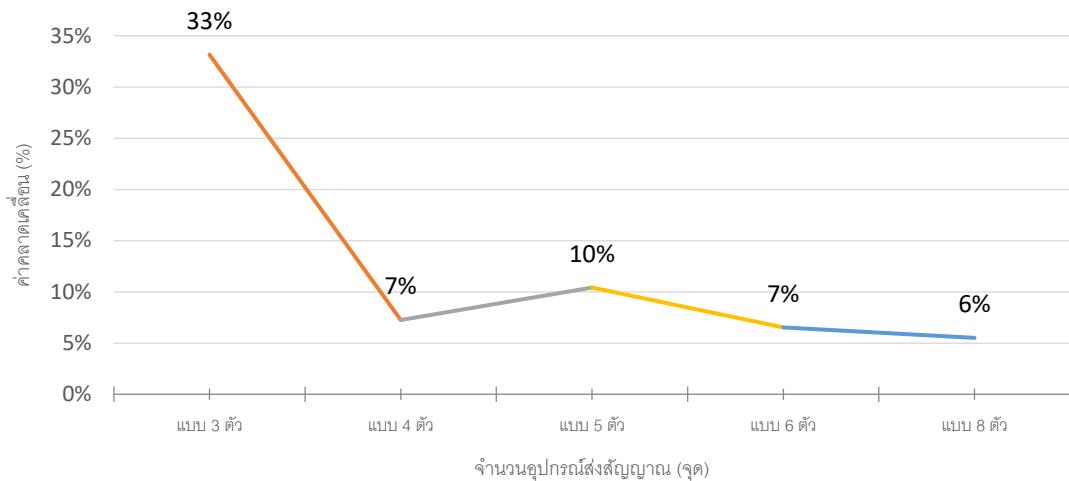
ตารางที่ 4.27 อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ในแต่ละจุดการรับสัญญาณ

	R1	R2	R3	R4	R5
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 3 ตัว	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 4 ตัว	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S3/S4	S1/S2/S4	S1/S2/S3
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 5 ตัว	S1/S2/S4	S1/S3/S4	S1/S3/S5	S2/S4/S5	S1/S2/S4
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 6 ตัว	S1/S3/S5	S1/S2/S4	S2/S4/S6	S2/S3/S6	S2/S4/S6
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 8 ตัว	S1/S3/S7	S1/S5/S6	S2/S6/S8	S3/S4/S8	S2/S4/S7

จากการทดสอบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่งจำนวน 3 ตัวตามหลักทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ ในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบการรับสัญญาณนี้จะมีความคลาดเคลื่อนดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.3 และสามารถนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบได้ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ



รูปที่ 4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ

จากการใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะนั้นจะเห็นได้ว่า จากรูปภาพที่ 4.3 และรูปภาพที่ 4.4 จะเห็นผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ทั้งในแต่ละชุดการทดสอบรับสัญญาณและในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ลดลง ทำให้สามารถเห็นผลต่างความคลาดเคลื่อนในการคำนวณหาพิกัดอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากรูปภาพทั้ง 2 รูปนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีจำนวนมากขึ้นจะทำให้การคำนวณหาพิกัดนั้นมีความแม่นยำมากขึ้น โดยจากการทดสอบนี้การใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัวจะให้ผลความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับในรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบอื่น ๆ โดยผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับสัดส่วนของสามเหลี่ยมสามารถคิดออกมาได้ที่ร้อยละ 6

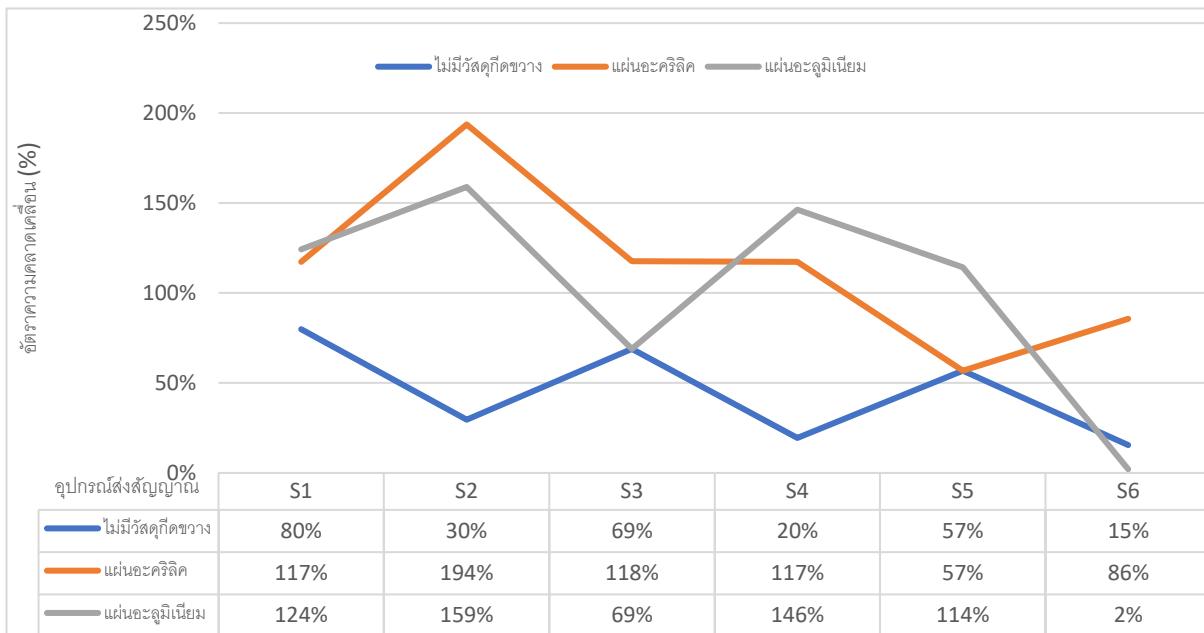
โดยผลดังกล่าวนี้ จะสามารถสรุปได้ว่าหากกรณีที่มิได้ใช้ตัวกรองแบบคาลามาน (Kalman Filter) ใน การกรองค่า RSSI นั้นการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จากการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมระยะจะให้ความแม่นยำที่สุด

4.2. ผลความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณโดยมีวัสดุสิ่งกีดขวาง

จากการทดสอบการรับสัญญาณ โดยมีวัสดุสิ่งกีดขวาง ได้แก่ อะคริลิค ขนาด $10 \times 11.75 \times 0.1$ เซนติเมตรและแผ่นอะลูมิเนียม ขนาด $10 \times 10 \times 0.05$ เซนติเมตรจะพบว่ามีค่าที่แตกต่างจากกรณีที่ไม่มีวัสดุสิ่งกีดขวางใด ๆ อよู่ และวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้จะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนที่ต่างกัน โดยผลจากการดังผลการทดสอบในตารางที่ 4.28 และจากผลดังกล่าวสามารถนำมาเปรียบเทียบเป็นแผนภาพแสดงความคลาดเคลื่อนได้ดังรูปภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบผลค่า RSSI จากการทดสอบกรณีที่มีวัสดุกีดขวาง

อุปกรณ์รับสัญญาณ	ครั้งที่ วัสดุ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		(dB)									
S1	-	-65	-71	-71	-67	-70	-71	-71	-68	-70	-67
	อะคริลิค	-62	-76	-72	-71	-73	-75	-74	-69	-73	-76
	อะลูมิเนียม	-76	-74	-76	-73	-72	-79	-76	-73	-72	-73
S2	-	-52	-52	-52	-47	-52	-53	-52	-52	-53	-52
	อะคริลิค	-65	-66	-65	-66	-67	-64	-62	-64	-62	-67
	อะลูมิเนียม	-61	-62	-61	-65	-66	-63	-64	-61	-63	-64
S3	-	-68	-71	-65	-75	-68	-65	-68	-74	-65	-68
	อะคริลิค	-73	-70	-73	-71	-70	-76	-74	-71	-73	-71
	อะลูมิเนียม	-69	-68	-68	-67	-67	-69	-77	-66	-69	-68
S4	-	-66	-65	-64	-62	-63	-64	-71	-66	-67	-69
	อะคริลิค	-72	-77	-73	-76	-77	-77	-75	-74	-75	-73
	อะลูมิเนียม	-79	-78	-77	-77	-74	-72	-77	-79	-77	-77
S5	-	-59	-51	-57	-59	-56	-59	-59	-60	-52	-54
	อะคริลิค	-60	-59	-59	-56	-60	-61	-57	-56	-54	-57
	อะลูมิเนียม	-62	-64	-61	-62	-64	-63	-63	-64	-62	-64
S6	-	-61	-66	-65	-66	-59	-60	-67	-67	-61	-65
	อะคริลิค	-77	-78	-79	-75	-78	-72	-77	-79	-78	-77
	อะลูมิเนียม	-69	-68	-70	-69	-69	-66	-68	-67	-66	-66



รูปที่ 4.5 ค่าความคลาดเคลื่อน กรณีที่มีสิ่งกีดขวางของวัสดุในแต่ละรูปแบบ

จากรูปภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าจากการทดสอบการรับสัญญาณกรณีที่มีสิ่งกีดขวางในกรณีที่มีวัสดุกีดขวางจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณมากขึ้น โดยกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางได ๆ จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณทั้ง 6 ชุด คิดเป็นร้อยละ 30 ในขณะที่กรณีที่สิ่งกีดขวางเป็นวัสดุอะคริลิกจะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 113 และกรณีที่สิ่งกีดขวางเป็นวัสดุอะลูมิเนียม จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 105

โดยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถสันนิษฐานได้ว่าในกรณีการรับสัญญาณโดยมีสิ่งกีดขวางอยู่นั้นจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการส่งสัญญาณเพิ่มมากขึ้น และจากการสูญเสียพลังงานในการส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ค่า RSSI ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเปลี่ยนไปโดยมีค่าที่สูงขึ้น และก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น จากการทดสอบดังกล่าว จึงสามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางจะส่งผลต่อการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น

4.3. ผลความคลาดเคลื่อนในการรับสัญญาณแบบใช้ตัวกรองแบบคามาน

4.3.1. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละชุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 26 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.2
ค่ามัธยฐาน (m)	1.38	0.43	2.07
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.18	+0.83	+0.87
คิดเป็นร้อยละ (%)	15	64	74

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 27 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.47	1.34
ค่ามัธยฐาน (m)	0.66	2.40	1.38
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.06	-0.07	+0.4
คิดเป็นร้อยละ (%)	10	3	3

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 28 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	0.1
ค่ามัธยฐาน (m)	1.73	1.44	0.09
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.04	-0.25	-0.01
คิดเป็นร้อยละ (%)	2	15	1

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 29 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	2.47	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	3.02	0.43	1.44
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.55	-0.17	+0.1
คิดเป็นร้อยละ (%)	22	27	8

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 30 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	1.58	0.96	0.25
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.24	-0.38	-0.35
คิดเป็นร้อยละ (%)	18	29	58

4.3.2. ผลความคลาดเคลื่อนของการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 31 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.69	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.31	1.15	2.26	2.97
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.11	-0.05	+0.57	+1.28
คิดเป็นร้อยละ (%)	9	4	33	75

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 32 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.49	0.6	2.49
ค่ามัชยฐาน (m)	0.44	2.97	0.51	11.59
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.16	+0.48	-0.11	+9.10
คิดเป็นร้อยละ (%)	26	19	15	365

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 33 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	1.2	1.2
ค่ามัชยฐาน (m)	1.99	2.26	1.31	0.29
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.3	+0.57	+0.11	-0.71
คิดเป็นร้อยละ (%)	17	33	9	75

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 34 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	2.49	0.6	2.49	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	2.26	0.33	3.90	0.58
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.23	-0.3	+1.4	-0.02
คิดเป็นร้อยละ (%)	9	44	56	3

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 35 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	1.34	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	1.31	1.31	1.51	1.31
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.03	-0.03	+0.17	-0.03
คิดเป็นร้อยละ (%)	2	2	13	2

4.3.3. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 36 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.2	1.2	1.69	1.2	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.32	1.10	4.42	1.32	0.39
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.12	-0.1	+2.73	+0.12	-1.30
คิดเป็นร้อยละ (%)	11	8	161	11	77

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 37 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	0.6	2.47	0.6	1.34	2.47
ค่ามัชยฐาน (m)	0.52	4.42	0.57	1.45	1.74
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.08	-1.95	-0.03	+0.11	-0.73
คิดเป็นร้อยละ (%)	13	79	5	8	29

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 38 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.69	1.2	0.1	1.2
ค่ามัชชีราน (m)	4.28	2.08	2.08	0.1	0.28
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+2.59	+0.39	+0.88	0	-0.92
ค่าสภาพแวดล้อม	3.04	1.52	4.42	1.9	-7.57
คิดเป็นร้อยละ (%)	152	23	73	0	76

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 39 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	2.47	0.6	2.47	1.34	0.6
ค่ามัชชีราน (m)	9.29	0.57	5.32	1.32	0.57
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+6.82	-0.03	+2.85	-0.02	-0.03
คิดเป็นร้อยละ (%)	276	5	116	1	5

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 40 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5
ระยะห่างจริง (m)	1.34	1.34	1.34	0.6	1.34
ค่ามัชชีราน (m)	1.68	1.12	2.82	0.53	0.23
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.34	-0.22	+1.48	-0.07	-1.11
คิดเป็นร้อยละ (%)	26	17	111	11	83

4.3.4. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 41 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลมาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.2	0.1	1.2	1.69	1.2	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.31	0.1	1.19	12.65	1.41	0.83
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.11	0	-0.01	+10.96	+0.21	-0.86
คิดเป็นร้อยละ (%)	9	0	0	646	18	51

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 42 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลมาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	0.6	1.34	2.47	0.6	1.34	2.47
ค่ามัชยฐาน (m)	0.87	1.66	4.43	0.68	1.45	2.04
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.27	+0.32	+1.96	+0.08	+0.11	-0.43
คิดเป็นร้อยละ (%)	46	24	80	15	8	17

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 43 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลมาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.2	1.69	1.2	0.1	1.2
ค่ามัชยฐาน (m)	2.62	1.19	1.19	1.64	0.1	0.77
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.93	-0.01	-0.50	+0.44	0	-0.43
คิดเป็นร้อยละ (%)	55	1	30	37	0	35

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 44 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	2.47	1.34	0.6	2.47	1.34	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	2.01	1.68	0.29	5.74	0.85	0.06
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.46	+0.34	-0.31	+3.27	-0.49	-0.54
คิดเป็นร้อยละ (%)	19	25	51	132	36	90

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 45 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
ระยะห่างจริง (m)	1.34	0.6	1.34	1.34	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	1.55	0.20	1.0	1.41	0.12	1.41
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.21	-0.4	-0.34	+0.07	--0.48	+0.07
คิดเป็นร้อยละ (%)	16	65	25	6	80	6

4.3.5. ผลความคลาดเคลื่อนการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ในการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จะมีผลลัพธ์ของ RSSI จำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

- จุด R1 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 46 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.2	0.1	1.2	1.34	1.34	1.69	1.2	1.69
ค่ามัชยฐาน (m)	1.34	0.1	1.70	1.49	0.44	1.22	1.30	1.70
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.14	0	+0.5	+0.15	-0.9	-0.47	+0.10	+0.01
คิดเป็นร้อยละ (%)	12	0	42	11	66	28	9	0

- จุด R2 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 47 ในภาคพนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	0.6	1.34	2.47	0.1	2.4	0.6	1.34	2.47
ค่ามัชยฐาน (m)	0.51	1.00	1.82	0.04	0.69	0.55	1.39	1.30
ผลต่างจากระยะจริง (m)	-0.09	-0.34	-0.65	-0.06	-1.71	-0.05	+0.05	-1.17
คิดเป็นร้อยละ (%)	14	25	26	56	71	8	4	47

- จุด R3 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 48 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.51 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.69	1.2	1.69	1.34	1.34	1.2	0.1	1.2
ค่ามัชยฐาน (m)	1.94	0.63	2.53	0.64	1.34	0.31	2.27	0.96
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.25	-0.57	+0.84	-0.70	0	-0.89	+2.17	-0.24
คิดเป็นร้อยละ (%)	15	47	50	52	0	74	2172	20

- จุด R4 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 49 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	2.47	1.34	0.6	2.4	0.1	2.47	1.34	0.6
ค่ามัชยฐาน (m)	3.31	1.70	0.63	2.9	0.03	1.14	1.49	0.56
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+0.84	+0.36	+0.03	+0.5	-0.07	-1.33	+0.15	-0.04
คิดเป็นร้อยละ (%)	34	27	5	21	66	54	11	6

- จุด R5 จะมีผลลัพธ์การรับสัญญาณจำนวน 10 ครั้ง ดังตารางที่ 50 ในภาคผนวก ก และสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.53 ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนในจุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองค่าลามาน

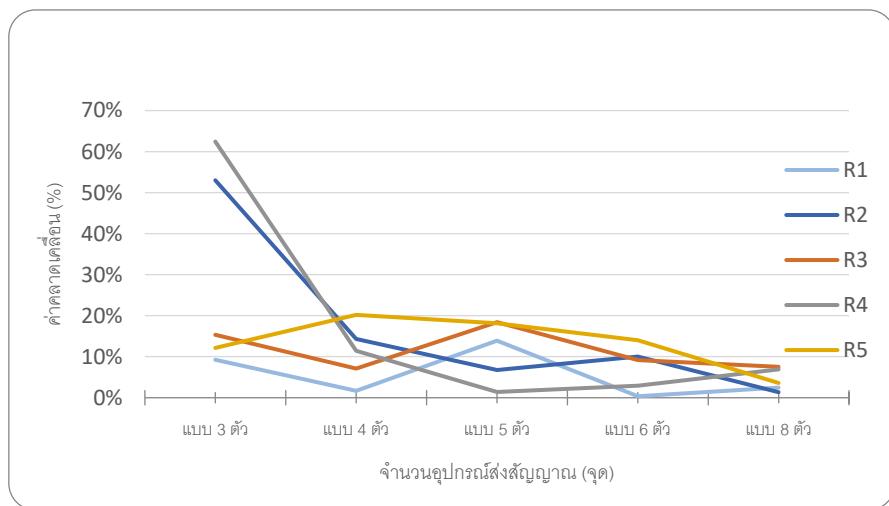
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
ระยะห่างจริง (m)	1.34	0.6	1.34	1.2	1.2	1.34	0.6	1.34
ค่ามัชยฐาน (m)	5.29	0.23	1.70	1.49	1.30	1.39	0.51	1.30
ผลต่างจากระยะจริง (m)	+3.95	-0.37	+0.36	+0.29	+0.10	+0.05	-0.09	-0.04
คิดเป็นร้อยละ (%)	294	61	27	24	9	4	14	3

จากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 5 จุด โดยใช้ตัวกรองแบบค่าลามานในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณนี้จะมีค่าสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทั้งนี้สามารถนำค่าสภาพแวดล้อมดังกล่าวมาคำนวณหากค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ได้ในแต่ละรูปแบบได้ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.54

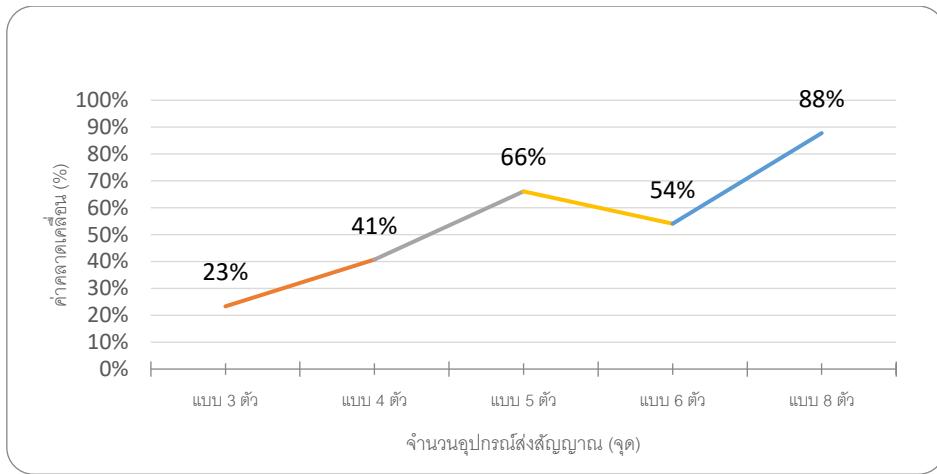
ตารางที่ 4.54 ค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ย กรณีใช้ตัวกรองแบบค่าลามาน ในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ

จำนวนอุปกรณ์ส่งสัญญาณ	3 ตัว	4 ตัว	5 ตัว	6 ตัว	8 ตัว
ค่าสภาพแวดล้อมเฉลี่ย	2.49	0.84	1.11	1.31	1.73

ทั้งนี้ จากการแสดงผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนจากการใช้ตัวกรองแบบค่าลามานในแต่ละรูปแบบนี้ หากในการนับที่ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัว มาคำนวณหาระยะห่างของอุปกรณ์รับสัญญาณในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบการรับสัญญาณนี้จะมีความคลาดเคลื่อนดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.6 และสามารถนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบได้ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณ กรณีที่ใช้ตัวกรองแบบค่าลามาน และใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด



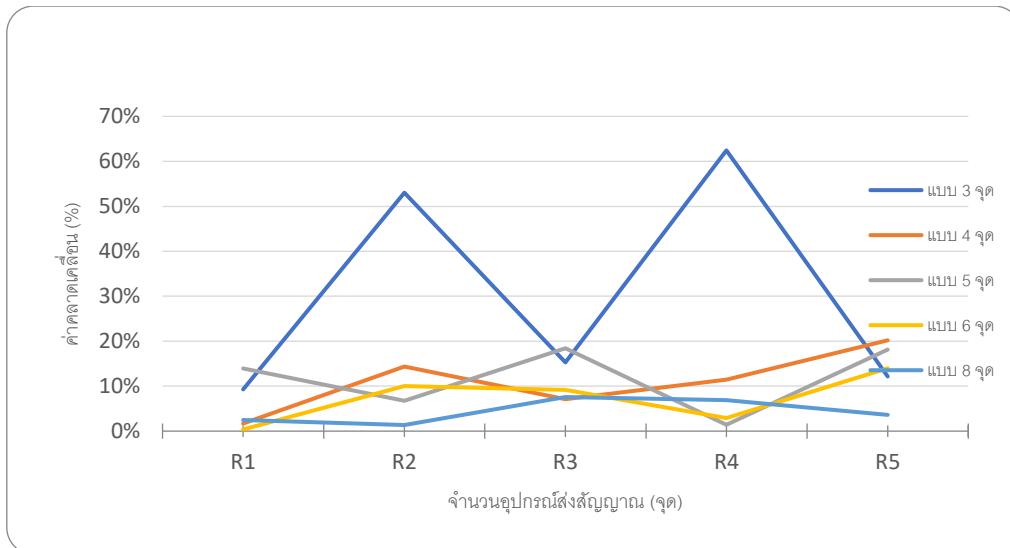
รูปที่ 4.7 ค่าความคิดเห็นในแต่ละรูปแบบ กรณีที่ใช้ตัวกรองแบบคลามาน และใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกตัวในการคำนวณหาพิกัด

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าในการทดสอบการรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณทุกรูปแบบจะส่งผลก่อให้เกิดความคิดเห็นสูง เช่นเดียวกันกับกรณีที่ทดสอบการรับสัญญาณแบบปกติผู้จัดทำจึงได้ใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะเพื่อเลือกให้คำนวณค่า RSSI ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์รับสัญญาณจำนวน 3 ตัวโดยเลือกอุปกรณ์ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.55

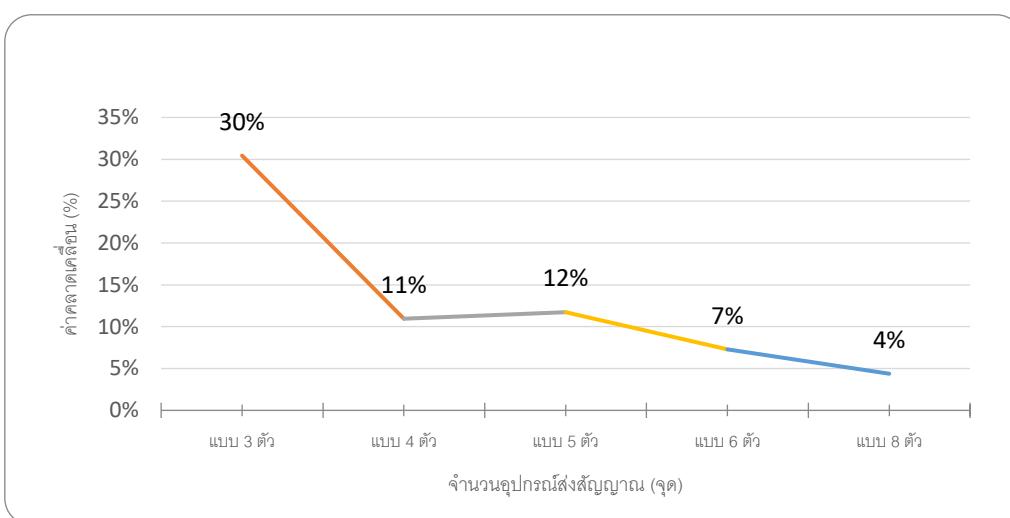
ตารางที่ 4.55 อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ในแต่ละจุดการรับสัญญาณ ในกรณีใช้ตัวกรองแบบคลามาน

	R1	R2	R3	R4	R5
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 3 ตัว	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S2/S3
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 4 ตัว	S1/S2/S3	S1/S2/S3	S1/S3/S4	S1/S2/S4	S1/S2/S3
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 5 ตัว	S1/S2/S4	S1/S3/S4	S1/S3/S5	S2/S4/S5	S1/S2/S4
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 6 ตัว	S2/S3/S5	S1/S4/S5	S2/S4/S6	S2/S3/S6	S1/S4/S6
อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 8 ตัว	S2/S7/S8	S1/S5/S6	S2/S6/S8	S3/S7/S8	S5/S6/S8

จากการทดสอบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณในการระบุตำแหน่งจำนวน 3 ตัวตามหลักทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ ในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบการรับสัญญาณนั้น จะมีความคิดเห็นคล้องดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.8 และสามารถนำมาคำนวณหาค่าความคิดเห็นในแต่ละรูปแบบดังรายละเอียดในรูปภาพที่



รูปที่ 4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณจากการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมระยะ กรณีที่ใช้ตัวกรองแบบคามาน

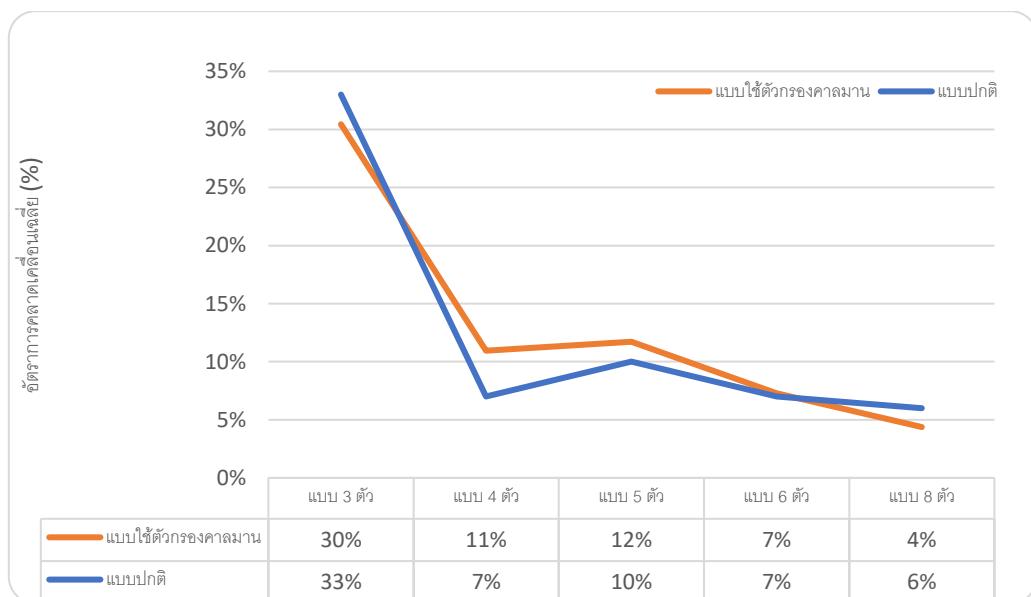


รูปที่ 4.9 ค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรูปแบบจากการใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะ และใช้ตัวกรองแบบคามาน

ผลลัพธ์จากการใช้ทฤษฎีการทำสามเหลี่ยมระยะในกรณีที่ใช้ตัวกรองคามานจะเห็นได้ว่าจากรูปภาพที่ 4.8 และรูปภาพที่ 4.9 จะเห็นผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งในแต่ละจุดทดสอบรับสัญญาณและในแต่ละรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ลดลง โดยผลจากการทดสอบนี้การใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัวจะให้ผลความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับในรูปแบบการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบอื่น ๆ โดยผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับสัดส่วนของสนามแล้วสามารถคิดออกมาได้ที่ร้อยละ 4

โดยผลดังกล่าวนี้จะสามารถสรุปได้ว่า หากกรณีใช้ตัวกรองแบบคามามา (Kalman Filter) ในการกรองค่า RSSI นั้นการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จากการใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมระยะจะให้ความแม่นยำที่สุด

จากผลการทดสอบการรับสัญญาณในแต่ละรูปแบบ ทั้งแบบปกติและแบบใช้ตัวกรองแบบคามามา จะพบว่าอัตราการคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการรับสัญญาณทุกจุดของการใช้ตัวกรองแบบคามามาจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการรับสัญญาณแบบปกติ โดยในการกรณีการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จะมีอัตราการคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการรับสัญญาณทุกจุดที่ร้อยละ 4 ซึ่งน้อยกว่าการรับสัญญาณแบบปกติที่มีอัตราการคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 6 ดังรายละเอียดในรูปภาพที่ 4.10 จึงสามารถสรุปได้ว่าในการใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว การรับสัญญาณโดยใช้ตัวกรองแบบคามามาจะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมน้อยกว่าแบบปกติ และมีความแม่นยำในการรับสัญญาณมากกว่าแบบการรับสัญญาณแบบปกติ



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบอัตราการคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมทุกจุด ของการรับสัญญาณแบบปกติ และใช้ตัวกรองแบบคามามา

4.4. ผลการทดสอบการรับสัญญาณจากการปรับเปลี่ยนขนาดความสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

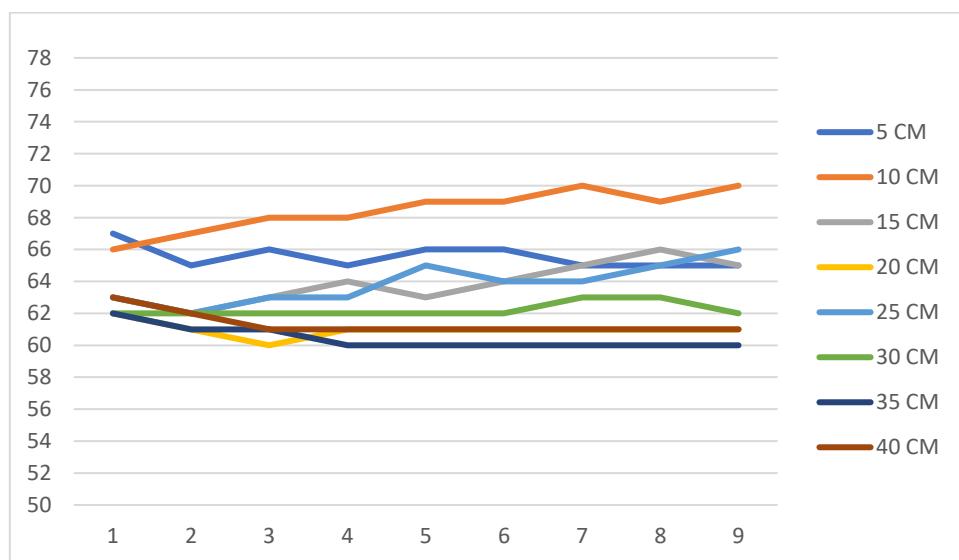
4.4.1. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ ในระยะ 1 เมตร

จากการทดสอบการรับสัญญาณ โดยติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 1 ตัว ในระยะ 1 เมตร และเพิ่มความสูงเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เซนติเมตร มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.4.1.1. ในการทดสอบการรับสัญญาณแบบปกติ ผลการรับค่า RSSI ในแต่ละระยะจะมีรายละเอียดดังในตารางที่ 4.56 และจากผลในตารางดังกล่าวสามารถนำมาสรุปเป็นกราฟแสดงผลลัพธ์การรับสัญญาณแบบปกติได้ในรูปภาพที่ 4.11 และแบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan ในรูปภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.56 ผลการรับค่า RSSI ในแต่ละระยะจำนวน 9 ครั้ง

ระยะ	5 cm.	10 cm.	15 cm.	20 cm.	25 cm.	30 cm.	35 cm.	40 cm.
ครั้งที่								
1	-67	-66	-63	-62	-63	-62	-62	-63
2	-65	-67	-62	-61	-62	-62	-61	-62
3	-66	-68	-63	-60	-63	-62	-61	-61
4	-65	-68	-64	-61	-63	-62	-60	-61
5	-66	-69	-63	-61	-65	-62	-60	-61
6	-66	-69	-64	-61	-64	-63	-60	-61
7	-65	-70	-65	-61	-64	-63	-60	-61
8	-65	-69	-66	-61	-65	-62	-60	-61
9	-65	-70	-65	-61	-66	-62	-60	-61



รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์การรับสัญญาณแบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan ในระดับความถี่ตั้งแต่ 5 – 40 เซนติเมตร

จากรูปภาพที่ 4.11 จะพบว่าในระดับความสูงที่ 35 เมตร มีค่า RSSI ที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่น ๆ จึงสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ความสูง 35 เมตร ค่า RSSI ที่ได้รับในระยะ 1 เมตรนั้นจะมีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดและมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยมีค่ามัธยฐานจากการรับสัญญาณที่ -61 dB

4.5. ผลการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล และการทดสอบการระบุตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง

4.5.1. การทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จากการทดสอบดังรายละเอียดในข้อที่ 3.9.1 สามารถอภิปรายผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

4.5.1.1. ที่พิกัด (600,1200) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.57 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,1200)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(715,996)	(-115,204)	234.18	5	17
2	(505,1054)	(95,146)	174.19	4	12
3	(566,1088)	(34,112)	117.05	1	9
4	(640,993)	(-40,207)	210.83	2	17
5	(785,1125)	(-185,75)	199.62	8	6
6	(776,1003)	(-176,197)	264.17	7	16
7	(657,1117)	(-57,83)	100.69	2	7
8	(823,985)	(-223,215)	309.76	9	18
9	(642,1023)	(-42,177)	181.91	2	15
10	(547,1135)	(53,65)	83.87	2	5
Average	(665.6,1051.9)	(-65.6,148.1)	187.63	4.25	12.34

4.5.1.2. ที่พิกัด (1200,600) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.58

ตารางที่ 4.58 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,600)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1145,542)	(55,58)	79.93	2	5
2	(1153,652)	(47,-52)	70.09	2	4
3	(1043,552)	(157,48)	164.17	7	4
4	(1172,535)	(28,65)	70.77	1	5
5	(1082,624)	(118,-24)	120.42	5	2
6	(1165,571)	(35,29)	45.45	1	2
7	(1143,604)	(57,-4)	57.14	2	0
8	(1122,642)	(78,-42)	88.59	3	4
9	(1078,647)	(122,-47)	130.74	5	4
10	(1156,579)	(44,21)	48.75	2	2
Average	(1125.9,594.8)	(74.1,5.2)	87.61	3.08	3.25

4.5.1.3. ที่พิกัด (1800,600) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.59

ตารางที่ 4.59 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,600)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1520,548)	(280,52)	284.79	12	4
2	(1635,516)	(165,84)	185.15	7	7
3	(1493,684)	(307,-84)	318.28	13	7
4	(1509,571)	(291,29)	292.44	12	2
5	(1757,617)	(43,-17)	46.24	2	1
6	(1606,560)	(194,40)	198.08	8	3
7	(1593,480)	(207,-120)	239.27	9	10
8	(1576,456)	(224,-144)	266.29	9	12
9	(1757,684)	(43,-84)	94.37	2	7
10	(1734,560)	(66,40)	77.16	3	3
เฉลี่ย	(1618,567.6)	(182,32.4)	200.21	7.58	5.78

จากการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล 1 ตำแหน่ง สามารถสรุปเพื่อหาความคาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง 1 ตำแหน่งได้ดังตารางที่ 4.60

ตารางที่ 4.60 ผลความคาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเมื่อปรับเทียบกับพิกัดจริงในการระบุ 1 ตำแหน่ง

พิกัดที่ทดสอบ	ความคาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X (ร้อยละ)	ความคาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน Y (ร้อยละ)
(600,1200)	4.25	12.34
(1200,600)	3.08	3.25
(1800,600)	7.58	5.78
เฉลี่ยรวม	4.97	7.12

4.5.2. การทดสอบการระบุตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง

จากการทดสอบดังรายละเอียดในข้อที่ 3.9.2 สามารถอภิปรายผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

4.5.2.1. ที่พิกัด (600,1200) และ (1800,0) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคาดเคลื่อนที่พิกัด (600,1200) ได้ดังตารางที่ 4.61 และที่พิกัดที่ (1800,0) ได้ดังตารางที่ 4.62

ตารางที่ 4.61 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,1200)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คาดเคลื่อน	ระยะทางที่คาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(523,955)	(280,52)	256.82	3	20
2	(503,947)	(165,84)	268.87	4	21
3	(611,1033)	(307,-84)	167.36	0	14
4	(598,966)	(291,29)	234.01	0	20
5	(530,1001)	(43,-17)	210.95	3	17
6	(585,989)	(194,40)	211.53	1	18
7	(546,1061)	(207,-120)	149.12	2	12
8	(632,1055)	(224,-144)	148.49	1	12
9	(687,1069)	(43,-84)	157.26	4	11
10	(738,1033)	(66,40)	216.64	6	14
เฉลี่ย	(595.9,1010.9)	(182,32.4)	202.10	2.4	15.75

ตารางที่ 4.62 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,0)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1707,205)	(93,-205)	225.11	4	17
2	(1344,280)	(456,-280)	535.10	19	23
3	(1407,256)	(393,-256)	469.03	16	21
4	(1714,125)	(86,-125)	151.73	4	10
5	(1622,174)	(178,-174)	248.92	7	15
6	(1604,130)	(196,-130)	235.19	8	11
7	(1921,130)	(-121,-130)	177.60	5	11
8	(1824,130)	(-24,-130)	132.20	1	11
9	(1824,130)	(-24,-130)	132.20	1	11
10	(1877,176)	(-77,-176)	192.11	3	15
เฉลี่ย	(1684.4,173.6)	(115.6,-173.6)	249.92	6.87	14.47

4.5.2.2. ที่พิกัด (600,600) และ (1800,600) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจาก การทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่พิกัด (600,600) ได้ดังตารางที่ 4.63 และที่พิกัด ที่ (1800,600) ได้ดังตารางที่ 4.64

ตารางที่ 4.63 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,600)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(499,681)	(101,-81)	129.47	4	7
2	(587,585)	(13,15)	19.85	1	1
3	(561,526)	(39,74)	83.65	2	6
4	(516,548)	(84,52)	98.79	4	4
5	(520,544)	(80,56)	97.65	3	5
6	(411,606)	(189,-6)	189.10	8	1
7	(497,656)	(103,-56)	117.24	4	5
8	(575,598)	(25,2)	25.08	1	0
9	(478,518)	(122,88)	150.43	5	7
10	(668,468)	(-68,135)	151.16	3	11
เฉลี่ย	(531.2,572.1)	(68.8,27.9)	106.24	3.43	4.71

ตารางที่ 4.64 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1800,600)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1606,464)	(194,136)	236.92	8	11
2	(1547,609)	(253,-9)	253.16	11	1
3	(1580,485)	(220,115)	248.24	9	10
4	(1549,399)	(251,201)	321.56	10	17
5	(1617,665)	(183,-65)	194.20	8	5
6	(1636,709)	(164,-109)	196.92	7	9
7	(1677,592)	(123,8)	123.26	5	1
8	(1708,582)	(92,18)	93.74	4	2
9	(1768,496)	(32,-104)	108.81	1	9
10	(1608,451)	(192,149)	243.03	8	12
เฉลี่ย	(1629.6,545.2)	(170.4,54.8)	201.99	7.1	7.61

4.5.2.3. ที่พิกัด (1200,1100) และ (1200,100) โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจาก การทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนที่พิกัด (1200,1100) ได้ดังตารางที่ 4.65และที่พิกัด ที่ (1200,100) ได้ดังตารางที่ 4.66

ตารางที่ 4.65 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,1100)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1027,955)	(173,145)	225.73	7	12
2	(1122,1039)	(78,61)	99.02	3	5
3	(1022,989)	(178,111)	209.77	7	9
4	(985,1050)	(215,50)	220.74	9	4
5	(1021,983)	(179,117)	219.85	7	10
6	(1211,1011)	(-11,89)	89.68	0	7
7	(1005,1050)	(195,50)	201.31	8	4
8	(1043,1103)	(153,-3)	153.03	6	0
9	(1058,1022)	(142,78)	162.01	6	7
10	(1006,948)	(194,152)	246.45	8	13
เฉลี่ย	(1050.4,1015)	(149.6,85)	182.16	6.325	7.13

ตารางที่ 4.66 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,100)

ครั้งที่	ผลการระบุ ตำแหน่ง	พิกัดที่ คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่ คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาด เคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาด เคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1280,133)	(-80,-33)	86.54	3	3
2	(1354,121)	(-154,-21)	155.43	6	2
3	(1211,89)	(-11,11)	15.56	0	1
4	(1311,156)	(-111,-56)	124.33	5	5
5	(1152,152)	(48,-52)	70.77	2	4
6	(1361,321)	(-161,-221)	273.43	7	18
7	(1233,118)	(-48,-251)	37.59	1	2
8	(1248,351)	(-84,-174)	255.55	2	21
9	(1284,274)	(-134,-89)	193.21	4	15
10	(1334,189)	(-134,-89)	160.86	6	7
เฉลี่ย	(1276.8,190.4)	(-76.8,-90.4)	137.33	3.6	7.71

จากการทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล 2 ตำแหน่ง สามารถสรุปเพื่อหาความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง 2 ตำแหน่งได้ดังตารางที่ 4.67

ตารางที่ 4.67 ผลความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเมื่อปรับเทียบกับพิกัดจริงในการระบุ 2 ตำแหน่ง

พิกัดที่ทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน Y (ร้อยละ)
(600,1200)	2.4	15.75
(600,600)	3.43	4.71
(1200,1100)	6.235	7.13
(1800,0)	6.87	14.47
(1800,600)	7.1	7.61
(1200,100)	3.6	7.71
เฉลี่ยรวม	4.94	9.56

4.6. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ ในสถานะขนาดอื่น ๆ

4.6.1. ผลทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 0.6×1.2 เมตร ที่พิกัด (600,300)

โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.68

ตารางที่ 4.68 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (600,300)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(535,298)	(65,2)	65.03	5	0
2	(543,323)	(57,-23)	61.47	5	4
3	(535,298)	(65,2)	65.03	5	0
4	(520,268)	(80,32)	86.16	7	5
5	(539,304)	(61,-4)	61.13	5	1
6	(535,298)	(65,2)	65.03	5	0
7	(551,280)	(49,20)	52.92	4	3
8	(530,298)	(70,2)	70.03	6	0
9	(535,375)	(65,-75)	99.25	5	13
10	(553,299)	(47,1)	47.01	4	0
เฉลี่ย	(537.6,304.1)	(62.4,-4.1)	67.31	5.2	2.72

4.6.2. ผลทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 1.2×4.8 เมตร ที่พิกัด (2400,600)

โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.69 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (2400,600)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ความคลาดเคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาดเคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(2211,661)	(189,-61)	198.60	4	5
2	(2323,577)	(77,23)	80.36	2	2
3	(2475,530)	(-75,70)	102.59	2	6
4	(2372,471)	(28,129)	132.18	1	11
5	(2248,509)	(152,91)	177.16	3	8
6	(2158,718)	(242,-118)	269.24	5	10
7	(2420,637)	(-20,-37)	42.06	0	3
8	(2753,559)	(-353,41)	355.37	7	3
9	(2343,680)	(57,-80)	98.23	1	7
10	(2133,559)	(267,41)	270.13	6	3
เฉลี่ย	(2343.6,590.1)	(56.4,9.9)	172.57	3.04	5.75

4.6.3. ผลทดสอบการรับสัญญาณ ในพื้นที่ขนาด 2.4 x 2.4 เมตร ที่พิกัด (1200,1200)

โปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงค่าพิกัดจากการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง และคำนวณหาความคลาดเคลื่อนได้ ดังตารางที่ 4.70

ตารางที่ 4.70 ผลการทดสอบการรับสัญญาณที่พิกัด (1200,1200)

ครั้งที่	ผลการระบุตำแหน่ง	พิกัดที่ คลาดเคลื่อน	ระยะทางที่ คลาดเคลื่อน	ความคลาด เคลื่อนในแกน X (ร้อยละ)	ความคลาด เคลื่อนในแกน Y (ร้อยละ)
1	(1009,1295)	(191,-95)	213.32	8	4
2	(1041,1235)	(159,-35)	162.81	7	1
3	(993,1237)	(207,-37)	210.28	9	2
4	(1101,1213)	(99,-13)	99.85	4	1
5	(951,1245)	(249,-45)	253.03	10	2
6	(993,1335)	(207,-135)	247.13	9	6
7	(1225,1117)	(-55,83)	99.57	2	3
8	(951,1245)	(249,-45)	253.03	10	2
9	(1122,1007)	(78,193)	208.17	3	8
10	(1029,1452)	(171,-252)	304.54	7	11
เฉลี่ย	(1044.5,1238.1)	(155.5,-38.1)	205.17	6.94	3.89

จากการทดสอบการระบุตำแหน่งในรูปแบบต่าง ๆ จะสามารถสรุปความคลาดเคลื่อนได้ดังต่อไปนี้

- การทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 4.97 และแกน Y ที่ร้อยละ 7.12
- การทดสอบการระบุตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 4.94 และแกน Y ที่ร้อยละ 9.56
- การทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 0.6×1.2 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 5.2 และแกน Y ที่ร้อยละ 2.72
- การทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 1.2×4.8 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 3.04 และแกน Y ที่ร้อยละ 5.75
- การทดสอบการระบุตำแหน่งในสนามขนาด 2.4×2.4 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 6.94 และแกน Y ที่ร้อยละ 3.89

บทที่ 5

บทสรุป

5.1. สรุปผลการทดสอบการรับสัญญาณ และการระบุตำแหน่ง

จากการทดสอบการรับสัญญาณในแต่ละรูปแบบ สามารถนำมาสรุปเป็นผลของการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

5.1.1. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ ของการรับสัญญาณแบบปกติ พบว่า การใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จะทำให้การรับสัญญาณเพื่อระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมทุกจุดที่ร้อยละ 6

5.1.2. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ โดยใช้ตัวกรองแบบคามามาน พบว่า การใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว จะทำให้การรับสัญญาณเพื่อระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทุกจุดที่ร้อยละ 4 และจากการทดสอบดังกล่าวเนี้ย จึงสามารถสรุปได้อีกว่า ในการรับสัญญาณโดยใช้ตัวกรองแบบคามามาน จะให้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการรับสัญญาณแบบปกติ

5.1.3. ผลการทดสอบการรับสัญญาณ จากการปรับเปลี่ยนขนาดความสูงของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ พบว่า ในระดับความสูงที่ 35 เมตร ดิเมตร จะมีค่า RSSI ที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับความสูงอื่น ๆ ในระดับ 1 เมตร โดยมีค่ามัธยฐานจากการรับสัญญาณเป็น -61 dB

5.1.4. ผลทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล พบว่า ในการระบุตำแหน่ง 1 ตำแหน่ง ในโปรแกรมแสดงผล จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมในแกน X ที่ร้อยละ 4.97 และแกน Y ที่ร้อยละ 7.12 และการระบุตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมในแกน X ที่ร้อยละ 4.94 และแกน Y ที่ร้อยละ 9.56

5.1.5. ผลการทดสอบการรับสัญญาณในพื้นที่ขนาดอื่น ๆ พบว่า ในการระบุตำแหน่งที่พิกัด (600,300) ในสนามขนาด 0.6×1.2 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 5.2 และแกน Y ที่ร้อยละ 2.72 ที่พิกัด (2400,600) ในสนามขนาด 1.2×4.8 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 3.04 และแกน Y ที่ร้อยละ 5.75 และที่พิกัด (1200,1200) ในสนามขนาด 2.4×2.4 เมตร จะมีอัตราความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแกน X ที่ร้อยละ 6.94 และแกน Y ที่ร้อยละ 3.89

5.2. ผลการดำเนินการโครงการ

ในการดำเนินโครงการนี้ ผู้จัดทำได้ดำเนินการสร้างระบบระบุตำแหน่ง และทำการทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ เสร็จสิ้นแล้ว ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการดำเนินการโครงการ

ประเภทงาน	รายการ	สถานะ
ออกแบบและตั้งค่า อุปกรณ์	ออกแบบระบบขั้นต้น และตรวจสอบความบกพร่องของอุปกรณ์	ดำเนินการแล้ว
	ทดสอบการรับ และการส่งสัญญาณของอุปกรณ์	ดำเนินการแล้ว
ทดสอบการทำงาน ของอุปกรณ์	ทดสอบการสร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณมากกว่า 1 ตัว	ดำเนินการแล้ว
	ทดสอบการสร้างระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณมากกว่า 1 ตัว	ดำเนินการแล้ว
ทดสอบการรับ สัญญาณ	พัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ และเก็บไขข้อมูลพิริมาณ	ดำเนินการแล้ว
	ทดสอบความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง	ดำเนินการแล้ว
	ทดสอบการตรวจสอบตำแหน่งที่มีมากกว่า 1 ตำแหน่ง	ดำเนินการแล้ว
ทดสอบการระบุ ตำแหน่งและแสดงผล	พัฒนาโปรแกรมการแสดงผล	ดำเนินการแล้ว
	ทดสอบการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล พร้อมเก็บไขข้อมูลพิริมาณ	ดำเนินการแล้ว
	การทดสอบการระบุตำแหน่ง ในสนามขนาดอื่น ๆ	ดำเนินการแล้ว

5.3. ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในการดำเนินการ โครงการในปัจจุบัน ผู้จัดทำได้พบปัญหาในการดำเนินการ และแนวทางการแก้ไขปัญหาในปัจจุบัน ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1. ความเร็วในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์

ปัญหาที่พบ เนื่องจากผู้จัดทำได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA2560 ใน การรับค่า RSSI จากอุปกรณ์สัญญาณและประมวลผลระยะห่างในแต่ละจุด จากการใช้อุปกรณ์ ดังกล่าวพบว่าการนำมาใช้งานยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอเนื่องจากการรับผลลัพธ์ คำนวณ และ แสดงผลนั้นมีขั้นตอนในการทำงานจำนวนมาก ได้แก่ การแยกข้อมูลเป็นหัวข้อต่าง ๆ การ คำนวณหาระยะห่างจาก RSSI การกรองข้อมูลโดยใช้ตัวกรองแบบคามานและการคำนวณหาจุด กึ่งกลางของอุปกรณ์ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้ส่งผลให้อุปกรณ์ต้องมีการประมวลผลหลายขั้นตอนทำให้การ แสดงผลลัพธ์ที่ได้ทำได้ช้าและการแสดงผลไม่ตรงกับเวลาจริงที่ได้รับผลลัพธ์เข้ามา

แนวทางการแก้ไขปัญหา ในปัจจุบันผู้จัดทำได้แบ่งการประมวลผลออกใหม่โดยแบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

6. ส่วนที่ประมวลผลในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลใน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่เฉพาะในส่วนของการรับข้อมูลการแยกข้อมูลเป็น หัวข้อต่าง ๆ และการใช้ตัวกรองแบบคามานในการประมวลผลข้อมูล
7. ส่วนที่ประมวลผลในโปรแกรมการแสดงผลจะทำหน้าที่คำนวณหาจุดพิกัดในแกน X และ Y จากค่า RSSI ที่ได้รับจากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วนำมาแสดงผล

5.3.2. การตั้งค่าอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module

ปัญหาที่พบ เนื่องจากอุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth 4.0 Wireless Module ที่ ผู้จัดทำใช้ในโครงการนี้นั้น เป็น Module ที่มีการติดตั้ง Firmware รุ่น HMSoft V605 ซึ่งจะมีรูปแบบ คำสั่งในการใช้งานดังต่อไปนี้ ในตารางที่ 3.2 ซึ่งการจัดซื้ออุปกรณ์ดังกล่าวพบว่าอุปกรณ์ที่มีขายใน ตามห้องตลาดทั่วไปนั้น จะมี Firmware ที่ต่างกันซึ่งส่งผลให้คำสั่งที่ใช้ไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้ และรวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้แบบชนิดเดียวกันแต่มีการสั่งชื่อในเวลาต่างกัน ก็จะใช้ Firmware ที่ใหม่ กว่า ทำให้บางคำสั่งไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้

แนวทางการแก้ไขปัญหา จากปัญหาดังกล่าวโดยหลักแล้วถือว่าเป็นปัญหาจากตัว Firmware ที่ใช้งานกับอุปกรณ์ผู้จัดทำจึงได้ค้นหาโปรแกรมและไฟล์ของ Firmware HMSoft V605 และทำการอัพเดทให้กับอุปกรณ์รับสัญญาณทุกด้วย ให้สามารถรับคำสั่งเดียวกันและมีระบบการทำงานใหม่เป็นแบบเดียวกัน ได้เพื่อให้การพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถพัฒนาได้ง่ายขึ้นและมีรูปแบบข้อมูลที่นำไปใช้เป็นแบบเดียวกัน

5.3.3. ความเร็วของการค้นหาและรับสัญญาณ ของอุปกรณ์รับสัญญาณ

ปัญหาที่พบ ด้วยความสามารถการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณนี้จะมีข้อจำกัดในการค้นหาสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณเนื่องจากการค้นหาของอุปกรณ์นี้จะมิได้ทำงานในลักษณะการค้นหาตลอดเวลา แต่จะเป็นการส่งคำสั่ง “AT+DISI?” ไปทีละเรื่อย ๆ เพื่อให้อุปกรณ์ทำการค้นหา และรับสัญญาณของอุปกรณ์ส่งสัญญาณในแต่ละตัวและการส่งคำสั่งดังกล่าวนี้ ทำให้ข้อมูลที่ส่งกลับมายังไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นผลลัพธ์ของการค้นหาสัญญาณและข้อมูลที่ได้รับจากการทำงานในช่วงเวลาหนึ่งที่ได้ส่งคำสั่งออกไป ทำให้ค่า RSSI ที่ได้นั้นไม่ใช่ค่าที่ Realtime และเวลาในการค้นหาสัญญาณในการส่งคำสั่ง 1 ครั้งนั้นจะใช้เวลาที่ไม่แน่นอนโดยถ้าหากในพื้นที่มีอุปกรณ์ Bluetooth จำนวนมากก็จะใช้เวลาในการค้นหาและแสดงผลมากขึ้นไปด้วย

แนวทางการแก้ไขปัญหา ผู้จัดทำได้ปรับแต่งการแสดงผลลัพธ์การรับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ให้มีการแสดงแค่เฉพาะชื่ออุปกรณ์และค่า RSSI ที่ได้มาเท่านั้นทำให้เวลาในการแสดงผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลง แต่การค้นหาสัญญาณจากการส่งคำสั่ง “AT+DISI?” นั้น นับว่าเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ต้องใช้คำสั่งเท่านั้นในการค้นหาและรับสัญญาณ ทำให้ไม่สามารถแก้ไขการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณได้

5.3.4. ความเร็วและความคลาดเคลื่อนการใช้งานตัวกรองแบบคามามาในไมโครคอนโทรลเลอร์

ปัญหาที่พบ ผู้จัดทำได้ทำการใช้ Library Kalman Filter ใน Arduino IDE เพื่อเขียนโปรแกรมการกรองข้อมูลแบบคามามาโดยผลจากการใช้งานพบว่าการกรองข้อมูลทำได้ช้าเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์รับสัญญาณทำงานช้าดังปัญหาที่พบในข้อ 5.3.3 ทำให้ผลลัพธ์จากการกรองข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ไม่ Realtime และก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการรับข้อมูลที่ได้เนื่องจากตัวกรองจะช่วยทำให้ลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง ทำให้มีอุปกรณ์รับสัญญาณได้รับค่า RSSI ใหม่ซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องจะยังไม่เปลี่ยนเป็นค่าใหม่ทันทีทำให้ข้อมูลที่ได้รับดังกล่าวหนึ่น มีค่าคลาดเคลื่อนสูง และไม่สามารถนำไปใช้เพื่อรับคำแนะนำได้อย่างถูกต้อง

แนวทางการแก้ไขปัญหา จากปัญหาการทำงานข้าของตัวกรองความผิดจัดทำได้ทำการปรับแต่งการทำงาน Measurement Noise Covariance โดยลดค่าเริ่มต้นลงจาก 32 เป็น 8 ทำให้การกรองข้อมูลสามารถทำได้เร็วขึ้น

5.3.5. การเขียนโปรแกรมเพื่อระบุตำแหน่งในโปรแกรมแสดงผล

ปัญหาที่พบ ผู้จัดทำได้พัฒนาโปรแกรมแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Unity ซึ่งได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับการคำนวนหาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์และหาพิกัดภายในโปรแกรมแสดงผลแต่เนื่องจากค่า RSSI ที่ได้รับของอุปกรณ์ส่งสัญญาณแต่ละตัวมีค่าที่ไม่คงที่ทำให้โปรแกรมในส่วนดังกล่าวไม่สามารถที่จะคำนวนหาระยะห่างได้อย่างถูกต้อง และไม่สามารถคำนวนหาพิกัดที่ถูกต้องได้

แนวทางการแก้ไขปัญหา ผู้จัดทำได้พัฒนาฟังก์ชันภายในโปรแกรมเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าสภาพแวดล้อม (Environment) โดยจะปรับเปลี่ยนค่าทุกครั้งเมื่อเริ่มต้นโปรแกรมทำให้ผลลัพธ์การคำนวนหาระยะห่างดีขึ้น แต่ยังไม่ถูกต้อง และยังไม่สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณเพื่อใช้หาพิกัดได้

5.4. ผลการเรียนรู้จากการดำเนินโครงการ

5.4.1. ทฤษฎี และอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องในการสร้างระบบระบุตำแหน่ง

จากการพัฒนาโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ และโปรแกรมแสดงผลนี้ ทำให้ผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อพัฒนาระบบระบุตำแหน่ง ได้แก่ ทฤษฎี Triangulation และ Trilateration และการศึกษาตัวกรองแบบความมานะที่จะช่วยให้ผลลัพธ์ของการรับสัญญาณนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวมีประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบที่เกี่ยวข้องในอนาคตได้

5.4.2. ข้อจำกัดของอุปกรณ์

จากการดำเนินการโครงการนี้ ทำให้ผู้จัดทำได้พบปัญหาการใช้งานของอุปกรณ์ ทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์รับสัญญาณ HM-10 Bluetooth Wireless Module และอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ReYeBu NRF51822 ซึ่งการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งให้มีประสิทธิภาพได้ ซึ่งจากปัญหาที่พบนี้ ทำให้ได้ทราบถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในแต่ละประเภท และเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อทำระบบระบุตำแหน่งในอนาคตได้

5.4.3. การแก้ไขปัญหา

ในระหว่างการออกแบบ ทดสอบ และสรุปผลการทดสอบนั้น พบว่ามีปัญหาในการดำเนินการต่างๆ ที่ไม่คาดคิดจำนวนมาก เช่น การทำงานที่ซ้ำกันไปของอุปกรณ์ในโครงการโทรศัพท์ การคืนหาสัญญาณของอุปกรณ์รับสัญญาณที่ต้องใช้เวลานาน ต่อการคืนหา 1 ครั้ง และรวมไปถึงการตั้งค่าอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ ซึ่งจากปัญหาที่กล่าวมานี้ ทำให้ผู้จัดทำได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ และปรับเปลี่ยนการทำงานของโปรแกรมให้มีความเหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์มากขึ้น

5.4.4. การทำงานร่วมกัน

จากการจัดทำโครงการนี้ ทำให้ผู้จัดทำได้เรียนรู้ในการทำงานร่วมกัน เนื่องจากผู้จัดทำทั้ง 2 มีเวลาที่จะสามารถดำเนินโครงการได้ไม่ตรงกัน จึงทำให้ต้องวางแผนในการดำเนินโครงการให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถยังดำเนินงานต่อไปได้ รวมไปถึงความรู้และความสามารถของผู้จัดทำทั้ง 2 ที่มีความถนัดไม่เหมือนกัน ทำให้การดำเนินโครงการในครั้งนี้ต้องมีการวางแผนการแบ่งงานให้เหมาะสมของผู้จัดทำแต่ละคน และภาระหน้าที่ต่างๆ ทำให้ผู้จัดทำทั้ง 2 สามารถดำเนินการโครงการร่วมกันได้เป็นอย่างดี

5.5. ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินโครงการในอนาคต

5.5.1. ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้งานให้เหมาะสมมากขึ้น ให้สามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และการคืนหาสัญญาณสามารถทำงานได้เร็วกว่านี้

5.5.2. ปรับปรุงโปรแกรมการแสดงผลให้สามารถแสดงผลได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

5.5.3. ปรับปรุงการตั้งค่าตัวกรองแบบคลาสิก ให้ทำงานให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

5.5.4. ปรับปรุงรูปแบบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ ให้เป็นการเชื่อมต่อแบบไร้สาย เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Estimote, 2017, “**Estimote Beacons with UWB and Automapping are now Shipping**” , Estimote.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://blog.estimote.com/post/160804360410/estimote-beacons-with-uwb-and-automapping-are-now>, [วันที่สืบค้น 21 กันยายน 2561]
- [2] Austin Blackstone, 2015, “**Understanding the different types of BLE Beacons**”, arm embed [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://os.mbed.com/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/>, [วันที่สืบค้น 22 กันยายน 2561]
- [3] Wikipedia, 2018, “**iBeacon**”, Wikipedia.org [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://en.wikipedia.org/wiki/iBeacon>, [วันที่สืบค้น 22 กันยายน 2561]
- [4] Unity, 2018, “**System Requirements for Unity 2018.2**”, Unity.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://unity3d.com/unity/system-requirements>, [วันที่สืบค้น 23 กันยายน 2561]
- [5] Estimote, 2016, “**Introducing the wold's first BLE mesh networking that lasts years on battery power**”, Estimote.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://blog.estimote.com/post/153812538740/introducing-the-worlds-first-ble-mesh-networking>, [วันที่สืบค้น 23 กันยายน 2561]
- [6] Chin-Heng L., Yahong W., Boon-Poh Ng. and Chong-MengS., 2007, “**A Real-Time Indoor WiFi Localization System Utilizing Smart Antennas**”, IEEE Transactions on Consumer Electronics [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4266950>, [วันที่สืบค้น 23 กันยายน 2561]
- [7] Unity, 2018, “**Learn about programming from scratch, then progress to create detailed code for your projects**”, Unity.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก <https://unity3d.com/learn/tutorials/s/scripting>, [วันที่สืบค้น 23 กันยายน 2561]
- [8] Bilal, 2017, “**Arduino programming tutorial for beginners**”, Microcontrollers Lab [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก : http://microcontrollerlab.com/arduino-programming-tutorial-beginners/#Control_Structure_in_Arduino_programming_in_C_Language, [วันที่สืบค้น 28 กันยายน 2561]
- [9] TerryKing, 2012, “**Arduino / YourDuino MEGA 1280 and 2560 Diagram and Pinouts**”, Arduino.info [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://arduinoinfo.wikispaces.com/page/diff/MegaQuickRef?v1=334918390&v2=603923192>, [วันที่สืบค้น 28 กันยายน 2561]

- [10] Maker.IO Staff, 2018, “**Introduction to the Arduino IDE**”, MakerIO [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://www.digikey.com/en/maker/blogs/2018/introduction-to-the-arduino-ide>, [วันที่สืบค้น 28 กันยายน 2561]
- [11] armins2, 2015, “**Make iBeacon With HM10/HM11**”, Instructables [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://www.instructables.com/id/make-iBeacon/>, [วันที่สืบค้น 1 พฤษภาคม 2561]
- [12] ภาครชัย สารนเสาวภาคย์, ชัชชัย คุณม้า, 2009, “ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4”, ecti-thailand [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก http://www.ecti-thailand.org/assets/paper/s/4_pub_1.pdf, [วันที่สืบค้น 1 พฤษภาคม 2561]
- [13] กฤษฎา แสงเพ็ชรส่อง, 2004, “**แนะนำ Kalman Filter Algorithm**”, aimagin [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: https://www.aimagin.com/downloads/dl/file/id/64/kalman_filter.pdf, [วันที่สืบค้น 28 ตุลาคม 2561]
- [14] Bluecham Admin, 2018, “**How to configure your BC068 beacon using RL Beacon**”, Bluecharm Beacon System [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://bluecharmbeacons.com/how-to-configure-your-bc068-beacon-using-rl-beacon/>, [วันที่สืบค้น 2 พฤษภาคม 2561]
- [15] Bachagas, 2014, “**Kalman.h**”, Github.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://github.com/bachags/Kalman>, [วันที่สืบค้น 26 พฤษภาคม 2561]
- [16] Arik Yavilevich, 2016, “**HM-10 or CC41-A module? Automatic Arduino BLE module identification**”, blog.yavilevich.com [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://blog.yavilevich.com/2016/12/hm-10-or-cc41-a-module-automatic-arduino-ble-module-identification/>, [วันที่สืบค้น 27 พฤษภาคม 2561]
- [17] Jinan Huamao Technology Co., Ltd., 2017, “**HM-10-C-A Module**”, jnihuamao.cn [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://www.jnihuamao.cn/bluetooth.asp?id=1>, [สืบค้นวันที่ 26 พฤษภาคม 2561]
- [18] Alexander Saad-Falcon, 2017, “**HM10 Guide**”, ARM MBED [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://os.mbed.com/users/alexsaadfalcon/notebook/hm10-guide/>, [สืบค้นวันที่ 28 พฤษภาคม 2561]
- [19] Yifei Yin, 2017, “**Communication between Arduino and Unity**”, medium [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://medium.com/@yifeiyin/communication-between-arduino-and-unity-9fdcccc2be3f?fbclid=IwAR1Cerash4jXDrO42RcOi19Di9teWDnpIzZKH23fHUgvHyO4yHUMr6NCuEQ>, [สืบค้นวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2562]

- [20] Aliexpress, 2019, “**NRF51822 2V-3.3V Bluetooth 4.0 Wireless Module For iBeacon Base Station Intelligent Control System Beacon BLE Module 4MA W/ Case**”, Aliexpress [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <https://www.aliexpress.com/item/2V-3-3V-NRF51822-Bluetooth-4-0-Wireless-Module-for-iBeacon-Base-Station-Intelligent-Control-System/32826502025.html>, [สืบค้นวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2562]
- [21] Nordic, 2014, “**nRF51822 Multiprotocol Bluetooth® low energy/2.4 GHz RF System on Chip Product Specification v3.1**”, Nordic [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF51822_PS_v3.1.pdf, [สืบค้นวันที่ 12 พฤษภาคม 2562]
- [22] SoundMediaTrading, 2012, “**ควรพิจารณาสถานะในย่าน VHF/UHF ให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ติดต่อ DX**”, SoundMedia [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://www.soundmedia.co.th/news/newsdetail/id/49>, [วันที่สืบค้น 13 พฤษภาคม 2562]
- [23] ฝ่ายสื่อสาร สำนักชลประทานที่ 17, “**ประเภทของคลื่นวิทยุ**”, ฝ่ายสื่อสาร สำนักชลประทานที่ 17 [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: <http://irrigation.rid.go.th/rid17/Myweb/machanical/commu/tepe.html>, [วันที่สืบค้น 13 พฤษภาคม 2562]

ภาคผนวก ก
ตารางประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-67	1.49	-65	1.39	-63	1.34
2	-51	0.83	-58	1.07	-60	1.20
3	-53	0.89	-62	1.24	-63	1.34
4	-56	1	-57	1.03	-62	1.29
5	-58	1.07	-69	1.61	-68	1.61
6	-58	1.07	-67	1.49	-73	1.93
7	-59	1.11	-67	1.49	-64	1.39
8	-59	1.11	-61	1.20	-69	1.67
9	-52	0.86	-63	1.29	-65	1.44
10	-61	1.20	-64	1.34	-64	1.39

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-49	0.77	-74	1.93	-69	1.67
2	-56	1	-73	1.86	-70	1.73
3	-50	0.80	-75	2.00	-76	2.16
4	-47	0.71	-70	1.67	-80	2.50
5	-53	0.89	-78	2.24	-78	2.32
6	-47	0.71	-79	2.32	-71	1.79
7	-50	0.80	-78	2.24	-72	1.86
8	-48	0.74	-76	2.08	-79	2.41
9	-50	0.80	-78	2.24	-72	1.86
10	-49	0.77	-80	2.41	-70	1.73

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-66	1.44	-61	1.20	-33	0.24
2	-68	1.55	-66	1.44	-33	0.24
3	-66	1.44	-65	1.39	-33	0.24
4	-60	1.15	-66	1.44	-35	0.28
5	-67	1.49	-61	1.20	-32	0.23
6	-67	1.49	-65	1.39	-34	0.11
7	-69	1.61	-61	1.20	-33	0.10
8	-67	1.49	-66	1.44	-32	0.09
9	-67	1.49	-65	1.39	-33	0.10
10	-66	1.44	-60	1.15	-35	0.12

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-72	1.79	-44	0.64	-75	2.08
2	-72	1.79	-42	0.59	-71	1.79
3	-74	1.93	-44	0.64	-70	1.73
4	-73	1.86	-43	0.62	-66	1.49
5	-63	1.29	-44	0.64	-68	1.61
6	-72	1.79	-43	0.62	-71	1.79
7	-64	1.34	-44	0.64	-70	1.73
8	-63	1.29	-44	0.64	-72	1.86
9	-64	1.34	-44	0.64	-67	1.55
10	-73	1.86	-43	0.62	-69	1.67

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-64	1.34	-61	1.20	-45	0.69
2	-63	1.29	-64	1.34	-46	0.71
3	-63	1.29	-66	1.44	-45	0.69
4	-64	1.34	-64	1.34	-45	0.69
5	-63	1.29	-66	1.44	-49	0.80
6	-64	1.34	-67	1.49	-46	0.71
7	-63	1.29	-67	1.49	-46	0.71
8	-65	1.39	-65	1.39	-48	0.77
9	-64	1.34	-63	1.29	-46	0.71
10	-64	1.34	-64	1.34	-45	0.69

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)						
1	-65	1.46	-58	1.08	-67	1.65	-63	1.08
2	-62	1.28	-61	1.23	-73	2.13	-67	1.28
3	-63	1.34	-65	1.46	-70	1.88	-67	1.28
4	-66	1.52	-60	1.18	-74	2.22	-72	1.58
5	-65	1.46	-60	1.18	-71	1.96	-66	1.23
6	-62	1.28	-61	1.23	-69	1.80	-67	1.28
7	-63	1.34	-61	1.23	-70	1.88	-68	1.34
8	-64	1.40	-59	1.13	-70	1.88	-62	1.04
9	-62	1.28	-61	1.23	-72	2.04	-68	1.34
10	-64	1.40	-60	1.18	-71	1.96	-67	1.28

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-49	0.74	-70	1.80	-47	0.71	-77	1.96
2	-48	0.71	-65	1.46	-47	0.71	-75	1.80
3	-51	0.81	-68	1.65	-44	0.62	-67	1.28
4	-48	0.71	-70	1.80	-46	0.68	-76	1.88
5	-48	0.71	-85	3.39	-44	0.62	-68	1.34
6	-48	0.71	-74	2.13	-45	0.65	-66	1.23
7	-52	0.84	-83	3.11	-43	0.60	-67	1.28
8	-48	0.71	-73	2.04	-45	0.65	-70	1.46
9	-50	0.77	-70	1.80	-46	0.68	-73	1.65
10	-53	0.88	-72	1.96	-50	0.81	-69	1.40

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-77	2.42	-73	2.04	-59	1.18	-59	0.91
2	-70	1.80	-75	2.22	-62	1.34	-59	0.91
3	-69	1.72	-69	1.72	-59	1.18	-71	1.52
4	-74	2.13	-74	2.13	-61	1.28	-56	0.81
5	-72	1.96	-70	1.80	-61	1.28	-60	0.95
6	-74	2.13	-71	1.88	-59	1.18	-59	0.91
7	-77	2.42	-78	2.52	-64	1.46	-52	0.68
8	-73	2.04	-72	1.96	-62	1.34	-59	0.91
9	-83	3.11	-75	2.22	-64	1.46	-59	0.91
10	-80	2.74	-76	2.32	-63	1.40	-57	0.84

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)						
1	-79	2.63	-48	0.71	-70	1.88	-48	0.57
2	-82	2.98	-47	0.68	-68	1.72	-43	0.46
3	-68	1.65	-46	0.65	-70	1.88	-44	0.48
4	-69	1.72	-47	0.68	-69	1.80	-44	0.48
5	-84	3.25	-47	0.68	-67	1.65	-48	0.57
6	-78	2.52	-49	0.74	-65	1.52	-43	0.46
7	-69	1.72	-46	0.65	-73	2.13	-46	0.53
8	-79	2.63	-48	0.71	-70	1.88	-47	0.55
9	-75	2.22	-44	0.60	-71	1.96	-46	0.53
10	-78	2.52	-45	0.62	-68	1.72	-46	0.53

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)						
1	-63	1.34	-68	1.65	-64	1.46	-68	1.34
2	-62	1.28	-65	1.46	-63	1.40	-69	1.40
3	-65	1.46	-67	1.58	-69	1.80	-72	1.58
4	-69	1.72	-65	1.46	-63	1.40	-69	1.40
5	-69	1.72	-69	1.72	-69	1.80	-69	1.40
6	-61	1.23	-68	1.65	-64	1.46	-69	1.40
7	-66	1.52	-68	1.65	-65	1.52	-70	1.46
8	-65	1.46	-67	1.58	-65	1.52	-71	1.52
9	-65	1.46	-70	1.80	-66	1.58	-69	1.40
10	-63	1.34	-67	1.58	-65	1.52	-67	1.28

ตารางที่ 11 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-65	1.42	-63	1.31	-73	2.03	-67	1.26	-72	1.67
2	-65	1.42	-66	1.48	-74	2.11	-67	1.26	-74	1.80
3	-66	1.48	-64	1.37	-75	2.20	-65	1.17	-73	1.73
4	-61	1.21	-63	1.31	-73	2.03	-66	1.21	-77	2.03
5	-65	1.42	-62	1.26	-73	2.03	-67	1.26	-72	1.67
6	-67	1.54	-61	1.21	-75	2.20	-70	1.42	-74	1.80
7	-64	1.37	-67	1.54	-74	2.11	-66	1.21	-73	1.73
8	-65	1.42	-64	1.37	-81	2.79	-67	1.26	-74	1.80
9	-61	1.21	-66	1.48	-80	2.68	-66	1.21	-73	1.73
10	-64	1.37	-65	1.42	-76	2.29	-68	1.31	-71	1.60

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-54	0.92	-79	2.48	-57	1.08	-67	1.26	-81	2.38
2	-52	0.85	-78	2.38	-52	0.88	-67	1.26	-73	1.73
3	-55	0.96	-79	2.48	-57	1.08	-65	1.17	-88	3.14
4	-52	0.85	-75	2.11	-56	1.04	-66	1.21	-71	1.60
5	-56	1.00	-77	2.29	-54	0.96	-67	1.26	-73	1.73
6	-52	0.85	-76	2.20	-54	0.96	-70	1.42	-75	1.88
7	-55	0.96	-71	1.80	-53	0.92	-66	1.21	-74	1.80
8	-56	1.00	-74	2.03	-57	1.08	-67	1.26	-74	1.80
9	-54	0.92	-77	2.29	-56	1.04	-66	1.21	-71	1.60
10	-52	0.85	-75	2.11	-57	1.08	-68	1.31	-81	2.38

ตารางที่ 13 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-71	1.80	-69	1.67	-57	1.08	-43	0.07	-61	1.08
2	-73	1.95	-71	1.80	-56	1.04	-42	0.06	-62	1.12
3	-72	1.88	-76	2.20	-59	1.17	-51	0.23	-66	1.31
4	-74	2.03	-70	1.73	-57	1.08	-45	0.10	-62	1.12
5	-77	2.29	-81	2.68	-61	1.26	-59	0.74	-63	1.17
6	-76	2.20	-74	2.03	-58	1.12	-45	0.10	-71	1.60
7	-71	1.80	-72	1.88	-58	1.12	-44	0.08	-65	1.26
8	-72	1.88	-73	1.95	-57	1.08	-43	0.07	-63	1.17
9	-76	2.20	-74	2.03	-58	1.12	-49	0.17	-72	1.67
10	-78	2.38	-73	1.95	-59	1.17	-45	0.10	-64	1.21

ตารางที่ 14 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-71	1.80	-46	0.67	-73	2.03	-78	1.95	-47	0.62
2	-72	1.88	-46	0.67	-71	1.88	-71	1.48	-46	0.59
3	-88	3.54	-45	0.64	-70	1.80	-64	1.12	-46	0.59
4	-71	1.80	-45	0.64	-77	2.38	-69	1.37	-47	0.62
5	-87	3.40	-47	0.70	-78	2.48	-65	1.17	-47	0.62
6	-73	1.95	-46	0.67	-80	2.68	-68	1.31	-48	0.64
7	-71	1.80	-46	0.67	-77	2.38	-65	1.17	-47	0.62
8	-71	1.80	-47	0.70	-71	1.88	-63	1.08	-47	0.62
9	-73	1.95	-45	0.64	-78	2.48	-64	1.12	-48	0.64
10	-74	2.03	-46	0.67	-70	1.80	-65	1.17	-46	0.59

ตารางที่ 15 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-70	1.73	-65	1.42	-71	1.88	-55	0.78	-70	1.54
2	-68	1.60	-61	1.21	-70	1.80	-58	0.88	-67	1.37
3	-70	1.73	-62	1.26	-73	2.03	-50	0.64	-64	1.21
4	-72	1.88	-63	1.31	-71	1.88	-57	0.85	-65	1.26
5	-71	1.80	-65	1.42	-70	1.80	-57	0.85	-72	1.67
6	-68	1.60	-64	1.37	-71	1.88	-58	0.88	-65	1.26
7	-71	1.80	-63	1.31	-70	1.80	-58	0.88	-71	1.60
8	-68	1.60	-71	1.80	-70	1.80	-60	0.96	-70	1.54
9	-72	1.88	-66	1.48	-71	1.88	-59	0.92	-71	1.60
10	-71	1.80	-65	1.42	-71	1.88	-59	0.92	-64	1.21

ตารางที่ 16 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		S6		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-59	1.20	-42	0.07	-59	1.27	-65	1.55	-74	2.57	-76	2.26
2	-60	1.27	-43	0.09	-60	1.35	-64	1.45	-73	2.41	-74	1.99
3	-62	1.44	-44	0.10	-59	1.27	-65	1.55	-72	2.26	-79	2.73
4	-62	1.44	-42	0.07	-60	1.35	-67	1.76	-67	1.65	-74	1.99
5	-57	1.06	-42	0.07	-60	1.35	-68	1.87	-66	1.55	-75	2.12
6	-59	1.20	-44	0.10	-61	1.44	-66	1.65	-67	1.65	-77	2.41
7	-59	1.20	-44	0.10	-59	1.27	-70	2.12	-72	2.26	-78	2.57
8	-59	1.20	-43	0.09	-65	1.83	-68	1.87	-71	2.12	-78	2.57
9	-57	1.06	-44	0.10	-61	1.44	-66	1.65	-67	1.65	-73	1.87
10	-60	1.27	-44	0.10	-59	1.27	-68	1.87	-67	1.65	-72	1.76

ตารางที่ 17 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		S6		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-55	0.92	-65	2.03	-77	3.99	-49	0.49	-62	1.26	-78	2.57
2	-54	0.85	-66	2.19	-78	4.25	-51	0.57	-64	1.48	-68	1.36
3	-55	0.92	-63	1.73	-69	2.41	-51	0.57	-61	1.17	-67	1.28
4	-54	0.85	-63	1.73	-70	2.57	-58	1.00	-60	1.08	-68	1.36
5	-55	0.92	-64	1.87	-73	3.10	-52	0.62	-59	1.00	-75	2.12
6	-54	0.85	-63	1.73	-79	4.52	-57	0.92	-59	1.00	-75	2.12
7	-54	0.85	-65	2.03	-78	4.25	-51	0.57	-62	1.26	-83	3.52
8	-55	0.92	-67	2.37	-69	2.41	-52	0.62	-65	1.60	-68	1.36
9	-55	0.92	-64	1.87	-78	4.25	-51	0.57	-60	1.08	-66	1.20
10	-54	0.85	-68	2.57	-81	5.13	-50	0.53	-60	1.08	-70	1.55

ตารางที่ 18 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		S6		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-70	2.41	-65	1.76	-77	3.99	-58	1.00	-42	0.06	-69	1.49
2	-69	2.26	-79	4.25	-72	2.91	-56	0.87	-43	0.07	-70	1.59
3	-69	2.26	-65	1.76	-77	3.99	-59	1.06	-39	0.04	-70	1.59
4	-70	2.41	-65	1.76	-74	3.30	-60	1.14	-47	0.14	-67	1.30
5	-70	2.41	-65	1.76	-74	3.30	-59	1.06	-48	0.17	-68	1.39
6	-71	2.57	-69	2.26	-75	3.52	-62	1.30	-46	0.12	-69	1.49
7	-70	2.41	-70	2.41	-74	3.30	-61	1.22	-44	0.09	-68	1.39
8	-69	2.26	-65	1.76	-74	3.30	-64	1.49	-46	0.12	-67	1.30
9	-67	1.99	-65	1.76	-76	3.75	-60	1.14	-44	0.09	-67	1.30
10	-69	2.26	-66	1.87	-77	3.99	-70	2.23	-45	0.10	-68	1.39

ตารางที่ 19 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		S6		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-81	4.82	-66	1.64	-51	0.77	-74	2.73	-71	1.81	-58	0.72
2	-73	2.91	-63	1.41	-54	0.93	-72	2.41	-67	1.48	-57	0.68
3	-77	3.75	-62	1.34	-51	0.77	-73	2.57	-69	1.64	-59	0.77
4	-74	3.10	-62	1.34	-51	0.77	-72	2.41	-70	1.72	-57	0.68
5	-72	2.73	-65	1.56	-54	0.93	-77	3.30	-73	1.99	-61	0.88
6	-76	3.52	-62	1.34	-51	0.77	-74	2.73	-70	1.72	-61	0.88
7	-76	3.52	-64	1.48	-54	0.93	-80	3.99	-69	1.64	-63	1.00
8	-69	2.26	-65	1.56	-51	0.77	-73	2.57	-71	1.81	-58	0.72
9	-77	3.75	-61	1.28	-53	0.88	-73	2.57	-72	1.90	-56	0.64
10	-68	2.12	-64	1.48	-51	0.77	-77	3.30	-70	1.72	-56	0.64

ตารางที่ 20 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว

S1		S2		S3		S4		S5		S6		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-65	1.76	-52	0.77	-68	2.26	-66	1.65	-59	1.00	-61	0.88
2	-71	2.57	-52	0.77	-71	2.73	-65	1.55	-51	0.60	-66	1.20
3	-71	2.57	-52	0.77	-65	1.87	-64	1.45	-57	0.88	-65	1.13
4	-67	1.99	-47	0.56	-75	3.52	-62	1.28	-59	1.00	-66	1.20
5	-70	2.4	-52	0.77	-68	2.26	-63	1.36	-56	0.82	-59	0.77
6	-71	2.57	-53	0.82	-65	1.87	-64	1.45	-59	1.00	-60	0.82
7	-71	2.57	-52	0.77	-68	2.26	-71	2.26	-59	1.00	-67	1.28
8	-68	2.12	-52	0.77	-74	3.30	-66	1.65	-60	1.06	-67	1.28
9	-70	2.41	-53	0.82	-65	1.87	-67	1.76	-52	0.64	-61	0.88
10	-67	1.99	-52	0.77	-68	2.26	-69	1.99	-54	0.72	-65	1.13

ตารางที่ 21 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ครั้ง ที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-66	1.25	-52	0.1	-65	1.25	-75	2.22	-77	2.33	-71	1.45	-72	1.76	-77	2.22
2	-65	1.22	-56	1	-65	1.25	-72	1.93	-68	1.52	-85	2.82	-73	1.84	-75	2.02
3	-70	1.37	-52	0.1	-69	1.37	-76	2.33	-66	1.39	-73	1.60	-67	1.39	-70	1.60
4	-65	1.22	-52	0.1	-65	1.25	-74	2.12	-65	1.32	-73	1.60	-66	1.32	-72	1.76
5	-71	1.40	-51	0.05	-69	1.37	-74	2.12	-68	1.52	-74	1.67	-66	1.32	-69	1.52
6	-70	1.37	-48	0.01	-66	1.28	-73	2.02	-68	1.52	-71	1.45	-69	1.52	-74	1.93
7	-70	1.37	-57	1.77	-70	1.40	-74	2.12	-68	1.52	-74	1.67	-72	1.76	-71	1.67
8	-65	1.22	-52	0.1	-68	1.33	-76	2.33	-73	1.93	-70	1.39	-79	2.44	-69	1.52
9	-68	1.30	-49	0.01	-67	1.30	-75	2.22	-70	1.67	-70	1.39	-66	1.32	-70	1.60
10	-67	1.28	-47	0.005	-70	1.40	-74	2.12	-66	1.39	-74	1.67	-69	1.52	-71	1.67

ตารางที่ 22 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ครั้ง ที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-69	3.34	-62	1.74	-74	2.44	-44	0.27	-70	2.77	-69	1.32	-64	1.20	-73	1.84
2	-60	1.45	-66	2.53	-73	2.33	-43	0.24	-73	3.67	-61	0.91	-65	1.26	-68	1.45
3	-61	1.59	-62	1.74	-76	2.69	-42	0.22	-72	3.34	-62	0.95	-65	1.26	-65	1.26
4	-60	1.45	-66	2.53	-75	2.56	-44	0.27	-72	3.34	-57	0.75	-68	1.45	-74	1.93
5	-59	1.32	-65	2.30	-78	2.95	-44	0.27	-75	4.42	-60	0.86	-70	1.60	-68	1.45
6	-63	1.91	-67	2.77	-77	2.82	-43	0.24	-73	3.67	-59	0.82	-69	1.52	-65	1.26
7	-65	2.30	-66	2.53	-79	3.10	-41	0.20	-75	4.42	-60	0.86	-61	1.04	-74	1.93
8	-61	1.59	-67	2.77	-71	2.12	-43	0.24	-72	3.34	-59	0.82	-59	0.95	-66	1.32
9	-63	1.91	-65	2.30	-77	2.82	-44	0.27	-74	4.02	-57	0.75	-60	1.00	-68	1.45
10	-65	2.30	-63	1.91	-72	2.22	-42	0.22	-76	4.85	-58	0.78	-62	1.09	-66	1.32

ตารางที่ 23 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-63	1.39	-74	2.33	-71	2.12	-69	2.07	-64	1.18	-61	0.87	-42	0.30	-64	1.30
2	-66	1.60	-67	1.67	-76	2.69	-64	1.49	-67	1.31	-61	0.87	-44	0.34	-67	1.59
3	-66	1.60	-68	1.76	-67	1.76	-67	1.81	-69	1.41	-63	1.00	-44	0.34	-67	1.59
4	-63	1.39	-67	1.67	-73	2.33	-65	1.59	-67	1.31	-63	1.00	-44	0.34	-71	2.07
5	-65	1.52	-72	2.12	-72	2.22	-65	1.59	-68	1.36	-61	0.87	-47	0.42	-72	2.22
6	-67	1.67	-67	1.67	-70	2.02	-69	2.07	-72	1.56	-59	0.76	-44	0.34	-71	2.07
7	-70	1.93	-66	1.60	-67	1.76	-65	1.59	-70	1.46	-55	0.58	-43	0.32	-67	1.59
8	-66	1.60	-76	2.56	-71	2.12	-70	2.22	-64	1.18	-59	0.76	-43	0.32	-67	1.59
9	-68	1.76	-67	1.67	-71	2.12	-69	2.07	-64	1.18	-58	0.71	-41	0.28	-66	1.49
10	-65	1.52	-72	2.12	-75	2.56	-65	1.59	-69	1.41	-61	0.87	-41	0.28	-69	1.81

ตารางที่ 24 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-70	1.93	-69	3.52	-65	1.60	-75	2.22	-45	0.25	-68	1.26	-62	1.09	-55	0.78
2	-74	2.33	-72	4.71	-69	1.93	-72	1.93	-48	0.34	-72	1.52	-71	1.67	-52	0.68
3	-76	2.56	-70	3.88	-62	1.39	-71	1.84	-50	0.41	-72	1.52	-73	1.84	-52	0.68
4	-80	3.10	-75	6.30	-66	1.67	-70	1.76	-50	0.41	-72	1.52	-68	1.45	-51	0.65
5	-76	2.56	-71	4.27	-64	1.52	-72	1.93	-48	0.34	-69	1.32	-69	1.52	-59	0.95
6	-71	2.02	-70	3.88	-62	1.39	-70	1.76	-46	0.28	-74	1.67	-71	1.67	-59	0.95
7	-70	1.93	-61	1.62	-65	1.60	-72	1.93	-47	0.31	-73	1.60	-67	1.39	-57	0.86
8	-67	1.67	-68	3.19	-65	1.60	-71	1.84	-46	0.28	-66	1.15	-70	1.60	-56	0.82
9	-72	2.12	-69	3.52	-69	1.93	-71	1.84	-48	0.34	-72	1.52	-64	1.20	-55	0.78
10	-74	2.33	-69	3.52	-64	1.52	-72	1.93	-50	0.41	-68	1.26	-69	1.52	-55	0.78

ตารางที่ 25 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-69	1.84	-60	1.20	-69	1.93	-62	1.20	-65	1.32	-66	1.15	-54	0.75	-62	1.09
2	-70	1.93	-66	1.60	-70	2.02	-64	1.32	-70	1.67	-68	1.26	-51	0.65	-64	1.20
3	-73	2.22	-62	1.32	-71	2.12	-62	1.20	-72	1.84	-66	1.15	-51	0.65	-64	1.20
4	-67	1.67	-63	1.39	-74	2.44	-63	1.26	-64	1.26	-70	1.39	-53	0.71	-65	1.26
5	-67	1.67	-67	1.67	-72	2.22	-64	1.32	-70	1.67	-69	1.32	-55	0.78	-61	1.04
6	-68	1.76	-62	1.32	-76	2.69	-63	1.26	-72	1.84	-68	1.26	-51	0.65	-66	1.32
7	-68	1.76	-61	1.26	-70	2.02	-62	1.20	-66	1.39	-68	1.26	-54	0.75	-62	1.09
8	-70	1.93	-61	1.26	-69	1.93	-66	1.45	-66	1.39	-71	1.45	-56	0.82	-64	1.20
9	-68	1.76	-60	1.20	-70	2.02	-67	1.52	-65	1.32	-70	1.39	-53	0.71	-63	1.15
10	-69	1.84	-64	1.45	-77	2.82	-62	1.20	-68	1.52	-65	1.09	-52	0.68	-62	1.09

ตารางที่ 26 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-70	2.76	-55	0.40	-68	1.91
2	-66	1.91	-56	0.44	-70	2.29
3	-63	1.45	-56	0.44	-70	2.29
4	-63	1.45	-56	0.44	-69	2.09
5	-63	1.45	-56	0.44	-69	2.09
6	-62	1.32	-56	0.44	-69	2.09
7	-62	1.32	-56	0.44	-69	2.09
8	-61	1.20	-56	0.44	-69	2.09
9	-61	1.20	-56	0.44	-68	1.91
10	-61	1.20	-56	0.44	-68	1.91

ตารางที่ 27 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-49	0.40	-72	1.91	-63	1.20
2	-55	0.69	-72	1.91	-63	1.20
3	-54	0.63	-75	2.51	-64	1.32
4	-55	0.69	-75	2.51	-64	1.32
5	-55	0.69	-74	2.29	-64	1.32
6	-55	0.69	-74	2.29	-65	1.45
7	-55	0.69	-74	2.29	-66	1.59
8	-54	0.63	-75	2.51	-66	1.59
9	-54	0.63	-75	2.51	-65	1.45
10	-54	0.63	-75	2.51	-65	1.45

ตารางที่ 28 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-63	1.45	-68	1.32	-38	0.09
2	-63	1.45	-69	1.45	-39	0.10
3	-65	1.74	-68	1.32	-39	0.10
4	-66	1.91	-68	1.32	-39	0.10
5	-66	1.91	-68	1.32	-39	0.10
6	-66	1.91	-69	1.45	-39	0.10
7	-65	1.74	-70	1.59	-40	0.11
8	-65	1.74	-70	1.59	-40	0.11
9	-65	1.74	-70	1.59	-40	0.11
10	-65	1.74	-70	1.59	-40	0.11

ตารางที่ 29 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-71	3.02	-55	0.40	-66	1.59
2	-71	3.02	-55	0.40	-65	1.45
3	-70	2.76	-56	0.44	-65	1.45
4	-71	3.02	-56	0.44	-66	1.59
5	-71	3.02	-55	0.40	-65	1.45
6	-71	3.02	-56	0.44	-65	1.45
7	-70	2.76	-56	0.44	-65	1.45
8	-71	3.02	-55	0.40	-65	1.45
9	-71	3.02	-56	0.44	-66	1.59
10	-71	3.02	-56	0.44	-65	1.45

ตารางที่ 30 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-64	1.59	-61	0.69	-45	0.23
2	-63	1.45	-64	0.91	-46	0.25
3	-63	1.45	-66	1.10	-45	0.23
4	-64	1.59	-64	0.91	-45	0.23
5	-63	1.45	-66	1.10	-49	0.33
6	-64	1.59	-67	1.20	-46	0.25
7	-63	1.45	-67	1.20	-46	0.25
8	-65	1.74	-65	1.00	-48	0.30
9	-64	1.59	-63	0.83	-46	0.25
10	-64	1.59	-64	0.91	-45	0.23

ตารางที่ 31 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-58	0.76	-63	0.58	-62	1.31	-61	1.31
2	-58	0.76	-63	0.58	-62	1.31	-62	1.72
3	-59	1.00	-64	0.76	-63	1.72	-63	2.26
4	-59	1.00	-64	0.76	-64	2.26	-64	2.97
5	-61	1.72	-65	1.00	-64	2.26	-64	2.97
6	-62	2.26	-66	1.31	-65	2.97	-64	2.97
7	-62	2.26	-66	1.31	-65	2.97	-64	2.97
8	-61	1.72	-67	1.72	-64	2.26	-64	2.97
9	-60	1.31	-67	1.72	-64	2.26	-65	3.90
10	-60	1.31	-66	1.31	-63	1.72	-64	2.97

ตารางที่ 32 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-55	0.34	-67	1.72	-57	0.34	-70	15.22
2	-55	0.34	-68	2.26	-58	0.44	-69	11.59
3	-57	0.58	-71	5.12	-59	0.58	-69	11.59
4	-57	0.58	-71	5.12	-59	0.58	-69	11.59
5	-56	0.44	-70	3.90	-58	0.44	-69	11.59
6	-56	0.44	-69	2.97	-58	0.44	-69	11.59
7	-57	0.58	-69	2.97	-60	0.76	-69	11.59
8	-57	0.58	-69	2.97	-60	0.76	-69	11.59
9	-55	0.34	-68	2.26	-59	0.58	-71	19.99
10	-55	0.34	-70	3.90	-58	0.44	-71	19.99

ตารางที่ 33 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)	RSSI (dB)	Distance (m)
1	-58	0.76	-70	3.90	-59	0.58	-53	0.15
2	-59	1.00	-70	3.90	-59	0.58	-55	0.26
3	-61	1.72	-68	2.26	-61	1.00	-56	0.34
4	-61	1.72	-69	2.97	-63	1.72	-56	0.34
5	-61	1.72	-68	2.26	-62	1.31	-55	0.26
6	-62	2.26	-67	1.72	-62	1.31	-55	0.26
7	-64	3.90	-67	1.72	-62	1.31	-55	0.26
8	-63	2.97	-66	1.31	-63	1.72	-56	0.34
9	-62	2.26	-68	2.26	-63	1.72	-56	0.34
10	-62	2.26	-68	2.26	-62	1.31	-56	0.34

ตารางที่ 34 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)						
1	-62	2.26	-60	0.26	-63	1.72	-59	0.76
2	-63	2.97	-60	0.26	-64	2.26	-59	0.76
3	-63	2.97	-60	0.26	-64	2.26	-58	0.58
4	-62	2.26	-60	0.26	-67	5.12	-57	0.44
5	-62	2.26	-61	0.34	-66	3.90	-57	0.44
6	-61	1.72	-61	0.34	-66	3.90	-57	0.44
7	-63	2.97	-61	0.34	-66	3.90	-58	0.58
8	-62	2.26	-62	0.44	-66	3.90	-57	0.44
9	-62	2.26	-63	0.58	-66	3.90	-58	0.58
10	-62	2.26	-64	0.76	-66	3.90	-58	0.58

ตารางที่ 35 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 4 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4	
	RSSI (dB)	Distance (m)						
1	-61	1.72	-65	1.00	-62	1.31	-60	1.00
2	-61	1.72	-65	1.00	-62	1.31	-60	1.00
3	-60	1.31	-67	1.72	-63	1.72	-61	1.31
4	-60	1.31	-68	2.26	-63	1.72	-61	1.31
5	-60	1.31	-67	1.72	-64	2.26	-61	1.31
6	-60	1.31	-67	1.72	-63	1.72	-61	1.31
7	-59	1.00	-66	1.31	-63	1.72	-61	1.31
8	-60	1.31	-66	1.31	-62	1.31	-61	1.31
9	-60	1.31	-66	1.31	-62	1.31	-61	1.31
10	-60	1.31	-66	1.31	-62	1.31	-61	1.31

ตารางที่ 36 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5	
	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-60	1.23	-65	1.00	-64	1.86	-61	1.23	-63	0.23
2	-60	1.23	-64	0.81	-65	2.30	-61	1.23	-64	0.29
3	-61	1.52	-34	0.00	-67	3.48	-61	1.23	-65	0.35
4	-61	1.52	-64	0.81	-68	4.28	-61	1.23	-65	0.35
5	-61	1.52	-66	1.23	-69	5.27	-61	1.23	-64	0.29
6	-61	1.52	-66	1.23	-69	5.27	-62	1.52	-64	0.29
7	-60	1.23	-66	1.23	-70	6.48	-62	1.52	-65	0.35
8	-60	1.23	-66	1.23	-70	6.48	-62	1.52	-67	0.54
9	-60	1.23	-65	1.00	-69	5.27	-62	1.52	-67	0.54
10	-62	1.86	-66	1.23	-69	5.27	-62	1.52	-67	0.54

ตารางที่ 37 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5	
	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-50	0.15	-70	2.83	-58	0.54	-61	1.23	-75	2.83
2	-53	0.29	-72	4.28	-58	0.54	-62	1.52	-75	2.83
3	-54	0.35	-72	4.28	-58	0.54	-62	1.52	-73	1.86
4	-54	0.35	-73	5.27	-59	0.66	-62	1.52	-72	1.52
5	-56	0.54	-73	5.27	-59	0.66	-63	1.86	-72	1.52
6	-55	0.44	-73	5.27	-59	0.66	-62	1.52	-72	1.52
7	-56	0.54	-74	6.48	-57	0.44	-62	1.52	-73	1.86
8	-57	0.66	-74	6.48	-57	0.44	-62	1.52	-73	1.86
9	-58	0.81	-74	6.48	-58	0.54	-63	1.86	-73	1.86
10	-58	0.81	-74	6.48	-58	0.54	-69	6.48	-73	1.86

ตารางที่ 38 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5	
	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-68	6.48	-69	2.30	-66	2.83	-41	0.10	-63	0.23
2	-68	6.48	-67	1.52	-62	1.23	-41	0.10	-64	0.29
3	-68	6.48	-68	1.86	-65	2.30	-42	0.11	-64	0.29
4	-65	3.48	-67	1.52	-64	1.86	-42	0.11	-64	0.29
5	-66	4.28	-68	1.86	-63	1.52	-41	0.10	-64	0.29
6	-66	4.28	-69	2.30	-65	2.30	-41	0.10	-64	0.29
7	-66	4.28	-69	2.30	-65	2.30	-41	0.10	-64	0.29
8	-65	3.48	-68	1.86	-65	2.30	-41	0.10	-63	0.23
9	-65	3.48	-70	2.83	-64	1.86	-41	0.10	-64	0.29
10	-65	3.48	-70	2.83	-64	1.86	-41	0.10	-64	0.29

ตารางที่ 39 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-67	5.27	-61	0.44	-62	1.23	-62	1.52	-67	0.54
2	-68	6.48	-61	0.44	-66	2.83	-62	1.52	-66	0.44
3	-70	9.82	-62	0.54	-69	5.27	-61	1.23	-66	0.44
4	-72	14.89	-62	0.54	-68	4.28	-60	1.00	-67	0.54
5	-71	12.09	-62	0.54	-71	7.98	-60	1.00	-67	0.54
6	-71	12.09	-62	0.54	-70	6.48	-61	1.23	-66	0.44
7	-72	14.89	-62	0.54	-70	6.48	-61	1.23	-67	0.54
8	-72	14.89	-62	0.54	-70	6.48	-62	1.52	-67	0.54
9	-71	12.09	-62	0.54	-70	6.48	-62	1.52	-67	0.54
10	-71	12.09	-63	0.66	-70	6.48	-62	1.52	-66	0.44

ตารางที่ 40 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 5 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

S1		S2		S3		S4		S5		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)								
1	-61	1.52	-61	0.44	-66	2.83	-57	0.54	-63	0.23
2	-61	1.52	-63	0.66	-67	3.48	-57	0.54	-63	0.23
3	-61	1.52	-63	0.66	-66	2.83	-57	0.54	-63	0.23
4	-62	1.86	-65	1.00	-66	2.83	-56	0.44	-63	0.23
5	-62	1.86	-66	1.23	-66	2.83	-56	0.44	-63	0.23
6	-61	1.52	-66	1.23	-66	2.83	-57	0.54	-64	0.29
7	-61	1.52	-67	1.52	-66	2.83	-56	0.44	-63	0.23
8	-62	1.86	-66	1.23	-66	2.83	-57	0.54	-63	0.23
9	-62	1.86	-66	1.23	-65	2.30	-57	0.54	-64	0.29
10	-62	1.86	-65	1.00	-65	2.30	-57	0.54	-63	0.23

ตารางที่ 41 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-60	1.09	-52	0.10	-60	0.91	-72	8.15	-72	1.42	-65	0.84
2	-61	1.20	-51	0.08	-59	0.83	-73	9.70	-73	1.69	-64	0.70
3	-61	1.20	-50	0.07	-62	1.09	-74	11.55	-71	1.19	-63	0.59
4	-61	1.20	-51	0.08	-62	1.09	-74	11.55	-72	1.42	-65	0.84
5	-62	1.31	-52	0.10	-63	1.20	-74	11.55	-73	1.69	-65	0.84
6	-62	1.31	-52	0.10	-64	1.31	-75	13.76	-72	1.42	-65	0.84
7	-63	1.44	-53	0.12	-63	1.20	-76	16.39	-72	1.42	-65	0.84
8	-63	1.44	-52	0.10	-63	1.20	-76	16.39	-72	1.42	-65	0.84
9	-62	1.31	-52	0.10	-64	1.31	-77	19.52	-72	1.42	-65	0.84
10	-63	1.44	-51	0.08	-63	1.20	-77	19.52	-71	1.19	-65	0.84

ตารางที่ 42 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบคalemnan

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-61	0.87	-58	1.61	-68	3.40	-63	0.82	-66	1.31	-68	1.42
2	-61	0.87	-58	1.61	-70	4.82	-62	0.87	-66	1.31	-69	1.69
3	-60	0.93	-58	1.61	-69	4.05	-64	0.76	-66	1.31	-69	1.69
4	-59	1.00	-57	1.72	-70	4.82	-63	0.82	-65	1.40	-69	1.69
5	-60	0.93	-57	1.72	-64	1.69	-67	0.62	-65	1.40	-69	1.69
6	-61	0.87	-57	1.72	-66	2.40	-66	0.67	-64	1.50	-73	3.40
7	-62	0.82	-57	1.72	-69	4.05	-65	0.71	-64	1.50	-71	2.40
8	-63	0.76	-57	1.72	-70	4.82	-67	0.62	-64	1.50	-73	3.40
9	-62	0.82	-58	1.61	-70	4.82	-66	0.67	-63	1.61	-74	4.05
10	-62	0.82	-58	1.61	-72	6.84	-66	0.67	-63	1.61	-74	4.05

ตารางที่ 43 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-68	4.82	-63	0.70	-61	1.00	-60	1.00	-52	0.06	-60	0.22
2	-65	2.85	-66	1.19	-62	1.19	-61	1.28	-51	0.05	-64	0.61
3	-65	2.85	-66	1.19	-62	1.19	-61	1.28	-52	0.06	-64	0.61
4	-65	2.85	-66	1.19	-62	1.19	-62	1.65	-52	0.06	-63	0.47
5	-65	2.85	-66	1.19	-62	1.19	-62	1.65	-55	0.10	-65	0.78
6	-64	2.40	-66	1.19	-62	1.19	-62	1.65	-55	0.10	-65	0.78
7	-64	2.40	-66	1.19	-62	1.19	-62	1.65	-57	0.14	-65	0.78
8	-63	2.01	-67	1.42	-62	1.19	-61	1.28	-58	0.16	-65	0.78
9	-63	2.01	-67	1.42	-62	1.19	-62	1.65	-58	0.16	-65	0.78
10	-63	2.01	-67	1.42	-62	1.19	-62	1.65	-59	0.18	-65	0.78

ตารางที่ 44 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-63	2.01	-84	3.19	-55	0.35	-71	6.84	-67	0.83	-49	0.05
2	-64	2.40	-78	2.21	-56	0.42	-72	8.15	-70	1.00	-49	0.05
3	-64	2.40	-76	1.96	-54	0.29	-72	8.15	-68	0.89	-49	0.05
4	-63	2.01	-74	1.73	-54	0.29	-71	6.84	-68	0.89	-50	0.06
5	-62	1.69	-73	1.63	-53	0.25	-70	5.74	-68	0.89	-50	0.06
6	-63	2.01	-73	1.63	-54	0.29	-70	5.74	-67	0.83	-50	0.06
7	-63	2.01	-73	1.63	-54	0.29	-70	5.74	-68	0.89	-50	0.06
8	-63	2.01	-74	1.73	-55	0.35	-70	5.74	-67	0.83	-50	0.06
9	-64	2.40	-73	1.63	-55	0.35	-70	5.74	-67	0.83	-50	0.06
10	-64	2.40	-73	1.63	-54	0.29	-70	5.74	-67	0.83	-50	0.06

ตารางที่ 45 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 6 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6	
	RSSI (dB)	Distance (m)										
1	-61	1.42	-55	0.17	-61	1.00	-63	1.69	-57	0.10	-70	2.01
2	-62	1.69	-56	0.21	-60	0.84	-61	1.19	-58	0.12	-68	1.42
3	-61	1.42	-55	0.17	-61	1.00	-62	1.42	-58	0.12	-67	1.19
4	-61	1.42	-55	0.17	-61	1.00	-62	1.42	-58	0.12	-66	1.00
5	-60	1.19	-55	0.17	-61	1.00	-62	1.42	-58	0.12	-68	1.42
6	-62	1.69	-56	0.21	-61	1.00	-61	1.19	-58	0.12	-68	1.42
7	-63	2.01	-56	0.21	-61	1.00	-60	1.00	-58	0.12	-67	1.19
8	-63	2.01	-56	0.21	-61	1.00	-62	1.42	-58	0.12	-68	1.42
9	-62	1.69	-56	0.21	-62	1.19	-62	1.42	-58	0.12	-68	1.42
10	-61	1.42	-56	0.21	-62	1.19	-63	1.69	-58	0.12	-68	1.42

ตารางที่ 46 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R1 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-65	1.29	-48	0.09	-66	1.95	-63	1.49	-66	0.59	-68	1.30	-51	0.67	-68	2.22
2	-65	1.29	-49	0.10	-65	1.70	-63	1.49	-67	0.67	-68	1.30	-52	0.77	-66	1.70
3	-66	1.34	-49	0.10	-67	2.22	-63	1.49	-66	0.59	-68	1.30	-55	1.14	-66	1.70
4	-66	1.34	-50	0.12	-65	1.70	-64	1.70	-66	0.59	-67	1.14	-56	1.30	-66	1.70
5	-66	1.34	-50	0.12	-64	1.49	-64	1.70	-64	0.45	-67	1.14	-56	1.30	-66	1.70
6	-66	1.34	-49	0.10	-64	1.49	-63	1.49	-63	0.39	-67	1.14	-55	1.14	-66	1.70
7	-66	1.34	-50	0.12	-63	1.30	-63	1.49	-64	0.45	-67	1.14	-56	1.30	-65	1.49
8	-66	1.34	-50	0.12	-64	1.49	-64	1.70	-64	0.45	-67	1.14	-56	1.30	-65	1.49
9	-65	1.29	-49	0.10	-65	1.70	-63	1.49	-64	0.45	-68	1.30	-56	1.30	-66	1.70
10	-66	1.34	-49	0.10	-66	1.95	-63	1.49	-64	0.45	-68	1.30	-56	1.30	-67	1.95

ตารางที่ 47 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R2 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าลงมา

S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-52	0.39	-63	0.77	-63	1.30	-42	0.04	-69	0.83	-59	0.39	-54	1.00	-64	1.30
2	-53	0.45	-63	0.77	-65	1.70	-43	0.04	-66	0.48	-59	0.39	-56	1.30	-63	1.14
3	-54	0.51	-67	1.30	-66	1.95	-43	0.04	-66	0.48	-59	0.39	-57	1.49	-63	1.14
4	-54	0.51	-66	1.14	-67	2.22	-43	0.04	-65	0.40	-60	0.45	-55	1.14	-65	1.49
5	-55	0.59	-65	1.00	-66	1.95	-43	0.04	-66	0.48	-61	0.51	-59	1.95	-65	1.49
6	-54	0.51	-65	1.00	-66	1.95	-43	0.04	-68	0.69	-63	0.67	-53	0.88	-68	2.22
7	-54	0.51	-65	1.00	-65	1.70	-43	0.04	-68	0.69	-62	0.59	-62	2.90	-65	1.49
8	-54	0.51	-64	0.88	-65	1.70	-43	0.04	-69	0.83	-62	0.59	-54	1.00	-64	1.30
9	-54	0.51	-65	1.00	-65	1.70	-43	0.04	-70	1.00	-62	0.59	-57	1.49	-64	1.30
10	-54	0.51	-65	1.00	-66	1.95	-43	0.04	-69	0.83	-62	0.59	-57	1.49	-64	1.30

ตารางที่ 48 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R3 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าลงมา

S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-59	1.00	-61	0.40	-68	2.54	-65	0.71	-66	1.30	-60	0.25	-40	2.60	-60	0.93
2	-60	1.14	-61	0.40	-68	2.54	-66	0.66	-64	1.48	-60	0.25	-41	2.43	-61	0.96
3	-61	1.30	-62	0.50	-67	2.22	-69	0.54	-67	1.22	-61	0.32	-42	2.27	-62	1.00
4	-62	1.49	-63	0.63	-67	2.22	-69	0.54	-67	1.22	-61	0.32	-42	2.27	-63	1.04
5	-64	1.95	-63	0.63	-68	2.54	-68	0.58	-67	1.22	-61	0.32	-42	2.27	-63	1.04
6	-64	1.95	-62	0.50	-71	3.78	-67	0.62	-66	1.30	-61	0.32	-42	2.27	-62	1.00
7	-64	1.95	-64	0.79	-69	2.90	-66	0.66	-65	1.39	-61	0.32	-42	2.27	-61	0.96
8	-64	1.95	-64	0.79	-68	2.54	-65	0.71	-65	1.39	-61	0.32	-42	2.27	-61	0.96
9	-64	1.95	-64	0.79	-69	2.90	-66	0.66	-64	1.48	-61	0.32	-41	2.43	-61	0.96
10	-65	2.22	-65	1.00	-69	2.90	-67	0.62	-65	1.39	-62	0.40	-41	2.43	-61	0.96

ตารางที่ 49 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R4 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-68	3.31	-66	1.14	-63	1.58	-68	2.90	-44	0.03	-69	1.49	-56	1.30	-55	0.58
2	-68	3.31	-67	1.30	-61	1.00	-68	2.90	-44	0.03	-62	0.59	-56	1.30	-55	0.58
3	-68	3.31	-69	1.70	-60	0.79	-69	3.31	-45	0.03	-64	0.77	-57	1.49	-55	0.58
4	-68	3.31	-69	1.70	-59	0.63	-69	3.31	-44	0.03	-66	1.00	-57	1.49	-55	0.58
5	-67	2.90	-70	1.95	-59	0.63	-69	3.31	-45	0.03	-67	1.14	-57	1.49	-55	0.58
6	-69	3.78	-69	1.70	-59	0.63	-68	2.90	-45	0.03	-68	1.30	-57	1.49	-54	0.54
7	-69	3.78	-69	1.70	-58	0.50	-68	2.90	-45	0.03	-68	1.30	-57	1.49	-53	0.50
8	-69	3.78	-69	1.70	-58	0.50	-68	2.90	-46	0.04	-67	1.14	-58	1.70	-54	0.54
9	-69	3.78	-69	1.70	-58	0.50	-69	3.31	-45	0.03	-68	1.30	-58	1.70	-53	0.50
10	-68	3.31	-69	1.70	-58	0.67	-68	2.90	-45	0.03	-67	1.14	-58	1.70	-54	0.54

ตารางที่ 50 ผลลัพธ์การรับสัญญาณที่จุด R5 ของอุปกรณ์ส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัว แบบใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		
ครั้งที่	RSSI (dB)	Distance (m)														
1	-74	7.36	-55	0.26	-64	1.49	-61	1.14	-72	1.30	-68	1.30	-48	0.45	-66	1.70
2	-74	7.36	-54	0.23	-63	1.30	-62	1.30	-72	1.30	-64	0.77	-49	0.51	-64	1.30
3	-74	7.36	-53	0.20	-64	1.49	-63	1.49	-73	1.49	-67	1.14	-48	0.45	-63	1.14
4	-73	6.45	-54	0.23	-65	1.70	-63	1.49	-73	1.49	-69	1.49	-49	0.51	-63	1.14
5	-72	5.64	-54	0.23	-66	1.95	-63	1.49	-73	1.49	-68	1.30	-49	0.51	-63	1.14
6	-71	4.94	-54	0.23	-66	1.95	-63	1.49	-72	1.30	-68	1.30	-49	0.51	-64	1.30
7	-70	4.32	-54	0.23	-66	1.95	-63	1.49	-72	1.30	-70	1.70	-49	0.51	-64	1.30
8	-70	4.32	-54	0.23	-65	1.70	-64	1.70	-72	1.30	-70	1.70	-49	0.51	-64	1.30
9	-70	4.32	-54	0.23	-65	1.70	-64	1.70	-71	1.14	-70	1.70	-49	0.51	-65	1.49
10	-70	4.32	-54	0.23	-65	1.70	-64	1.70	-70	1.00	-71	1.95	-49	0.51	-65	1.49