

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการประยุกต์ใช้บลูทูธพลังงานต่ำ
INDOOR POSITIONING SYSTEM USING BLUETOOTH LOW
ENERGY DEVICES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการประยุกต์ใช้บลูทูธพลังงานต่ำ
INDOOR POSITIONING SYSTEM USING BLUETOOTH LOW
ENERGY DEVICES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDOOR POSITIONING SYSTEM USING BLUETOOTH LOW
ENERGY DEVICES



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการประยุกต์ใช้บลูทูธพลังงานต่ำ
INDOOR POSITIONING SYSTEM USING BLUETOOTH LOW ENERGY DEVICES

ผู้จัดทำ นายจิรายุ กักสูงเนิน 58010199
นายรัตนโชติ พรสีภาค 58011064




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการประยุกต์ใช้บลูทูธพลังงานต่ำ

โดย

นายจิรายุ	ก๊กสูงเนิน	58010199
นายรัตนโชติ	พรสีภาค	58011064

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

GPS (Global Positioning System) เป็นระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกสามารถบอกตำแหน่งเป็นพิกัด ความเร็วและเวลาแต่ GPS ไม่สามารถระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ โดยปริญญา นิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบทดลองระบบระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารโดยใช้ ESP32 เป็นตัวรับความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator, RSSI) จากบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy, BLE) ที่ติดตั้งที่ตัววัตถุโดยประยุกต์ใช้ความแรงของสัญญาณมาหาระยะทางโดยใช้ Least Square Method และหลังจากนั้นแปลงระยะทางที่ได้เป็นตำแหน่ง โดยการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุเบื้องต้นใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นได้ 2 กระบวนการ เกิดจากการเปลี่ยนค่าของความแรงสัญญาณเป็นระยะทางและเกิดจากการเปลี่ยนระยะทางมาระบุตำแหน่ง ทางผู้วิจัยสามารถเพิ่มความแม่นยำได้จากการใช้ตัวกรองข้อมูล Moving Average และสามารถระบุขอบเขตความคลาดเคลื่อนโดยการหา Limit of Detection เพื่อใช้บอกขอบเขตของค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้น จากผลการทดลองนี้มี Limit of Detection ในขอบเขตรัศมี 0.21 เมตรจากจุดเป้าหมาย (0,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDOOR POSITIONING SYSTEM USING BLUETOOTH LOW ENERGY DEVICES

By

Mr.Jirayu Kaksoongnoen 58010199

Mr.Rattanachot Pornsihakank 58011064

Advisor

Asst.Prof.Dr.Don Isarakorn

Academic Year 2018

ABSTRACT

Global Positioning System (GPS) is a system used to track the ground position of an object. The drawback of this system is that it cannot find the indoor location. In this thesis, the indoor position system is proposed, which uses a EPS32 module for signal from Bluetooth Low Energy (BLE) to indicate the signal strength through the Least Square Method (LSM); a EPS32 module is fixed and the BLE is attached to a moving object. The position of an object is found from its moving distance by using the trilateration approach. The positioning error can come from two causes: a calculation of distance from signal strength and a determination of position with distance. An accuracy of a tracking position can be increased by using the moving average filter. The error localizing area can be specified by the limit of detection method. The result show that the error radius is proximately 0.21 meter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ นายศุภวัฒน์ ชัยสวัสดิ์ พี่ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษา และเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจกันมาตลอด

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา พี่ๆ และน้องๆ ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้ ขอขอบคุณที่ท่านให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาตลอด



ผู้จัดทำ

นายจิรายุ กักสูงเนิน

นายรัตนโชติ พรสี่ภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 BLE (Bluetooth Low Energy)	4
2.2 ฟังก์ชันระบบ Bluetooth Low Energy Beacons	5
2.3 การเขียนเส้นโค้งให้ฟิตกับข้อมูลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด	6
2.4 การหาความคลาดเคลื่อนกำลัง 2 รวม	7
2.5 วิธีการพยากรณ์ EWMA (Exponentially Weighted Moving Average)	7
2.6 วิธีหาตำแหน่งโดยใช้เรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยม (Trilateration)	9
บทที่ 3 การออกแบบและการทดลอง	14
3.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	14
3.1.1 ESP32	14
3.1.2 BLE	14
3.2 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง	14
3.3.1 Arduino IDE	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.2 Desmos Graph	15
3.4 การทดลองเก็บข้อมูล	15
3.4.1 การทดลองเก็บข้อมูลค่า RSSI	16
3.5 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทาง	17
3.6 การเขียนโปรแกรม	17
3.6.1 การเขียนโปรแกรมให้ตัว ESP32 รับค่า RSSI ที่ปล่อยออกมาจากตัว BLE	17
3.6.2 การเขียนโปรแกรม Moving Average	18
3.6.3 การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง	18
3.6.4 การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสาม	19
3.7 การทดลองหาระยะทางของวัตถุ	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ผลการเก็บค่า RSSI ระหว่าง ESP32 กับ BLE ในช่วง 0-1.5 เมตร	21
4.1.1 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	21
4.1.2 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	22
4.1.3 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 3 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	24
4.2 ผลการนำค่าระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 ตัวมาคำนวณหาตำแหน่ง	26
4.2.1 ระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 จุด	26
4.2.2 ตำแหน่งที่เกิดจากการคำนวณทั้ง 25 ตำแหน่ง	27
4.2.3 กราฟแสดงตำแหน่งของวัตถุที่เกิดจากการคำนวณ	28
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา	29
5.3 แนวทางการนำไปต่อยอดในการค้นคว้า	29
เอกสารอ้างอิง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก ESP32	33
ภาคผนวก ข BLE	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบดาวเทียม GPS	1
1.2 แผนที่นำทาง GPS	2
2.1 Bluetooth Low Energy	4
2.2 Client-based	5
2.3 Server-based	6
2.4 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ	9
2.5 การหาตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration	10
2.6 รัศมีวงกลมตัดกันพอดีทั้ง 3 วง เกิดจุดตัด 1 จุด	11
2.7 รัศมีวงกลมทั้ง 3 วงตัดกันแต่ไม่พอดี	12
2.8 รัศมีวงกลม 1 วงตัดกับรัศมีวงกลมอีก 2 วงโดยที่รัศมีวงกลมทั้ง 2 วงนั้นไม่ตัดกัน	12
2.9 รัศมีวงกลมตัดกันเพียง 1 คู่	13
2.10 รัศมีวงกลมไม่ตัดกันทั้ง 3 วง	13
3.1 Module ESP32	14
3.2 Modute BLE	14
3.3 Arduino IDE	15
3.4 Desmos Graph	15
3.5 ด้านทั้ง 4 ของ BLE	15
3.6 ตัวอย่างการวัดเก็บค่า RSSI	16
3.7 ตัวอย่างการทดลองเก็บข้อมูลค่า RSSI ทั้ง 4 ด้าน	16
3.8 ฟังก์ชันโปรแกรม Scan หาค่า RSSI	17
3.9 ฟังก์ชันโปรแกรมตัวกรองค่า RSSI	18
3.10 ฟังก์ชันโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง	18
3.11 ฟังก์ชันโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสาม	19
3.12 การวางตำแหน่งของ ESP32 และ BLE ในโปรแกรม Desmos Graph	20
3.13 การวางตำแหน่งของ ESP32 และ BLE	20

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	21
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	23
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 3 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	24
4.4 กราฟแสดงตำแหน่งของวัตถุที่เกิดจากการทำนาย	28



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลของ Bluetooth	5
2.2 ตัวอย่างการพยากรณ์ความแรงของสัญญาณจำนวน 10 ครั้งในระยะ 0.25 เมตร	8
4.1 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	21
4.2 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	22
4.3 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 3 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน	24
4.4 ระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 ตัว	26
4.5 ตำแหน่งที่เกิดจากการทำนายทั้ง 25 ตำแหน่ง	27



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

GPS คือ ระบบดาวเทียมนำร่องเพื่อระบุข้อมูลของตำแหน่งและเวลา โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากตำแหน่งของดาวเทียมต่างๆ ที่โคจรอยู่รอบโลกทำให้สามารถระบุตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลกและในทุกสภาพอากาศ รวมถึงสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางเพื่อนำมาใช้ร่วมกับแผนที่ในการนำทางได้ ระบบการทำงานของ GPS จะทำงานผ่านดาวเทียม GPS ซึ่งจะโคจรเอียงทำมุม 55 องศากับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โดยจะแบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร การโคจรจะสวนทางหรือสวนกันคล้ายลูกตะกั่ว แต่ดวงจะประสานกับดาวเทียมจำนวน 4 ดวง โดยจะอยู่ห่างหรือสูงขึ้นไปในอวกาศถึง 12,600 ไมล์ ซึ่งแต่ละดวงจะต้องใช้เวลาในการโคจรรอบโลกดวงละประมาณ 12 ชั่วโมง การทำงาน GPS จะรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยการระบุตำแหน่งและเวลาในการส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบดาวเทียม GPS

ที่มา: <https://www.prosoftgps.com>

คุณสมบัติของ GPS ทำให้สามารถระบุตำแหน่งได้ มีความสะดวกในการเดินทางคมนาคมทั้งทางบก น้ำ และอวกาศ ใช้ GPS กำหนดสถานที่ต่างๆ และการทำแผนที่นำทาง ดังรูปที่ 1.2 การนำ GPS มาใช้ในการติดตาม เช่น ติดตามรถบรรทุก การนำ GPS มาใช้ในระบบภูมิศาสตร์ การติดตั้ง GPS บนรถแท็กซี่เพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด หรือการขับรถเพื่อท่องเที่ยวก็จะมีคำแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวพร้อมสถานที่ที่น่าสนใจต่างๆ เช่น ที่พัก จุดชมวิว ร้านอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แผนที่นำทาง GPS

ที่มา: Google Map

GPS มีข้อจำกัดเมื่อนำมาใช้ในอาคาร เนื่องจากจีพีเอสใช้การวัดเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับวัตถุด้วยความเร็วแสง เมื่อใช้ในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางสัญญาณดาวเทียมทำให้ไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้ประยุกต์ใช้การสื่อสารแบบไร้สาย BLE มาใช้งานเนื่องจากใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก ขนาดเล็กพกพาได้สะดวก และการติดตั้งสามารถทำได้ง่าย โดยประยุกต์ใช้ Beacon ที่อยู่ใน ESP32 รับความแรงสัญญาณเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง

เพื่อประยุกต์การระบุตำแหน่งโดยใช้การสื่อสารแบบไร้สาย BLE อย่างมีประสิทธิภาพ ปรินุญนิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกศึกษาการออกแบบทดลองระบบระบุตำแหน่งโดยอาศัยความเข้มของสัญญาณในตัว BLE แล้วนำความเข้มของสัญญาณมาหาระยะทาง และนำระยะมาระบุตำแหน่งของวัตถุ เพื่อที่จะสามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปรินุญนิพนธ์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ BLE ในการประยุกต์ใช้คำนวณระยะทางจากความเข้มของสัญญาณ
2. หาขอบเขตความคลาดเคลื่อน (Limit of Detection) ของการหาตำแหน่งวัตถุโดยใช้ RSSI จากตัว BLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. สั่งซื้ออุปกรณ์
3. ศึกษาเกี่ยวกับ Library ที่ใช้ในการรับค่า RSSI ของตัว ESP32 เพื่อใช้รับค่า RSSI จากตัว BLE
4. เขียนโปรแกรมรับค่า RSSI
5. เก็บข้อมูลค่า RSSI ที่ระยะ 0-1.5 เมตร โดยเพิ่มทีละ 0.25 โดยจะเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ด้านของตัว BLE เพราะแต่ละด้านให้ค่า RSSI ที่ไม่เท่ากัน
6. นำค่า RSSI มาผ่าน Least Square Method เพื่อหาสมการป้อนกลับในการหาระยะทาง
7. นำระยะทางที่ได้มาหาค่าตำแหน่งของวัตถุโดยใช้วิธี Trilateration
8. นำตำแหน่งที่ได้ไป Plot ใน Desmos Graph
9. สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานทำวิจัย

1.4 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และ 5 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงที่มาของปฏิญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของการทำปฏิญานิพนธ์ ขอบเขตของโครงการ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ การเพิ่มเติมความรู้ทฤษฎี

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน เป็นการอธิบายขั้นตอนการทดลองในการรับค่าความเข้มของสัญญาณจาก BLE ในแต่ละระยะ

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน เป็นการแสดงผลการทดลอง รวมถึงอธิบายถึงวิธีการอ่านค่าที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ เป็นบทสรุปภาพรวมของงานวิจัยรวมถึงสิ่งที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

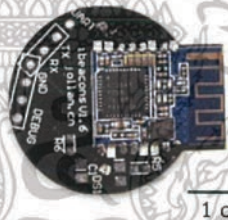
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 BLE (Bluetooth Low Energy)

เป็นคุณลักษณะของเทคโนโลยีบลูทูธ 4.0 ที่มีเป้าหมายในการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ไร้สายรุ่นใหม่ที่ใช้พลังงานต่ำ รูปแบบในการสื่อสารของ BLE สื่อสารกันใน 2 ลักษณะคือ Broadcasting & Observing และ Connections ซึ่ง Broadcasting & Observing เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อย่างสมบูรณ์ รูปแบบนี้แบ่งหน้าที่ของอุปกรณ์ออกเป็นสองหน้าที่คือ Broadcaster ทำหน้าที่ปล่อยข้อมูลออกมาและ Observer ทำหน้าที่รับฟังและเก็บข้อมูล ส่วน Connections เป็นการสื่อสารแบบสองทาง มีการสร้างเส้นทางการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ชัดเจน ใช้ส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบแรก แบ่งหน้าที่อุปกรณ์ออกเป็นสองหน้าที่คือ Master หมายถึงอุปกรณ์ที่มีความสามารถสูง คอยตรวจสอบสัญญาณความต้องการการสื่อสารเป็นระยะ และ Slave หมายถึงอุปกรณ์ขนาดเล็กคอยส่งสัญญาณความต้องการสื่อสารออกไป เมื่อการสื่อสารติดตั้งเรียบร้อยแล้วก็จะทำตามที่ Master กำหนด ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Bluetooth Low Energy
ที่มา: <https://www.arduinoall.com>

Bluetooth คือ ระบบการสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ที่ใช้เทคนิคการส่งคลื่นวิทยุระยะสั้นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างอุปกรณ์ต่างชนิดกัน โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือสายสัญญาณเชื่อมต่อ บลูทูธจะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz. แต่จะแยกย่อยออกไปตามแต่ละประเทศ ระยะของบลูทูธจะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสารโดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลของ Bluetooth

Bluetooth Version	Max Data Rate
1.0	1 Mbps
2.0	2.1 Mbps
2.0+EDR	3 Mbps
3.0+HS	24 Mbps
4.0	24 Mbps

2.2 ฟังก์ชันระบบ Bluetooth Low Energy Beacons

Bluetooth Beacons เป็นเครื่องส่งสัญญาณวิทยุขนาดเล็กที่ส่งสัญญาณในรัศมี 10-30 เมตร ข้อดีของ Beacons ที่เห็นได้ชัดเจนนคือ มีประสิทธิภาพในการประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถติดตั้งได้ง่าย สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำภายในรัศมี 1 เมตร และสามารถรองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ฟังก์ชันระบบ BLE ประหยัดพลังงานมาก Beacons สามารถใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันได้ทั้งในรูปแบบ Client-based ดังรูปที่ 2.2 และแบบ Server-based ดังรูปที่ 2.3 หากข้อมูลตำแหน่งแสดงโดยตรงบนโทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟนจะรับสัญญาณบลูทูธจากเสาสัญญาณที่ติดตั้งในอาคาร และใช้การวัดความแรงของสัญญาณสำหรับการคำนวณ



รูปที่ 2.2 Client-based

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณ คือ

$$S = E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2 = \sum_{\alpha=1}^n E_{\alpha}^2$$

และมีสมการปกติที่สอดคล้อง คือ

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0, \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial a_p} = 0$$

ซึ่งผลจากการดำเนินการหาอนุพันธ์ข้างต้นนี้จะพบว่ามีพจน์ต่างๆ ต่อไปนี้เกิดขึ้น คือ

$$\begin{aligned} \Sigma y &= na_0 + a_1 \Sigma x + a_2 \Sigma x^2 + \dots + a_p \Sigma x^p \\ \Sigma xy &= a_0 \Sigma x + a_1 \Sigma x^2 + a_2 \Sigma x^3 + \dots + a_p \Sigma x^{p+1} \\ \Sigma x^2 y &= a_0 \Sigma x^2 + a_1 \Sigma x^3 + a_2 \Sigma x^4 + \dots + a_p \Sigma x^{p+2} \\ &\dots \\ \Sigma x^p &= a_0 \Sigma x^p + a_1 \Sigma x^{p+1} + a_2 \Sigma x^{p+2} + \dots + a_p \Sigma x^{2p} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ระบบสมการจำนวน $p + 1$ สมการนี้ทำให้สามารถหาค่า ส.ป.ส. $a_0, a_1, a_2, \dots, a_p$ ที่ต้องการได้เพียงเซตเดียวเท่านั้นที่เมื่อนำไปแทนลงในสมการที่ (2.1) แล้วได้ฟังก์ชันตัวแทนของข้อมูลดิบเหล่านั้น

2.4 การหาความคลาดเคลื่อนกำลัง 2 รวม

ความคลาดเคลื่อนกำลัง 2 คือ ตัวบ่งบอกว่าเส้นโค้งที่ได้สร้างให้พิดกับข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเพียงใด มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากน้อยแค่ไหน ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E = \sum_{\alpha=1}^n (y_{\alpha} - P_k(x_{\alpha}))^2 \quad (2.5)$$

y_{α} = ค่าที่ได้จากการวัดจริงในแต่ละตำแหน่ง

$P_k(x_{\alpha})$ = ค่าที่ทำนายจากสมการที่ได้ในแต่ละตำแหน่ง

2.5 วิธีการพยากรณ์ EWMA (Exponentially Weighted Moving Average)

การพยากรณ์สามารถนำมาช่วยกำหนดทรัพยากรในปัจจุบัน และทำให้ทราบว่าทรัพยากรที่มีอยู่ได้ถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ลักษณะการใช้งานเป็นอย่างไร เพื่อที่องค์กรจะสามารถจัดหาทรัพยากรอื่นๆ มาเพิ่มจากข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันกับระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponentially Weighted Moving Average : EWMA) เป็นวิธีที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลแต่ละค่าไม่เท่ากัน โดยจะให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากที่สุด และให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตน้อยลง โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักหรือสัมประสิทธิ์ปรับให้เรียบ (เรียกว่า ค่าแอลฟา : α) โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad (2.6)$$

โดยที่

F_{t+1} คือ ค่าการพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t คือ ค่าจริงที่ผ่านมาล่าสุด

F_t คือ ค่าการพยากรณ์ที่ผ่านมาล่าสุด

α คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือสัมประสิทธิ์ปรับให้เรียบ ($0 < \alpha < 1$)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการพยากรณ์ความแรงของสัญญาณจำนวน 10 ครั้งที่ระยะ 0.25 เมตร

จำนวนครั้ง	ค่าจริง (dBm)	ค่าที่ได้จากการคำนวณ (dBm)
1	-59	-59
2	-50	-59
3	-52	-57.20
4	-59	-56.16
5	-50	-56.73
6	-52	-55.38
7	-51	-54.71
8	-58	-53.96
9	-50	-54.77
10	-51	-53.82

โดยที่กำหนดให้ค่าเริ่มต้นการพยากรณ์ที่สัญญาณครั้งแรก มีค่าเท่ากับค่าสัญญาณจริง และค่าถ่วงน้ำหนัก 0.2 ดังรูปที่ 2.4

$$F_1 = -59$$

$$F_2 = 0.2(-59) + (1-0.2)(-59) = -59$$

$$F_3 = 0.2(-50) + (1-0.2)(-59) = -57.20$$

$$F_4 = 0.2(-52) + (1-0.2)(-57.20) = -56.16$$

$$F_5 = 0.2(-59) + (1-0.2)(-56.16) = -56.73$$

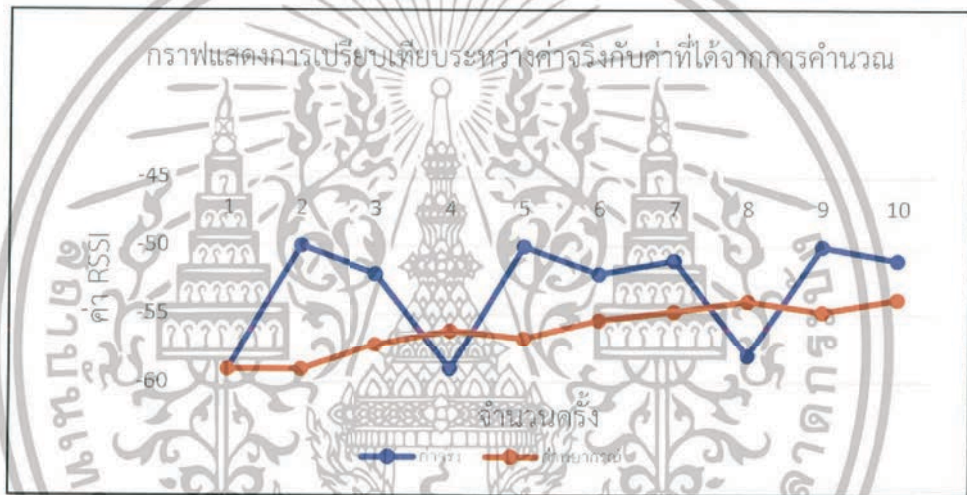
$$F_6 = 0.2(-50) + (1-0.2)(-56.73) = -55.38$$

$$F_7 = 0.2(-52) + (1-0.2)(-55.38) = -54.71$$

$$F_8 = 0.2(-51) + (1-0.2)(-54.71) = -53.96$$

$$F_9 = 0.2(-58) + (1-0.2)(-53.96) = -54.77$$

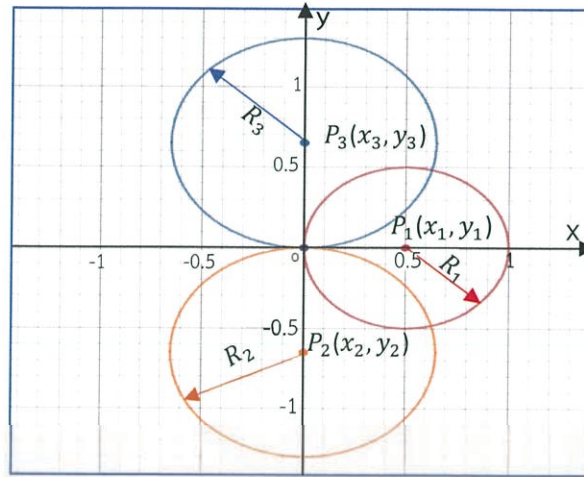
$$F_{10} = 0.2(-50) + (1-0.2)(-54.77) = -53.82$$



รูปที่ 2.4 กราฟการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

2.6 วิธีหาตำแหน่งโดยใช้เรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยม (Trilateration)

วิธีหาตำแหน่งจากเรขาคณิตของรูปสามเหลี่ยมเป็น วิธีการหาตำแหน่งเป้าหมายในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน 2 มิติในแนวแกน x และแกน y ซึ่งต้องอาศัยตำแหน่งอ้างอิงอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) และระยะทางจากตำแหน่งอ้างอิงไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยนำไปเป็นรัศมีวงกลม (r_1, r_2, r_3) ในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุ (x, y) จากจุดตัดที่เกิดขึ้นของวงกลมทั้ง 3 วงที่ตัดกัน โดยวิธีแก้สมการที่ (2.7) ถึง (2.9) หาค่า x และ y ในส่วนของการหารัศมีวงกลมจะใช้หลักการแปลงค่า RSSI เปลี่ยนเป็นระยะทาง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การหาค่าตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \quad (2.7)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \quad (2.8)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \quad (2.9)$$

ทำการแก้สมการที่ (2.7) ถึง (2.9) โดยการนำสมการที่ (2.7)-(2.9) จะได้รูปสมการที่ (2.10) และนำสมการที่ (2.8)-(2.9) จะได้รูปสมการที่ (2.11) แล้วจัดรูปให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ดังสมการที่ (2.12)

$$x_1^2 - x_3^2 + 2x(x_3 - x_1) + y_1^2 - y_3^2 + 2y(y_3 - y_1) = r_1^2 - r_3^2 \quad (2.10)$$

$$x_2^2 - x_3^2 + 2x(x_3 - x_2) + y_2^2 - y_3^2 + 2y(y_3 - y_2) = r_2^2 - r_3^2 \quad (2.11)$$

จัดรูปสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

กำหนดให้

$$A = 2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $AC = B$, $C = A^{-1}B$

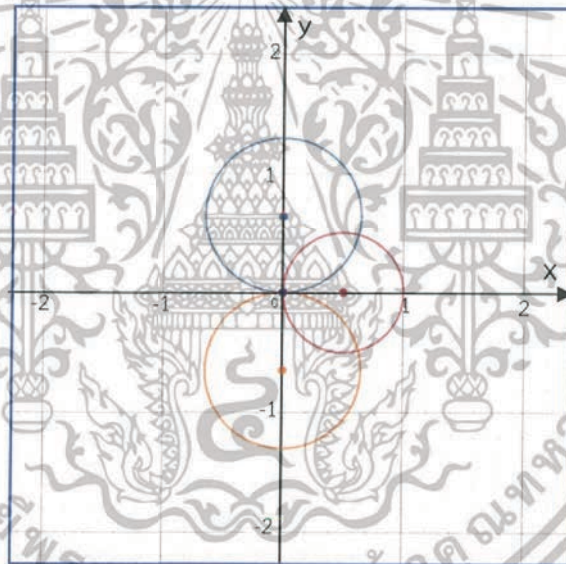
จากรูปเมทริกซ์แก้สมการหา C จะได้ค่า x และ y

โดยรูปแบบสถานะที่เกิดกับการทดลองนี้จะเกิด 5 กรณี

ในแต่ละกรณีจะมีการเกิดการตัดกันของรัศมีวงกลมที่แตกต่างกัน กรณีที่ 1 รัศมีวงกลมตัดกันพอดีทั้ง 3 วงเกิดจุดตัดกัน 1 จุด กรณีที่ 2 รัศมีวงกลมตัดกันแต่ไม่พอดี กรณีที่ 3 รัศมีรัศมีวงกลม 1 วงตัดกับรัศมีวงกลมอีก 2 วงโดยที่รัศมีวงกลมทั้ง 2 วงนั้นไม่ตัดกัน กรณีที่ 4 รัศมีวงกลมตัดกัน 1 คู่ กรณีที่ 5 รัศมีวงกลมไม่ตัดกันทั้ง 3 วง

กรณีที่ 1

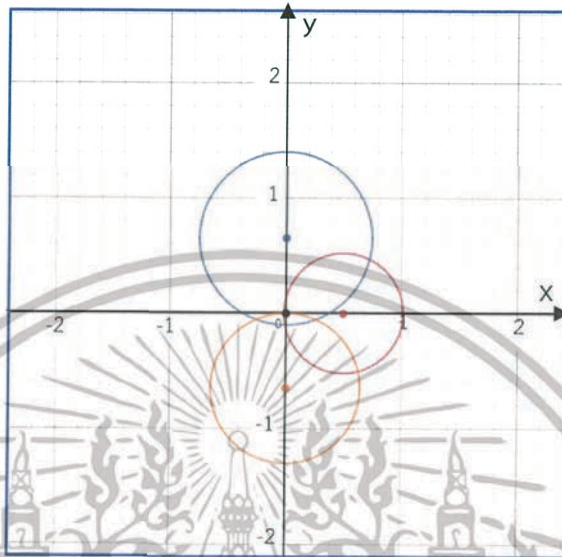
รัศมีวงกลมตัดกันพอดีทั้ง 3 วง เกิดจุดตัด 1 จุด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รัศมีวงกลมตัดกันพอดีทั้ง 3 วง เกิดจุดตัด 1 จุด

กรณีที่ 2

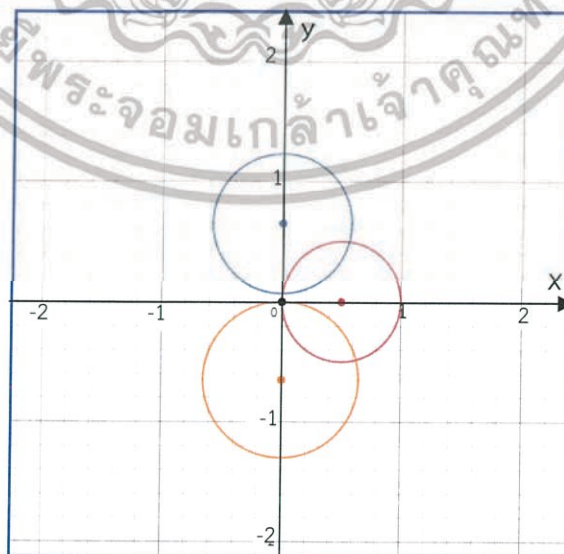
รัศมีวงกลมทั้ง 3 วงตัดกันแต่ไม่พอดีเกิดจากการเพิ่มรัศมีวงกลมสีฟ้า ส่วนวงกลมอีก 2 วงมีรัศมีเท่าเดิมเมื่อเทียบรัศมีวงกลมจากกรณีสถานะที่ 1 ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รัศมีวงกลมทั้ง 3 วงตัดกันแต่ไม่พอดี

กรณีที่ 3

รัศมีวงกลม 1 วงตัดกับรัศมีวงกลมอีก 2 วงโดยที่รัศมีวงกลมทั้ง 2 วงนั้นไม่ตัดกันเกิดจากการลดรัศมีวงกลมสีฟ้า ส่วนวงกลมอีก 2 วงมีรัศมีเท่าเดิมเมื่อเทียบรัศมีวงกลมจากกรณีสถานะที่ 1 ดังรูปที่ 2.8

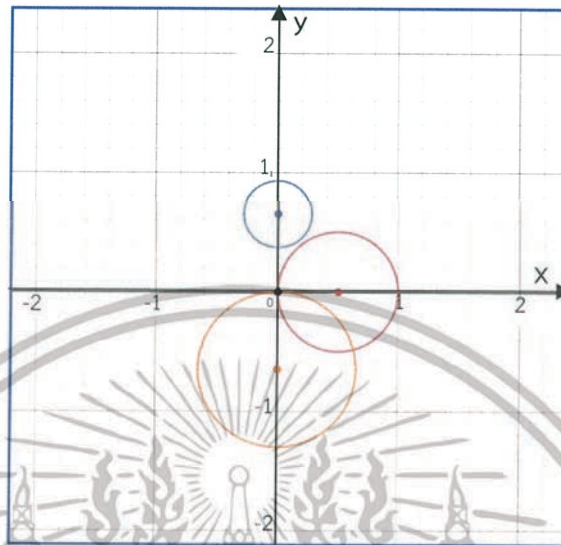


รูปที่ 2.8 รัศมีวงกลม 1 วงตัดกับรัศมีวงกลมอีก 2 วงโดยที่รัศมีวงกลมทั้ง 2 วงนั้นไม่ตัดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 4

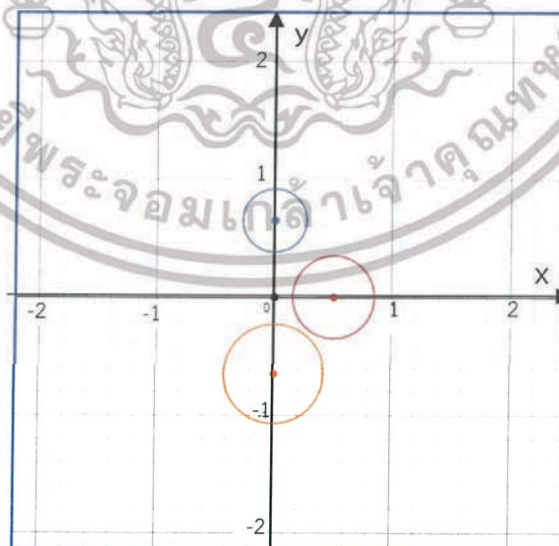
รัศมีวงกลมตัดกันเพียง 1 คู่ เกิดจากการลดรัศมีวงกลมสีฟ้าโดยที่ลดค่ารัศมีลงมาจนรัศมีไม่ตัดกับรัศมีวงกลมอื่น ส่วนวงกลมอีก 2 วงมีรัศมีเท่าเดิมเมื่อเทียบรัศมีวงกลมจากกรณีสถานะที่ 1 ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รัศมีวงกลมตัดกันเพียง 1 คู่

กรณีที่ 5

รัศมีวงกลมไม่ตัดกันทั้ง 3 วง เกิดจากการลดรัศมีวงกลมสีฟ้า และรัศมีวงกลมสีส้มจนรัศมีวงกลมไม่ตัดกันทั้ง 3 วง ส่วนวงกลมอีก 1 วงรัศมีเท่าเดิมเมื่อเทียบรัศมีวงกลมจากกรณีสถานะที่ 1 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รัศมีวงกลมไม่ตัดกันทั้ง 3 วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

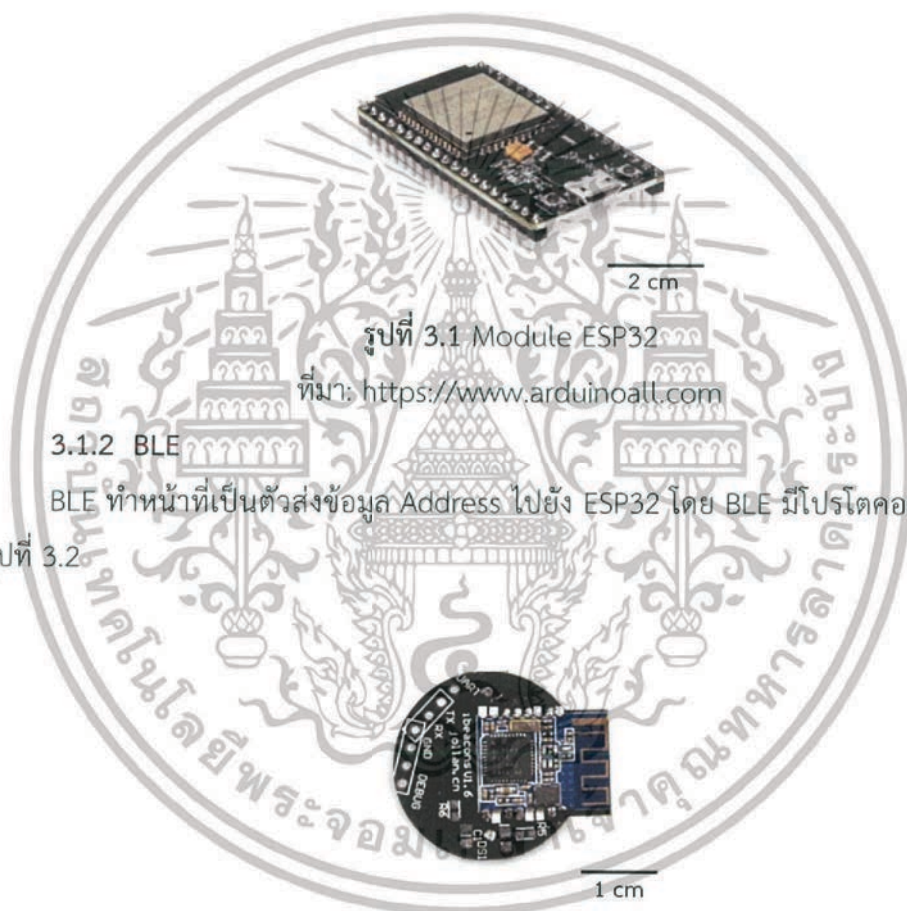
บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ESP32

ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ WIFI มีความสามารถในการเชื่อมต่อ BLE โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับความแรงของสัญญาณ RSSI จาก BLE ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Module ESP32

ที่มา: <https://www.arduinoall.com>

3.1.2 BLE

BLE ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูล Address ไปยัง ESP32 โดย BLE มีโปรโตคอลคือ Beacon

ดังรูปที่ 3.2

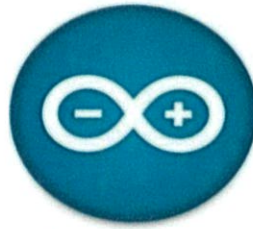
รูปที่ 3.2 Module BLE

ที่มา: <https://www.arduinoall.com>

3.2 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 Arduino IDE

Arduion IDE คือ ซอฟต์แวร์สำหรับใช้เขียนคำสั่ง (Program) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Arduino IDE

ที่มา: <http://www.arduion.cc>

3.3.2 Desmos Graph

Desmos Graph เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับแสดงกราฟและแสดงตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 Desmos Graph

ที่มา: <https://www.desmos.com/calculator>

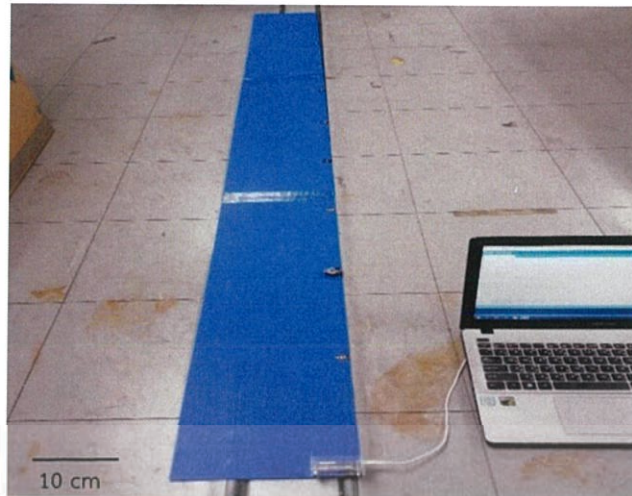
3.4 การทดลองเก็บข้อมูล

ในการทดลองจะใช้ ESP32 จำนวน 3 ตัว BLE จำนวน 1 ตัว โดยการทดลองจะเก็บข้อมูลค่า RSSI ของตัว BLE ทั้งหมด 4 ด้าน ดังรูปที่ 3.5 และรูปแสดงตัวอย่างการวัดเก็บค่า RSSI ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ด้านทั้ง 4 ของ BLE

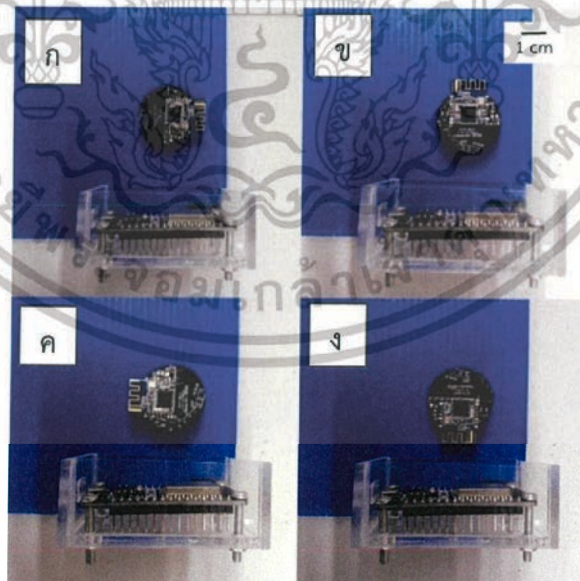
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการวัดเก็บค่า RSSI

3.4.1 การทดลองเก็บข้อมูลค่า RSSI

ในการทดลองจะเก็บข้อมูลค่า RSSI ของ ESP32 ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 3 โดยจะวัดในด้านที่ 1 ถึงด้านที่ 4 ของ BLE ในการทดลองจะนำ BLE มาเก็บข้อมูลในช่วงระยะที่ 0 เมตรถึง 1.5 เมตร โดยเริ่มต้นที่ 0 เมตรและเพิ่มทีละ 0.25 เมตร เพิ่มค่าไปเรื่อยๆ จนถึง 1.5 เมตร วัดตำแหน่งละ 200 ค่าตามลำดับ และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยที่ต้องเก็บค่า RSSI ทั้ง 4 ด้านเพราะค่า RSSI ที่ได้ในแต่ละด้านมีให้ค่าไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการทดลองเก็บข้อมูลค่า RSSI ทั้ง 4 ด้านตามลำดับ



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการทดลองเก็บข้อมูลค่า RSSI ทั้ง 4 ด้าน

(ก) ด้านที่ 1 (ข) ด้านที่ 2 (ค) ด้านที่ 3 (ง) ด้านที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทาง

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเก็บค่า RSSI ในช่วง 0-1.5 เมตรระหว่างตัว BLE กับ ESP32 แล้วก็จะนำค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ได้ในแต่ละจุดมาทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทาง โดยใช้ Least Square Method ที่มีอยู่ในโปรแกรม Excel โดยการเรียกใช้ Function Trendline ก็จะได้สมการพหุนามกำลัง 2 เพื่อใช้ในการป้อนค่ากลับแล้วแก้สมการหาระยะทาง

ขั้นตอนการ Least Square Method ที่มีอยู่ในโปรแกรม Excel

1. Polynomial Order 2
2. Display Equation on Chart
3. Display R-squared Value on Chart

3.6 การเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการรับค่า RSSI ของตัว BLE ผ่านทางตัว ESP32 ที่มี Function ในการรับคลื่นสัญญาณ BLE ภายในตัวเพื่อนำค่า RSSI ของ BLE ไปแทนค่าในสมการพหุนามกำลังสองที่ได้จาก Least Square Method เพื่อแก้สมการหาระยะทางระหว่างอุปกรณ์แล้วนำระยะทางที่ได้ไปคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้วิธี Trilateration นั้นการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งย่อยออกมาเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การเขียนโปรแกรมให้ตัว ESP32 รับค่า RSSI ที่ปล่อยออกมาจากตัว BLE
2. การเขียนโปรแกรม Moving Average
3. การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง
4. การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสามที่ได้จากวิธี Trilateration

3.6.1 การเขียนโปรแกรมให้ตัว ESP32 รับค่า RSSI ที่ปล่อยออกมาจากตัว BLE

```
int scanTime = 1, a=0, b, RSSI[15]; //In seconds
BLEScan *pBLEScan;

class MyAdvertisedDeviceCallbacks: public BLEAdvertisedDeviceCallbacks {
  void onResult(BLEAdvertisedDevice advertisedDevice) {
    String Address = advertisedDevice.getAddress().toString().c_str();
    if( Address == "3c:a3:08:97:eb:0b" )
    {
      //Serial.println(advertisedDevice.toString().c_str());
      //Serial.println(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str());
      if (advertisedDevice.haveRSSI()){
        Serial.println(advertisedDevice.getRSSI());
        RSSI[b]=advertisedDevice.getRSSI();
        b++;
        //Serial.println(b);
      }
    }
    // else Serial.printf("\n");
  }
}
```

รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันโปรแกรม Scan หาค่า RSSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การเขียนโปรแกรม Moving Average

เขียนโปรแกรม Moving Average เพื่อใช้ในการกรองค่า RSSI ที่ตัว ESP32 ได้รับจากตัว BLE เพื่อให้สัญญาณเสถียรขึ้น ดังรูปที่ 3.9

```
double Move_Avg(double *Rssi)
{
    double MavPos,Mav;

    for(int i=0;i<25;i++)
    {
        if(i==0)
        {
            MavPos=Rssi[0];
        }
        Mav=0.5*Rssi[i]+(1-0.5)*MavPos;
        MavPos=Mav;
        printf("%0.5lf\n",Mav);
    }
}
```

รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันโปรแกรมตัวกรองค่า RSSI

3.6.3 การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง

เนื่องจาก Least Square Method จะทำให้เกิดสมการพหุนามกำลังสองจึงต้องเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.10

```
double Quad_Equ(double Rssi)
{
    double a, b, c, discriminant, root1, root2, realPart, imaginaryPart;
    a=37.875;
    b=-65.228;
    c=-44.523-Rssi;
    discriminant = b*b-4*a*c;
    if (discriminant > 0)
    {
        root1 = (-b+sqrt(discriminant))/(2*a);
        root2 = (-b-sqrt(discriminant))/(2*a);
    }
    else if (discriminant == 0)
    {
        root1 = root2 = -b/(2*a);
    }
    else
    {
        realPart = -b/(2*a);
        imaginaryPart = sqrt(-discriminant)/(2*a);
    }
    return root2;
}
```

รูปที่ 3.10 ฟังก์ชันโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสาม

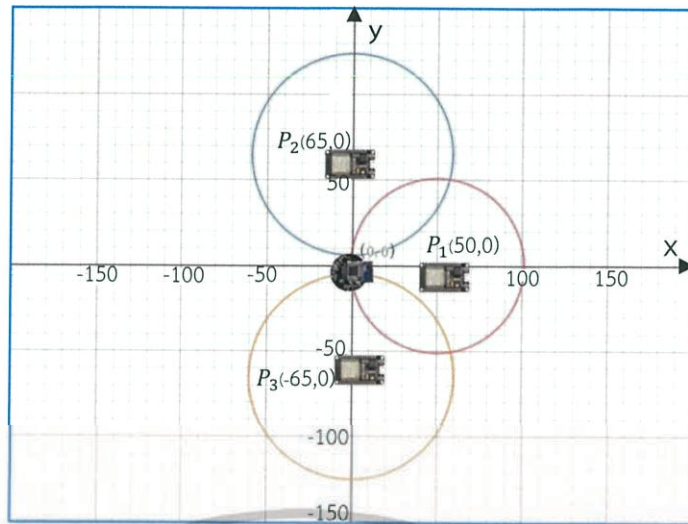
เนื่องจากวิธี Trilateration จะทำให้เกิดสมการพหุนามกำลังสามจึงต้องเขียนโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสอง เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุ ดังรูปที่ 3.11

```
double Position
(double Radius1,long PosX1,long PosY1,double Radius2,long PosX2,long PosY2,double Radius3,long PosX3,long PosY3)
{
    double A,B,C,D,E,F,det,X,Y;
    A=(2)*(PosX3-PosX1);
    B=(2)*(PosY3-PosY1);
    C=(2)*(PosX3-PosX2);
    D=(2)*(PosY3-PosY2);
    E=pow(Radius1,2)-pow(Radius3,2)-(pow(PosX1,2)-pow(PosX3,2))-(pow(PosY1,2)-pow(PosY3,2));
    F=pow(Radius2,2)-pow(Radius3,2)-(pow(PosX2,2)-pow(PosX3,2))-(pow(PosY2,2)-pow(PosY3,2));
    det=A*D-C*B;
    X=(E*D-F*B)/det;
    Y=(A*F-C*E)/det;
    printf("%lf,%lf\n",X,Y);
}
```

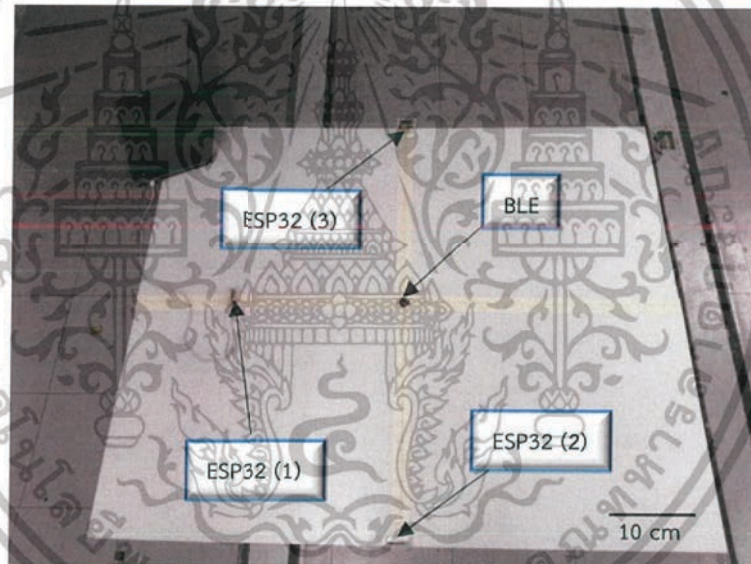
รูปที่ 3.11 ฟังก์ชันโปรแกรมแก้สมการพหุนามกำลังสาม

3.7 การทดลองหาระยะทางของวัตถุ

การทดลองหาตำแหน่งของวัตถุโดยวางตำแหน่งของตัว ESP32 ที่ตำแหน่ง (50,0) , (0,65), (0,-65) เซนติเมตรตามลำดับ และวางตำแหน่งของตัว BLE ที่ตำแหน่ง (0,0) และวัดค่า RSSI ทั้งหมด 25 ค่าในแต่ละจุดที่วาง ESP32 และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละจุด จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ที่ได้ในแต่ละจุดมาทำการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทางโดยใช้ Least Square Method เพื่อหาระยะทางเมื่อได้ระยะทางแล้วนำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งจากทฤษฎี Trilateration เมื่อได้ตำแหน่งแล้วนำค่าตำแหน่งที่ได้ไป Plot ใน Desmos Graph ดังรูปที่ 3.12 และในรูปที่ 3.13 เป็นการวางตำแหน่งเพื่อทดลองจริง โดยทำการวางตำแหน่งของตัว ESP32 ที่ตำแหน่ง (50,0) , (0,65), (0,-65) เซนติเมตรตามลำดับ และวางตำแหน่งของตัว BLE ที่ตำแหน่ง (0,0)



รูปที่ 3.12 การวางตำแหน่งของ ESP32 และ BLE ในโปรแกรม Desmos Graph



รูปที่ 3.13 การวางตำแหน่งของ ESP32 และ BLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

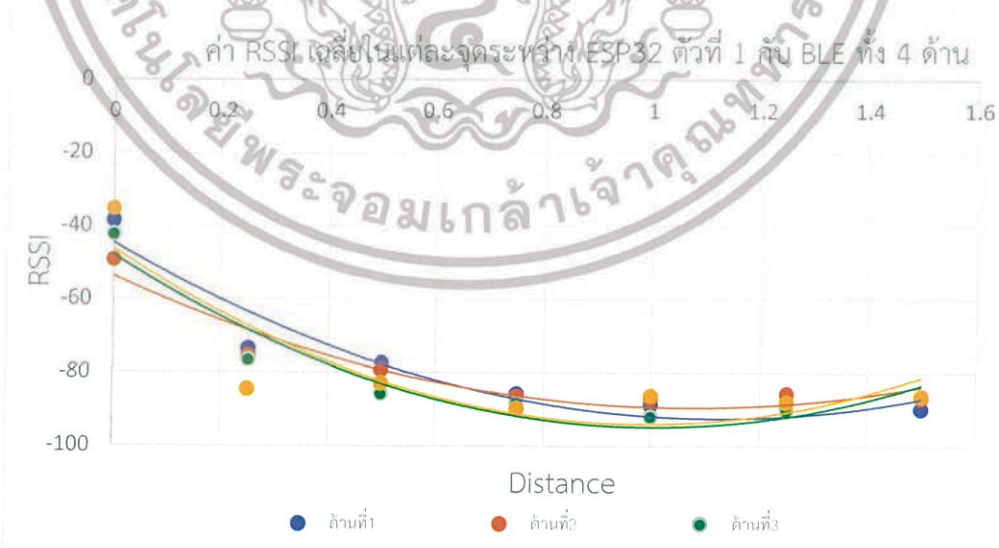
ผลการทดลอง

4.1 ผลการเก็บค่า RSSI ระหว่าง ESP32 กับ BLE ในช่วง 0-1.5 เมตร

4.1.1 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

ตารางที่ 4.1 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

Distance (m)	RSSI ด้าน 1 (dBm)	RSSI ด้าน 2 (dBm)	RSSI ด้าน 3 (dBm)	RSSI ด้าน 4 (dBm)
0	-38.485	-49.185	-42.215	-35.27
0.25	-73.515	-75.45	-76.465	-84.51
0.5	-77.265	-79.165	-85.67	-82.79
0.75	-85.705	-86.405	-88.26	-89.63
1	-88.66	-86.815	-91.95	-86.24
1.25	-90.2	-85.585	-90.305	-87.905
1.5	-89.865	-86.745	-86.125	-86.42



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพหุนามแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความเข้มสัญญาณในแต่ละด้าน

ด้านที่ 1

$$y = 37.875x^2 - 85.228x - 44.523$$

$$R^2 = 0.9216$$

ด้านที่ 2

$$y = 31.221x^2 - 66.917x - 53.658$$

$$R^2 = 0.9168$$

ด้านที่ 3

$$y = 46.514x^2 - 93.441x - 47.853$$

$$R^2 = 0.9253$$

ด้านที่ 4

$$y = 48.983x^2 - 96.859x - 46.121$$

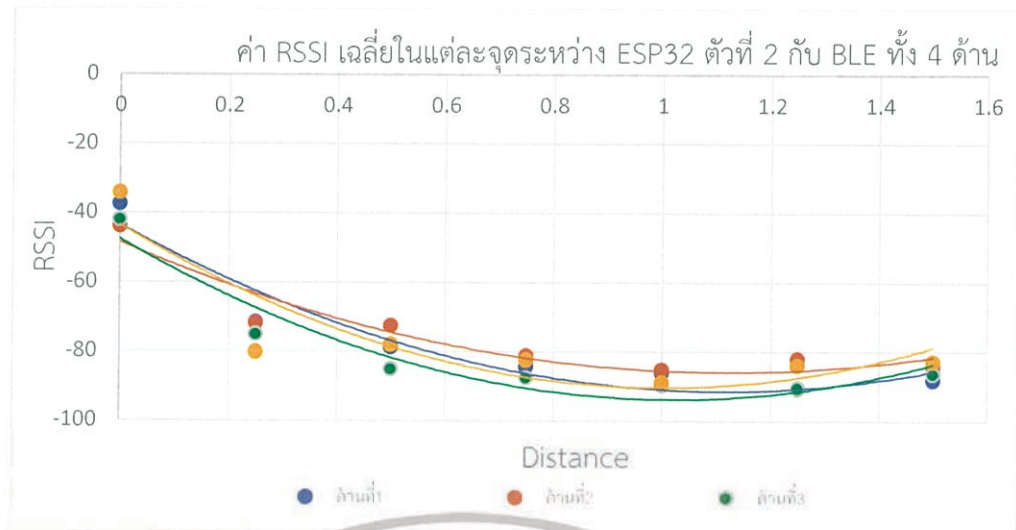
$$R^2 = 0.7729$$

4.1.2 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

ตารางที่ 4.2 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

Distance (m)	RSSI ด้าน 1 (dBm)	RSSI ด้าน 2 (dBm)	RSSI ด้าน 3 (dBm)	RSSI ด้าน 4 (dBm)
0	-37.415	-43.765	-41.95	-34.08
0.25	-71.515	-71.715	-75.01	-80.11
0.5	-78.61	-72.495	-85.055	-77.895
0.75	-84.155	-81.145	-87.455	-82.29
1	-85.92	-85.105	-89.635	-88.81
1.25	-90.475	-81.905	-90.36	-83.79
1.5	-87.965	-84.18	-86.185	-82.715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 2 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

สมการพหุนามแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความเข้มสัญญาณในแต่ละด้าน

ด้านที่ 1

$$y = 38.726x^2 - 86.214x - 43.383$$

$$R^2 = 0.9239$$

ด้านที่ 2

$$y = 30.03x^2 - 67.078x - 48.421$$

$$R^2 = 0.9081$$

ด้านที่ 3

$$y = 44.422x^2 - 90.631x - 47.498$$

$$R^2 = 0.925$$

ด้านที่ 4

$$y = 46.724x^2 - 93.54x - 43.478$$

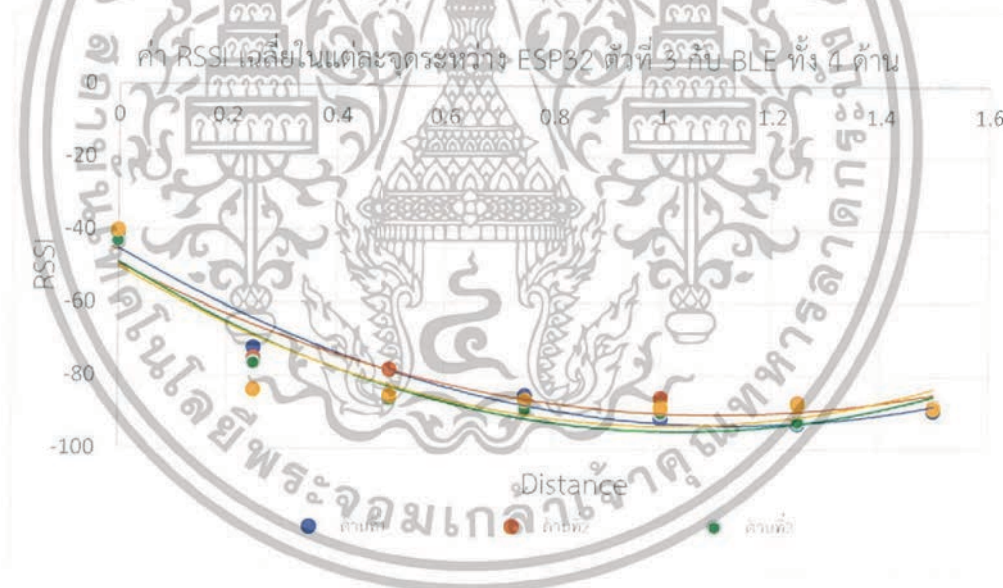
$$R^2 = 0.8047$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ข้อมูลค่า RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 3 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

ตารางที่ 4.3 ค่า RSSI เฉลี่ยในแต่ละจุดระหว่าง ESP32 ตัวที่ 3 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

Distance (m)	RSSI ด้าน 1 (dBm)	RSSI ด้าน 2 (dBm)	RSSI ด้าน 3 (dBm)	RSSI ด้าน 4 (dBm)
0	-40.62	-43.51	-43.02	-40.08
0.25	-72.05	-74.995	-76.235	-83.62
0.5	-78.09	-78.16	-86.27	-85.31
0.75	-85.265	-86.64	-89.085	-86.58
1	-91.495	-85.935	-89.965	-88.41
1.25	-92.825	-87.255	-92.35	-87.45
1.5	-89.265	-88.175	-88.07	-88.525



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI ระหว่าง ESP32 ตัวที่ 1 กับ BLE ทั้ง 4 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพหุนามแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความเข้มสัญญาณในแต่ละด้าน

ด้านที่ 1

$$y = 38.17x^2 - 85.953x - 45.064$$

$$R^2 = 0.9538$$

ด้านที่ 2

$$y = 34.366x^2 - 75.304x - 49.254$$

$$R^2 = 0.9016$$

ด้านที่ 3

$$y = 43.732x^2 - 90.038x - 48.718$$

$$R^2 = 0.9207$$

ด้านที่ 4

$$y = 42.753x^2 - 86.429x - 49.912$$

$$R^2 = 0.7831$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการนำค่าระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 ตัวมาคำนวณหาตำแหน่ง

4.2.1 ระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 จุด

ตารางที่ 4.4 ระยะทางที่ได้จาก ESP32 ทั้ง 3 ตัว

จำนวนครั้ง	จุดที่ 1 (0.5,0) (m)	จุดที่ 2 (0,0.65) (m)	จุดที่ 3 (0,-0.65) (m)
1	0.45	0.58	0.54
2	0.43	0.61	0.57
3	0.55	0.61	0.54
4	0.55	0.58	0.54
5	0.47	0.58	0.57
6	0.49	0.58	0.57
7	0.47	0.61	0.57
8	0.55	0.55	0.6
9	0.55	0.61	0.63
10	0.47	0.58	0.6
11	0.47	0.61	0.6
12	0.47	0.58	0.89
13	0.47	0.63	0.52
14	0.6	0.58	0.57
15	0.55	0.55	0.57
16	0.45	0.55	0.54
17	0.45	0.55	0.54
18	0.49	0.58	0.57
19	0.47	0.58	0.54
20	0.78	1	0.52
21	0.68	0.55	0.63
22	0.47	0.58	0.63
23	0.45	0.61	0.63
24	0.49	0.58	0.63
25	0.49	0.61	0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ตำแหน่งที่เกิดจากการคำนวณทั้ง 25 ตำแหน่ง
 ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งที่เกิดจากการทำนายทั้ง 25 ตำแหน่ง

ตำแหน่ง	X (cm)	Y (cm)
1	-6.100	1.723
2	-3.508	1.769
3	-8.614	2.433
4	-12.289	2.074
5	-9.223	1.263
6	-8.710	0.854
7	-6.596	1.328
8	-10.410	-0.452
9	-9.745	-0.695
10	-7.036	-0.802
11	-4.868	-0.174
12	5.071	-8.054
13	-1.108	-1.120
14	-10.310	-0.309
15	-13.253	-0.595
16	-10.338	-0.073
17	-9.020	0.177
18	-8.612	0.307
19	-8.280	1.018
20	-11.393	12.803
21	-20.703	4.132
22	-10.969	0.850
23	-4.705	-0.049
24	-4.664	-1.200
25	-3.737	-1.078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กราฟแสดงตำแหน่งของวัตถุที่เกิดจากการคำนวณ

วงกลมสีแดง คือ รัศมีของระยะทางที่ได้จาก ESP32 ที่ตำแหน่ง (0.5,0) เมตร

วงกลมสีน้ำเงิน คือ รัศมีของระยะทางที่ได้จาก ESP32 ที่ตำแหน่ง (0.65,0) เมตร

วงกลมสีส้ม คือ รัศมีของระยะทางที่ได้จาก ESP32 ที่ตำแหน่ง (-0.65,0) เมตร

จุดสีเขียว คือ จุดที่ทำนายทั้ง 25 จุด



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงตำแหน่งของวัตถุที่เกิดจากการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่า RSSI ที่เกิดขึ้นระหว่างตัว ESP32 กับ BLE ทั้ง 4 ด้านนั้นให้ผลของค่า RSSI ที่แตกต่างกันในแต่ละด้าน โดยในด้านที่ 4 ของตัว BLE จะให้ค่า RSSI ที่มีความแปรปรวนมากที่สุดตามมาด้วยด้านที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ และค่าที่เกิดจากการคำนวณทั้ง 25 ค่าที่เกิดจากการป้อนค่า RSSI ในสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI มีรัศมีมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.89 เมตร และมีรัศมีมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 0.21 เมตร จึงสรุปได้ว่าการทดลองนี้มี Limit of Detection ในขอบเขตรัศมี 0.21 เมตรจากจุดเป้าหมาย (0,0) และความแม่นยำในการบอกตำแหน่งที่ลดลงนั้น มีผลมาจากความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการแทรกของสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการวัดค่า RSSI เมื่อนำค่า RSSI ไปใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับ RSSI จึงเป็นผลให้ความแม่นยำในการใช้หาตำแหน่งวัตถุลดลง

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ค่าความแม่นยำที่ลดลงเกิดขึ้นได้จาก 2 กระบวนการคือ เกิดจากการแทรกของสัญญาณภายนอกที่มีผลทำให้ค่า RSSI เกิดความแปรปรวนในขณะที่ทำการวัดค่ามีผลทำให้ค่าที่ได้ไม่เสถียรตามอุดมคติที่ได้สันนิษฐานไว้ และเมื่อนำค่า RSSI ที่ได้มาผ่าน Least Square Method เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่า RSSI ที่ใช้ในการหาระยะทางระหว่างวัตถุ มีผลทำให้ให้ระยะทางที่ได้มีความแม่นยำที่ลดลง เนื่องจากค่า RSSI ที่เกิดจากการแทรกของสัญญาณ แนวทางการแก้ไขปัญหาทางผู้วิจัยได้ใช้การกรองข้อมูลโดยวิธี Moving Average การลดค่าความแปรปรวนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการวัดค่า RSSI เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับระบบมากขึ้น เพราะความแปรปรวนของค่า RSSI คือ สาเหตุหลักที่ทำให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งลดลง

5.3 แนวทางการนำไปต่อยอดในการค้นคว้า

1. ค่า RSSI ที่วัดได้ในแต่ละสภาพแวดล้อมนั้นให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากต้องการวัดตำแหน่งของวัตถุในบริเวณไหนก็ควรที่จะทำการเก็บค่า RSSI ที่ใช้ในการหาสมการป้อนกลับที่บริเวณนั้น
2. สามารถวัดตำแหน่งของวัตถุได้ในช่วงรัศมี 1.5 เมตร และมี Limit of Detection ของตัวอุปกรณ์นั้นอยู่ในรัศมี 0.21 เมตร

3. สิ่งกีดขวางบางชนิดมีผลต่อค่า RSSI เช่นสิ่งของที่มีส่วนผสมของน้ำหรือของเหลวมีผลให้ค่า RSSI ตีตกมากขึ้นทำให้ค่าระยะทางที่ได้จะไกลกว่าค่าจริงที่ควรจะเป็นแต่สามารถแก้ไขได้โดยการ Calibrate ค่า RSSI กับระยะทางที่เกิดขึ้นเทียบกับตัวกลางของวัตถุที่สัญญาณส่งผ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

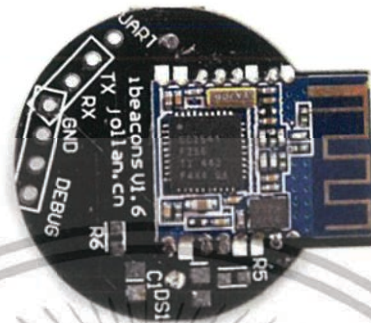
เอกสารอ้างอิง

- [1] Dr.Chatchawal Sripakdee “Least Square Method: Application to Scientific Data Analysis”
- [2] Marian Moradi Zaniani, Aftanasar Md. Shahar, Ishak Abdul Azid. (2010). Trilateration Target Estimation Improvement using New Error Correction Algorithm, IEEE International Conference on Communications 2010 (ICEE 2010), 11-13 May 2010
- [3] Mohd Ezanee Rusli, Mohammad Ali, Norziana Jamil, Marina MdDin “An Improved Indoor Positioning Algorithm Based on RSSI-Trilateration technique for Internet of Things (IOT) ”
- [4] F. Alsehly, R. Mohd Sabri, Z. Sevak*, T. Arslan, “Improving Indoor Positioning Accuracy through a Wi-Fi Handover Algorithm”, in Proc. International Technical Meeting of the Institute of Navigation, Jan. 2010, pp. 822-829.
- [5] Dr. Thomas C. Chiang “Business Conditions & Forecasting – Exponential Smoothing”
- [6] BLE [ออนไลน์] แหล่งที่มา :
<https://raspberrypi-thailand.blogspot.com/2018/01/bluetooth-low-energy-1.html>
- [7] GPS [ออนไลน์] แหล่งที่มา :
<https://www.prosoftgps.com/Article/Detail/70661>
- [8] Graphing Calculator [ออนไลน์] แหล่งที่มา :
<https://www.desmos.com/calculator>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
Ibeacon-2032



Description:

This module is for apple iOS 7.0 or android 4.3+,bluetooth 4.0+

BT Version: Bluetooth Specification V4.0 BLE Send and receive no bytes limit.

Working frequency: 2.4GHz ISM band

Modulation method: GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)

RF Power: -23dbm, -6dbm, 0dbm, 6dbm, can modify through AT
Command AT+POWE.

Speed: Asynchronous: 6K Bytes

Synchronous: 6K Bytes

Security: Authentication and encryption

Service: Central & Peripheral UUID FFE0,FFE1

Power: +3.3VDC 50mA

Battery type:CR2032

Size: 24.8mm x 24.8mm

รูปที่ ข.1 คุณสมบัติของ ibeacon-2032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้