การระบุตำแหน่งในอาคารโดยใช้คลื่น Ultrawideband

ULTRA WIDEBAND INDOOR POSITIONING

กฤตนัย สุยานะ

จิรพัฒน์ ชโลธร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การระบุตำแหน่งในอาคารโดยใช้คลื่น Ultrawideband

ULTRA WIDEBAND INDOOR POSITIONING

ผู้จัดทำ

1. นายกฤตนัย สุยานะ รหัสนักศึกษา 63015007

2. นายจิรพัฒน์ ชโลธร รหัสนักศึกษา 63015024

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุตำแหน่งในอาคารโดยใช้คลื่น Ultrawideband

นายกฤตนัย สุยานะ 63015007
นายจิรพัฒน์ ชโลธร 63015024
อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตำแหน่งคนหรือสิ่งของภายในอาคาร ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการสั่งงานของโมดูล DW1000 ผ่านทางบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Nodemcu Bu01 ซึ่งโมดูล DW1000 แต่ละตัวจะสื่อสารกันผ่านสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ โดยจะมีการบันทึกเวลาของการรับส่งสัญญาณเพื่อนำมาหาค่าระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณ(Tag) และตัวรับสัญญาณ(Anchor) 3ตัว และมีตัวโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล ระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ คำนวณโดยใช้วิธีทูเวย์เร้นจ์จิงแบบสมมาตร จากนั้นใช้วิธี Trilateration ในการระบุตำแหน่ง นอกจากนี้ยังพัฒนา Web Application ด้วย Vue.js และ Node.js เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นการแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้งาน, คำนวณและแสดงเวลาทำงานของผู้ใช้งานแต่ละคน การตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้งานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultrawideband Indoor Positioning

Mr. Krittanai Suyana 63015007

Mr. Jirapat Chalothron 63015007

Mr. Sorayut Glomglome Advisor

Academic Year 2022

Abstract

The thesis presents indoor positioning using ultrawideband signals. Its purpose is to track the location of people or things within the building. Therefore, this project has programmed to control the operation of the DW1000 module through the Nodemcu Bu01 microcontroller board. Each DW1000 module communicates through a wideband signal. The time of the signal transmission will be recorded in order to find the distance between the transmitter (Tag) and the receiver (Anchor) 3 units. and has a program developed to act as a processor Distance between transmitter and receiver Calculated using the two-way symmetrical range. then use method Trilateration to specify the location In addition, web applications are developed with Vue.js and Node.js to display data. Whether it is showing the current location of the user, calculating and displaying the working time of each user. Checking for violations of entering the restricted area of the user as well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์เรื่องการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ กลุ่มข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้ความอนุเคราะห์คอยให้คำปรึกษาให้ความสะดวกในการทำโครงงาน และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับแนวทางในการทำโครงงาน

ขอบคุณเพื่อนในกลุ่มที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานครั้ง

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ให้การสนับสนุนเอื้อเฟื้อและให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ

กฤตนัย สุยานะ

จิรพัฒน์ ชโลธร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์จองโครงงาน	3
1.3 ประโยชน์ของโครงงาน	3
1.4 ของเขตของโครงงาน	3
1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์(Ultrawideband)	5
2.2 Trilateration	6
2.3 One-way ranging	8
2.4 Two-way ranging	8
2.5 Vue.js	10
2.6 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม	11
2.7 NodeMCU BU01	12
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Arduino R3	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 FTDI FT232RL 3.3V 5.0V USB to TTL Serial	13
2.10 Ethernet Shield W5100 R3 For Arduino	14
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่3	19
การออกแบบ	19
3.1 แผนภาพแสดงการดำเนินงาน	19
3.2 การออกแบบการทำงานของโปรแกรม	19
3.3 ภาพรวมการทำงานของโครงการ	20
3.4 Use Case Diagram	22
3.5 การออกแบบฐานข้อมูล	26
บทที่ 4	29
ผลการทดลอง	29
4.1 ทดลองการรับส่งสัญญาณเบื้องต้น	30
4.2 การทดลองหาระยะการทำงานบอร์อัลตราไวด์แบนด์	31
บทที่ 5	49
สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา	49
5.1 สรุปผลการทดลอง	49
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างทำโครงงาน	50
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับต่างๆ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 Use case ล็อกอิน	23
3.2 Use case ดูตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้	23
3.3 Use case ดูตำแหน่งย้อนหลังของผู้ใช้	24
3.4 Use case ดูเส้นทางการเดินของผู้ใช้งาน	24
3.5 Use case ลงทะเบียนผู้ใช้งาน	25
3.6 Use case ดูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้	25
3.7 Use case ล็อกเอาท์	26
4.1 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag	31
4.2 ระยะทางระหว่าง Anchor2 กับ Tag	32
4.3 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag	34
4.4 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag	36
4.5 ระยะทางระหว่าง Anchor2 กับ Tag	37
4.6 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag	38
4.7 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลองจากความสูง 0.5 เมตร	40
4.8 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลองจากความสูง 1 เมตร	41
4.9 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลองจากความสูง 1.5 เมตร	42
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร	52
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	53
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	54
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	55
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	56
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	57
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	58
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	59
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)	61
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร	62
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	63
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	64
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	65
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	66
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	67
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	68
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	69
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	70
ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)	71
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร	72
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	73
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	74
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	75
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	76
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	77
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	78
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	79
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	80
ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 รูปตัวอย่างการใช้งานในคลังสินค้า	1
1.2 รูปตัวอย่างการใช้งานในห้างสรรพสินค้า	2
1.3 แผนดำเนินงาน	4
2.1 วงกลมที่มีรัศมีที่กำหนดโดยระยะทาง D และเครื่องส่งสัญญาณ T ที่ศูนย์กลาง	7
2.2 เครื่องส่งสัญญาณสองเครื่องและวงกลมที่สอดคล้องกันโดยเน้นสี่แยกที่ A และ B ไว้	7
2.3 รูปประกอบของเครื่องส่งและเครื่องรับสามเครื่องที่แสดงในจุดตัด	7
2.4 Two-Way Ranging ด้านเดียว	9
2.5 ภาพประกอบของการตั้งระยะสองทางสองด้าน	9
2.6 Nodemcu Bu01	12
2.7 Arduino R3	13
2.8 โมดูล FTDI FT232RL 3.3V 5.0V USB to TTL Searial	14
2.9 Ethernet Shield W5100 R3 For Arduino	14
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน	19
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	20
3.3 ภาพรวมการทำงานของโครงการ	21
3.4 Use case diagram	22
3.5 ตารางทั้งหมดในฐานข้อมูล	26
4.1 ทดลองการรับส่งสัญญาณที่ส่งออกจากตัวส่ง	29
4.2 ระยะทางจริงภายในอาคาร	30
4.3 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	31
4.4 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	33
4.5 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	34
4.6 ระยะทางจริงภายในอาคาร	35
4.7 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	36
4.8 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3	39
4.10 จุดทดสอบในพื้นที่ทดลอง	40
4.11 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ 0.5 เมตร	44
4.12 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ 1 เมตร	44
4.13 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ1.5 เมตร	44
4.14 หน้าแผนที่	45
4.15 หน้าเพิ่มผู้ใช้	45
4.16 หน้าเข้าสู่ระบบ	46
4.17 หน้าประวัติการค้นหา	46
4.18 หน้าประวัติการค้นหาโดยแสดงแบบเส้นทาง	47
4.19 เขตหวงห้าม	47
4.20 หน้าสร้างแผนที่	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

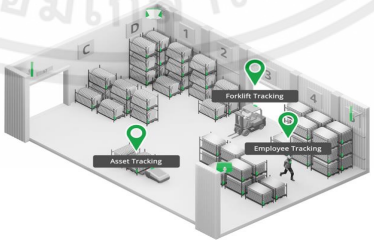
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การระบุตำแหน่งนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารและการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยในการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารโดยจะอาศัยใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า GPS (Global Positioning System) เป็นการยิงสัญญาณจากดาวเทียมนอกโลก ซึ่งจะสามารถระบุตำแหน่งนั้นๆได้แบบเรียลไทม์รวมถึงมีข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งน้อย แต่ว่าการนำเทคโนโลยี GPS มาใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากสัญญาณของ GPS เมื่อเข้ามาสู่ภายในอาคารแล้วจะถูกลดทอนสัญญาณลงจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นหลังคา กำแพงหรือพื้น ส่งผลทำให้ความแม่นยำ ในการระบุตำแหน่งลดลงทำให้มีข้อผิดพลาดในการระบุตำแหน่งสูง จึงต้องมีการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารเพื่อลดข้อผิดพลาดในปัญหาส่วนนี้

ซึ่งในปัจจุบันก็มีหลายบริษัทที่ได้ริเริ่มสร้างหรือหาวิธีการสำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งได้ประยุกต์และถูกนำไปใช้ในหลายๆกรณี ดังนี้

1) การระบุตำแหน่งและติดตามเส้นทางของวัตถุ เช่น รถโฟล์คลิฟท์ที่อยู่ในโกดังสินค้า โดยการติดตามเส้นทางเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุง Process ติดตามตำแหน่งของสินค้า ตรวจจับว่าสินค้าได้ถูกเคลื่อนย้ายโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือไม่เพื่อป้องกันการขโมยและติดตามพนักงานว่าในขณะทำงานพนักงานอยู่ส่วนไหนของโกดัง โดยบริษัท sewio ซึ่งใช้เทคโนโลยี Wi-Fi , Bluetooth Low Energy, Ultra-wideband และ RFID[1] ดังรูป 1.1



รูป 1.1 ตัวอย่างการใช้งานในคลังสินค้า

[1] Real-Time Location System (RTLS) on Ultra-wideband - Sewio RTLS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การระบุตำแหน่งภายในห้างสรรพสินค้า จุดประสงค์ของงานคือต้องการเช็คจำนวนลูกค้าที่เข้าชมแบบเรียลไทม์ ระบุตำแหน่งลูกค้า รวมถึงหากเกินจำนวนที่ร้านสามารถให้เข้าจะแจ้งเตือน พัฒนาโดยบริษัท Focus ดังรูป 1.2[2]

รูป 1.2 ตัวอย่างการใช้งานภายในห้างสรรพสินค้า

ส่วนใหญ่แล้ววิธีการแก้ปัญหาของบริษัทต่าง ๆ และจากงานวิจัยที่ศึกษาค้นคว้าพบว่าจะเป็นระบบระบุตำแหน่งที่ใช้โทรศัพท์มือถือคู่กับสัญญาณ Wireless Technology ที่ใช้ Wi-Fi หรือ Bluetooth ซึ่งมักจะต้องมีการติดตั้งแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือเพื่อให้สามารถใช้งานได้แต่ระบบแบบนี้ก็จะมีข้อจำกัดในส่วนของยี่ห้อหรือรุ่นของโทรศัพท์มือถือ หรือระบบปฏิบัติการที่ใช้แตกต่างกัน เป็นต้น

โครงงาน การระบุตำแหน่งในอาคารโดยใช้คลื่น Ultrawideband นี้จึงถูกจัดทำขึ้นมาเพื่อทำการสร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ส่วนฮาร์ดแวร์ที่เป็น ระบบสมองกลฝังตัวมาทำหน้าที่ควบคุมแทนการใช้โทรศัพท์มือถือในการควบคุม ให้ทั้งระบบเป็นแบบเดียวกันแก้ปัญหาในส่วนของรุ่นโทรศัพท์มือถือหรือระบบปฏิบัติการที่อุปกรณ์รองรับได้และใช้ Wireless Technology เป็น Wi-Fi ทำให้สื่อสารง่ายดาย สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ให้ความรวดเร็วในการส่งและรับสัญญาณและใช้ UWB เพื่อรองรับการระบุตำแหน่งในพื้นที่กว้าง โดยผลสำเร็จของโครงงานนี้จะสามารถนำไปต่อยอดในการใช้งานจริงในโรงงานหรือสำนักงาน เพื่อจะติดตามไม่ว่าจะเป็นสิ่งของหรือบุคคลในพื้นที่จำกัดอีกด้วย

[2] Indoor People Counting with Focus Real-Time - Focus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

2) เพื่อให้สามารถดูตำแหน่งที่ระบุผ่าน Web Application ได้

3) เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งแบบ Realtime นำมาใช้ในการระบุตำแหน่ง

1.3 ประโยชน์ของโครงงาน

1) นำคลื่น Ultrawideband (UWB) มาพัฒนา เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

2) เพิ่มประสิทธิภาพคลื่น Ultrawideband (UWB) ที่มีอยู่ให้สามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

1.4 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณเพื่อระบุตำแหน่งของสิ่งของหรือบุคคลที่อยู่ภายในอาคารหรือพื้นที่จำกัดโดยใช้ UWB เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาณให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผลแล้วส่งค่าไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลพร้อมนำออกมาแสดงผลเป็นเว็บโดยระบบของโครงงานนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1.4.1 ส่วนของ Hardware และ UWB (Ultrawideband)

มีองค์ประกอบคือโมดูล DecaWave UWB (Ultrawideband) เป็นตัวรับ-ส่งสัญญาณโดยจะมีทั้งตัวส่งและตัวรับด้วยสัญญาณ Wi-Fi และส่งค่าที่รับจากโมดูล UWB (Ultrawideband) ส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลและส่งต่อค่าไปเก็บ

1.4.2 ส่วนของฐานข้อมูล Firebase

ทำหน้าที่ในการรอรับค่าที่ได้จากการประมวลผลที่มาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นำมาเก็บไว้พร้อมรอให้นำค่าดังกล่าวออกไปแสดงผลยังเว็บ

1.4.3 ส่วนของ Web Application

มีองค์ประกอบคือ ออกแบบโปรแกรมที่ใช้รับข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลตำแหน่งของ Tag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ข้อจำกัดของโครงงาน

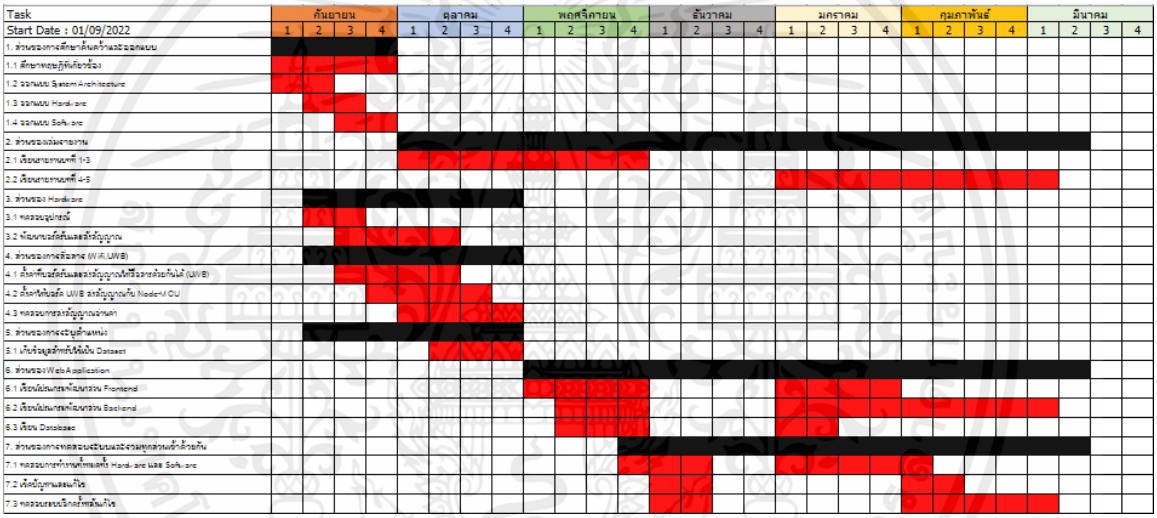
1) โครงงานนี้ทดสอบภายในห้องอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมศาสตร์ 2

2) ต้องการ Internet เพื่อให้ตัวรับ-ส่งสัญญาณติดต่อกันได้

3) ต้องการ Internet เพื่อนำค่าจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล Firebase

1.6 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานในการพัฒนาโครงงานตลอดระยะเวลา 2 ภาคการศึกษา ตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2565 - มีนาคม พ.ศ. 2566 แสดงดังรูป 1.3



รูป 1.3 แผนดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ (Ultrawideband Indoor Positioning) เพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาที่จะเป็นพื้นฐานช่วยในการดำเนินงานให้สำเร็จต่อไป

2.1 คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์(Ultrawideband)

เทคโนโลยี Ultrawideband เป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลซ์ (Pulse) สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ โดยมีย่านความถี่อยู่ในช่วง 3.1 - 10.6 GHz และมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีคุณสมบัติของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์

1) สำหรับสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์แคบมากเมื่อแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณหลายเส้นทาง จะทำให้ลูกพัลส์ลูกเดียวกันถูกแยกเป็นหลายพัลส์เมื่อสัญญาณไปถึงเครื่องรับโดยสัญญาณพัลส์หลายชุดที่เดินทางมาถึงเครื่องรับจะมีโอกาสน้อยที่มีการคาบเกี่ยวกันทางเวลาหรือมีการรบกวนกันของพัลส์เกิดขึ้น เนื่องจากเวลาในการเดินทางผ่านช่องสัญญาณไร้สาย มักมีช่วงเวลาที่นานกว่าความกว้างทางเวลาของพัลส์ ทำให้สัญญาณอัลตราไวด์แบนด์เกิดการลดทอนจากปรากฏการณ์หลายเส้นทางน้อยกว่า

2) มีโอกาสถูกตรวจจับและดักสัญญาณต่ำ สัญญาณอัลตราไวด์แบนด์นั้นยากต่อการตรวจจับและดักฟังหากไม่ทราบว่าสัญญาณพัลส์ นั้นมาปรากฏที่เครื่องรับในช่วงเวลาใด คล้ายคลึงกันกับสัญญาณการแผ่สเปกตรัมที่ใช้ในระบบซีดีเอ็มเอ หากไม่ทราบรหัสแผ่ที่ใช้ในการกระจายคลื่นก็จะไม่สามารถตรวจจับสัญญาณได้ และเนื่องจากมีการกระจายสัญญาณในช่วงของความถี่ที่กว้าง การทำการแจมมิ่ง (Jamming)สัญญาณในแถบความถี่กว้างมากนั้นกระทำได้ยาก ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการสร้างระบบสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยต่อการถูกรบกวนหรือแจมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ระดับความหนาแน่นของระดับความแรงต่อความถี่ของสัญญาณ Ultrawideband (UWB) มีค่าต่ำ(Lowpower spectral density) ทำให้สามารถทำงานซ้อนทับกับระบบสื่อสารแบบอื่นได้

4) Ultrawideband (UWB) มีสัญญาณพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากในระดับที่ต่ำกว่านาโนวินาที ทำให้สัญญาณมีความละเอียดสูงมาก ซึ่งความละเอียดดังกล่าวเป็นคุณสมบัติที่นำมาใช้ในการวัดความแตกต่างของระยะทางได้ เช่นในระบบเรดาห์เมื่อสัญญาณลูกคลื่นพัลส์ของอัลตราไวด์แบนด์สะท้อนกลับมายังเครื่องรับก็จะสามารถคำนวณหาระยะทางโดยประมาณที่สัญญาณพัลส์ใช้เวลาในการเดินทางได้อย่างเที่ยงตรงโดยมันมีความสามารถในการอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี GPS ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตรเท่านั้น

5) มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากข้อกำหนดของคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร หรือ Federal Communication Commission (FCC) ที่มีหน้าที่ควบคุมในเรื่องการสื่อสารกำหนดเรื่องข้อจำกัดของกำลังส่งที่อนุญาตให้กับ Ultrawideband (UWB) มีการใช้พลังงานที่ต่ำมากเพื่อไม่ให้รบกวนระบบสื่อสารอื่น โดยระดับความแรงของสัญญาณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 40 เดซิเบลมิลลิวัตต์ต่อหนึ่งเมกกะเฮิรตซ์

6) มีความสามารถในการส่งผ่านคลื่นทะลุวัตถุต่างๆได้ดี เพราะ Ultrawideband (UWB) มีการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่ำในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ทำให้สัญญาณสามารถทะลุทะลวงวัตถุต่างๆ ได้ดีกว่าระบบอื่นๆที่ใช้สัญญาณที่มีความถี่สูงเท่านั้น ดั้งนั้น Ultrawideband (UWB) จึงใช้ได้ดีในอาคารหรือพื้นที่ ที่มีกำแพงหรือวัสดุอื่นกั้น

7) Ultrawideband (UWB) สามารถทำให้อุปกรณ์เทคโนโลยี ต่อเชื่อมแบบไร้สายกันได้เป็นจำนวนมากเพราะ Ultrawideband (UWB) มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) กว้างมาก ปัจจุบันสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้มากถึง 127 ชิ้น โดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลถึง 480 Mbps ที่ระยะทาง 4 เมตร และความเร็วจะต่ำลงจนเหลือประมาณ 110 Mbps หากมีการวางอุปกรณ์ห่างออกไปประมาณ 10 เมตร

2.2 Trilateration

การประยุกต์ใช้ trilateration มักใช้ ToF ซึ่งใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์สมการที่ 1 เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างตัวรับส่งสัญญาณ

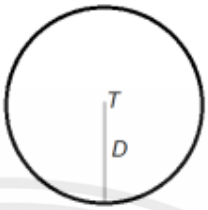
$$\text{Distance} = \text{Speed} \times \text{Time} \qquad (2.1)$$

เนื่องจากสัญญาณวิทยุเดินทางด้วยความเร็วแสงซึ่งเป็นค่าคงที่ ที่รู้จักจากการวัดได้อย่างแม่นยำ ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสามารถคำนวณได้หลังจากวัดค่า ToF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

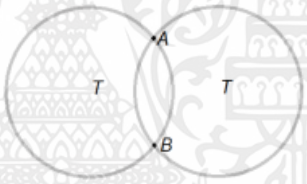
2.2.1 แอปพลิเคชันใน 2 มิติ

เมื่อกำหนดตำแหน่งวัตถุในแบบ 2 มิติ รู้เพียงระยะทาง (D) ระหว่าง **a** ตัวส่ง (T) และเครื่องรับ ก็เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าเครื่องรับตั้งอยู่ที่ไหนสักแห่งในสถานที่ของวงกลมที่แสดงในรูป 2.1



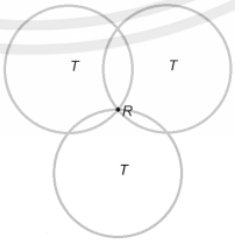
รูป 2.1 วงกลมที่มีรัศมีที่กำหนดโดยระยะทาง Dและเครื่องส่งสัญญาณ T ที่ศูนย์กลาง

โดยการวัดระยะทางจากเครื่องรับไปยังเครื่องส่งอื่น สามารถคำนวณวงกลมเพิ่มเติมได้ เนื่องจากผู้รับจะต้องอยู่ที่เส้นรอบวงของวงกลมทั้งสองจะต้องอยู่ที่ A หรือ B ตามที่แสดงในรูป 2.2



รูป 2.2 เครื่องส่งสัญญาณสองเครื่องและวงกลมที่สอดคล้องกันโดยเน้นสี่แยกที่ A และ B ไว้

ทำซ้ำขั้นตอนก่อนหน้าของการวัดระยะทางไปยังเครื่องส่งอื่น ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งที่เป็นไปได้ที่เครื่องรับคือที่ตั้งอยู่เนื่องจากวงกลมทั้ง 3 วงตัดกันตรงจุดเดียวดังที่แสดงในรูป 2.3



รูป 2.3 รูปประกอบของเครื่องส่งและเครื่องรับสามเครื่องที่แสดงในจุดตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 One-way ranging

ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ trilateration ขึ้นอยู่กับ ToF เพื่อคำนวณระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ สามารถคำนวณ ToF ได้โดยใช้สมการที่ 2 โดยที่ T_{prop} หมายถึง ToF , TT หมายถึงเวลาเมื่อผู้ส่งส่งสัญญาณและ TR แสดงถึงเวลาที่ผู้รับรับสัญญาณ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ต้องใช้ตัวส่งและตัวรับเพื่อให้มีนาฬิกาที่ซิงโครไนซ์เป็นอย่างดีตั้งแต่มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยในเวลาจะส่งผลให้ระยะทางแตกต่างกันมาก เนื่องจากได้มาจากคูณ ToF ด้วยความเร็วแสง

$$\boldsymbol{T_{prop} = T_R - T_T} \tag{2.2}$$

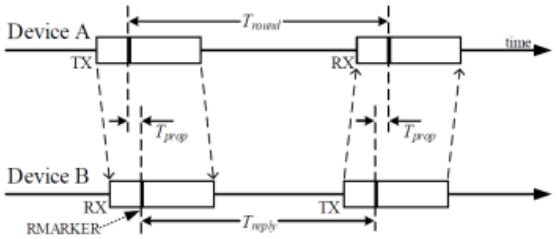
2.4 Two-way ranging

การวัดระยะแบบสองทาง(TWR)เป็นอีกวิธีหนึ่งในการกำหนดระยะที่ทำได้โดยการใช้งานของตัวรับส่งสัญญาณสองตัว ตัวรับส่งสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งสัญญาณและตัวรับให้ทั้งส่งและรับสัญญาณ เมื่อ Two-Way Ranging ToF คำนวณโดยใช้เวลาตอบกลับซึ่งเป็นเวลาที่ผ่านไประหว่าง DeviceB ได้รับข้อความจนกว่าจะมีการส่งการตอบกลับ และเวลาไปกลับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผ่านไประหว่าง DeviceA ที่ส่งข้อความจนกว่าจะได้รับคำตอบ โดยใช้ Two-Way Ranging ความต้องการนาฬิกาที่ซิงโครไนซ์ถูกตัดออกเนื่องจากทั้งเวลาไปกลับและเวลาตอบกลับสามารถเป็นคำนวณแยกกันโดยใช้การบันทึกเวลาที่ได้รับจากอุปกรณ์หนึ่งเครื่อง ในส่วนนี้มีการอธิบายการใช้งาน Two-Way Ranging หลายอย่าง

2.4.1 Single-Sided Two-Way Ranging

เมื่อใช้ Two-Way Ranging ความต้องการนาฬิกาที่มีการซิงโครไนซ์อย่างดีจะถูกกำจัดออกเป็น TWRคำนวณ ToF Single-sided TWR เป็นโครงร่างที่หลากหลายซึ่ง DeviceA ส่งข้อความไปยัง DeviceB ซึ่งจะส่งข้อความตอบกลับกลับไปยัง DeviceA รูป2.4 แสดงโครงร่าง Two-Way Ranging ด้านเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



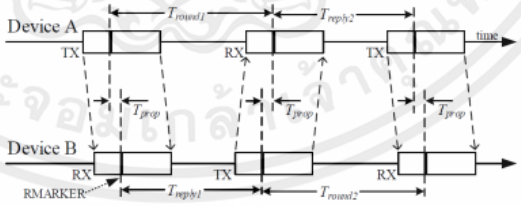
รูป 2.4 Two-Way Ranging ด้านเดียว

เมื่อใช้ Two-Way Ranging ด้านเดียว สามารถคำนวณ ToF ได้โดยใช้สมการ 3 โดยที่T_{prop} หมายถึง ToF, T_{round}หมายถึงเวลาไปกลับและ T_{reply}หมายถึงเวลาตอบกลับ

$$\mathbf{T_{prop}} = \frac{\mathbf{T_{round} - T_{reply}}}{\mathbf{2}} \qquad (2.3)$$

2.4.2 Two-way ranging แบบสมมาตรสองด้าน

IPS ที่ใช้ Tow Way Raning แบบสมมาตรทั้งสองด้านคือ a วิธีที่อธิบายไว้ในรูป 2.5 โดยที่ T_{prop}หมายถึง ToF, T_{round1}และ T_{round2} หมายถึงเวลาไปกลับและ T_{reply1}และ T_{reply2} หมายถึงเวลาตอบกลับ



รูป 2.5 ภาพประกอบของการตั้งระยะสองทางสองด้าน

โดยจำกัด T_{reply1} และ T_{reply2} ให้เท่ากัน T_{prop} สามารถคำนวณได้โดยโดยใช้สมการที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{prop} = \frac{T_{round1} - T_{reply1} - T_{round2} - T_{reply2}}{4} \quad (2.4)$$

Two way ranging แบบสมมาตรสองด้านมีข้อจำกัดที่ $\mathbf{T_{reply1}}$ และ $\mathbf{T_{reply2}}$ มีค่าเท่ากับ Two way ranging แบบสองด้านโดยทั่วไปให้ผลลัพธ์ที่เสถียรกว่าเมื่อเปรียบเทียบเป็น Two way ranging ด้านเดียวโดยใช้การวัดที่มากขึ้นและได้ T_{prop}เป็นค่าเฉลี่ยของการส่งสัญญาณสามครั้งเมื่อเทียบกับTwo Way ranging ด้านเดียวที่มีเพียงสองการส่งสัญญาณเกิดขึ้น

2.4.3 การจัดช่วง Two way ranging แบบอสมมาตร

Two way ranging แบบสองด้านอีกรุ่นหนึ่งเรียกว่า Two way ranging สองด้านแบบอสมมาตรปล่อยข้อจำกัดที่ T_{reply1}และ T_{reply2} จะต้องเท่ากันและอนุญาตให้ข้อผิดพลาดที่ลดลงและผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในสถานการณ์ที่ยากต่อการรักษา T_{reply1} และ T_{reply2} เท่ากัน ต้องใช้สูตรขั้นสูงขึ้นเล็กน้อยในการคำนวณT_{prop} เมื่อใช้วิธีนี้ ดังแสดงในสมการที่ 5

$$T_{prop} = \frac{T_{round1} * T_{round2} - T_{reply1} * T_{reply2}}{T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2}} \quad (2.5)$$

2.5 Vue.js

เป็นเฟรมเวิร์ก JavaScript แบบไดนามิกสำหรับสร้างส่วนต่อประสานผู้ใช้ ระบบนี้เป็นที่รู้จักกันดีในเรื่องของช่วงการเรียนรู้ที่สูงชัน อย่างไรก็ตาม มันเป็นเฟรมเวิร์กที่เข้าถึงได้ง่ายและตรงไปตรงมา ซึ่งเราอาจเริ่มสร้างเว็บแอปใน Vue.js ด้วยความเข้าใจพื้นฐานของ HTML, CSS และ JavaScript เท่านั้น เส้นโค้งการเรียนรู้สั้น ๆ เป็นคุณลักษณะของกรอบการทำงานแบบก้าวหน้านี้ มีความยืดหยุ่นและสามารถใช้เป็นยูทิลิตี้หรือเฟรมเวิร์กที่ครอบคลุมในการพัฒนาเว็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

2.6.1 ภาษา C++

ภาษา C++ เป็นภาษาที่ถูกออกแบบมาในการเขียนโปรแกรมระบบ ซึ่งมีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการออกแบบโปรแกรมสูง C++ เป็นภาษาที่ต้องคอมไพล์ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถพัฒนาได้ในหลายๆ แพลตฟอร์ม โดยสิ่งที่จำเป็นต้องเรียนรู้เป็นอันดับแรกของการเขียนโปรแกรม คือ โครงสร้างพื้นฐานของภาษา

2.6.2 ภาษา JavaScript

ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง Java JavaScript เป็น ภาษาสคริปต์เชิงวัตถุ (ที่เรียกกันว่า "สคริปต์" (script) ซึ่งในการสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ (ใช่ร่วมกับ HTML) เพื่อให้เว็บไซต์ของเราดูมีการเคลื่อนไหว สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะ "แปลความและดำเนินงานไปทีละคำสั่ง" (interpret) หรือเรียกว่า อ็อบเจ็กโอเรียลเต็ด (Object Oriented Programming) ที่มีเป้าหมายในการ ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับผู้เขียนด้วยภาษา HTML สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับ ภาษา HTML และภาษา Java ได้ทั้งทางฝั่งไคลเอนต์ (Client) และ ทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server)

2.6.3 HTML5

HTML5คือ ภาษามาร์กอัป ที่ใช้สำหรับเขียน website ซึ่ง HTML5 นี้เป็นภาษาที่ถูกพัฒนาต่อมาจากภาษาHTML และพัฒนาขึ้นมาโดย WHATWG (The Web Hypertext Application Technology Working Group) โดยได้มีการปรับเพิ่ม Feature หลายๆอย่างเข้ามาเพื่อให้ผู้พัฒนาสามารถใช้งานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

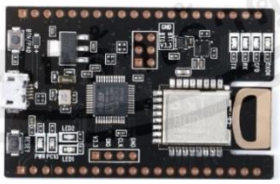
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 CSS

CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheet มักเรียกโดยย่อว่า “สไตล์ชีท” คือภาษาที่ใช้เป็นส่วนของการจัดรูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML โดยที่ *CSS* กำหนดกฎเกณฑ์ในการระบุรูปแบบ(หรือ “Style*”)* ของเนื้อหาในเอกสาร อันได้แก่ สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทตัวอักษร และการจัดวางข้อความ ซึ่งการกำหนดรูปแบบ หรือ Style นี้ใช้หลักการของการแยกเนื้อหาเอกสาร HTML ออกจากคำสั่งที่ใช้ในการจัดรูปแบบการแสดงผล กำหนดให้รูปแบบของการแสดงผลเอกสาร ไม่ขึ้นอยู่กับเนื้อหาของเอกสาร เพื่อให้ง่ายต่อการจัดรูปแบบการแสดงผลลัพธ์ของเอกสาร HTML โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารบ่อยครั้ง หรือต้องการควบคุมให้รูปแบบการแสดงผลเอกสาร HTML มีลักษณะของความสม่ าเสมอทั่วกันทุกหน้าเอกสารภายในเว็บไซต์เดียวกัน โดยกฎเกณฑ์ในการกำหนดรูปแบบ (Style) เอกสาร HTML ถูกเพิ่มเข้ามาครั้งแรกในHTML 4.0 เมื่อปีพ.ศ. 2539 ในรูปแบบของ CSS level 1 Recommendations

2.7 NodeMCU BU01

Nodemcu Bu01ได้รับการออกแบบให้เป็นบอร์ดพัฒนาสำหรับโมดูลBU01พร้อมกับ STM32F103C8T6 อุปกรณ์ต่พ่วงเพื่อเพิ่มเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นและเซ็นเซอร์เร่งสามมิติสำหรับลูกค้าในการพัฒนาควาสะดวกในการแก้จุดบกพร่อง BU01 เป็นโมดูลตัวรับส่งสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ (UWB*)* ตามการออกแบบ Decawave DW1000 BU01 รวมเสาอากาศ วงจร RF การจัดการพลังงาน และวงจรนาฬิกา BU01 สามารถใช้ในระบบกำหนดตำแหน่งแบบสองทิศทางหรือแบบ TDOA ความถูกต้องของตำแหน่งสูงสุด 10 ซม. และรองรับอัตราข้อมูลสูงสุด 6.8*Mbps* โดยมีหน้าตาดังรูป 2.6



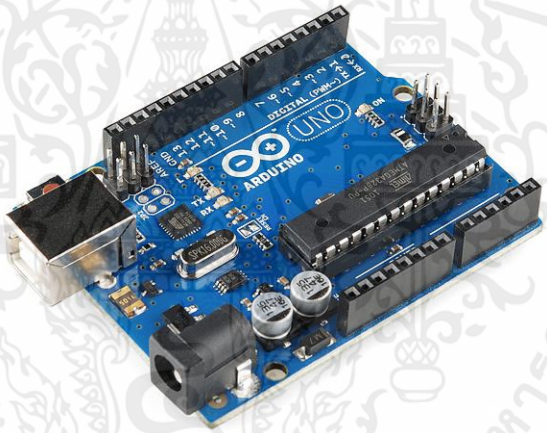
รูป 2.6 Nodemcu Bu01[3]

[3] https://i.ebayimg.com/images/g/2-sAAOSw9KFibN3h/s-l1600.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับ Arduino R3

Arduino Uno R3 คำว่า Uno เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ผลิตออกมา มีขนาดประมาณ 68.6×53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสาหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมาตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP



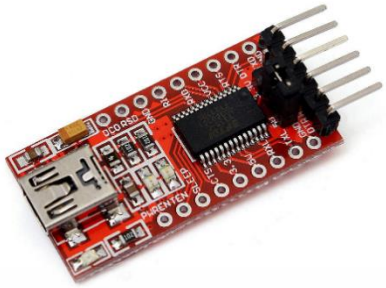
รูป 2.7 Arduino R3

2.9 FTDI FT232RL 3.3V 5.0V USB to TTL Searial

โมดูลแปลงสัญญาณจาก USB เป็น UART TTL สำหรับโปรแกรมหรือติดต่ออุปกรณ์หรือโปรแกรม Nodemcu Bu01 ผ่าน Rx, Tx ใช้ชิฟ FTDI รุ่นล่าสุด ไฟเอาต์พุต 5*V* มีขาสำหรับท่างานร่วมกับเครื่องโปรแกรมเมอร์ผ่านทางขา ISP ดังแสดงตามรูป 2.8[4]

[4] https://shorturl.asia/xGsnX

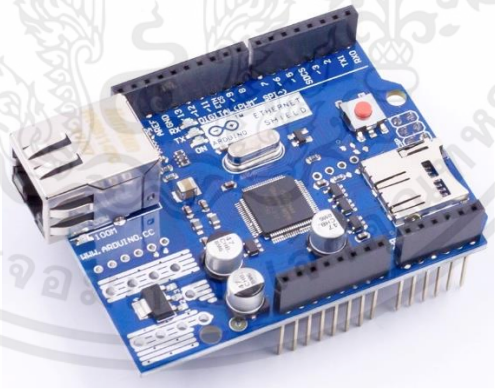
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.8 โมดูล FTDI FT232RL 3.3V 5.0V USB to TTL Searial

2.10 Ethernet Shield W5100 R3 For Arduino

Ethernet Shield สำหรับ Arduino เชื่อมต่อ Arduino ของคุณกับอินเทอร์เน็ต เพียงเสียบโมดูลนี้เข้ากับบอร์ด Arduino ของคุณเชื่อมต่อกับเครือข่ายของคุณด้วยสายเคเบิล RJ45 สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ มันขึ้นอยู่กับชิปอีเธอร์เน็ต Wiznet W5100 Wiznet W5100 มีสแต็คเครือข่าย (IP) ที่สามารถทั้ง TCP และ UDP ได้ รองรับการเชื่อมต่อซ็อกเก็ตพร้อมกันสูงสุดสี่ตัว ใช้ไลบรารีอีเทอร์เน็ตเพื่อเขียนภาพร่างที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตโดยใช้โล่ โล่อีเธอร์เน็ตเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino โดยใช้ส่วนหัวแบบพันลวดยาวซึ่งยื่นผ่านโล่ สิ่งนี้ทำให้เค้าโครงพินยังคงอยู่และช่วยให้โล่อื่นวางซ้อนกันอยู่ด้านบน



รูป 2.9 Ethernet Shield W5100 R3 For Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีทั้งหมด 4 งานวิจัย เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง งานวิจัยทั้งหมดทำการทดลองภายในอาคาร ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ คือ ใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ ขั้นตอนในการประมาณระยะทางของแต่ละงานวิจัยใช้วิธีแตกต่างกัน เช่น การใช้ค่าเวลาของการมาถึง การใช้ค่าเวลาในการเดินทางและการใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเป็นต้น งานวิจัยส่วนใหญ่ทำการทดลองในสถานที่จริงแต่มีบางงานวิจัยทำการจำลองผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา รายละเอียดของแต่ละงานวิจัยแสดงได้ดังนี้

2.9.1 Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent

ได้นำเสนอการศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการจัดตำแหน่ง UWB ซึ่งจะมีการกล่าวถึงภาพรวมโดยละเอียดและอัปเดตของเทคนิคการจัดตำแหน่ง UWB ในอาคาร นอกจากนี้ เราทำการวิเคราะห์ SWOT ของเทคโนโลยี UWB ซึ่งเน้นที่แอปพลิเคชันการกำหนดตำแหน่งเป็นหลัก และระบุทั้งภายใน (จุดแข็งและจุดอ่อน) และปัจจัยภายนอก (โอกาสและภัยคุกคาม) ที่ส่งผลกระทบต่อเทคโนโลยีนี้ตามที่กล่าวไว้ในการวิเคราะห์ SWOT ในขณะที่ UWB ให้ตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงนอกเหนือจากคุณสมบัติอื่น ๆ อีกมากมาย (เช่น ไม่ต้องใช้ใบอนุญาต ใช้พลังงานต่ำ ไม่รบกวนระบบวิทยุส่วนใหญ่ที่มีอยู่ ความละเอียด multipath ระดับสูง แบนด์วิธขนาดใหญ่ และการสื่อสารที่มีอัตราข้อมูลสูง) เทคโนโลยี UWB อาจส่งผลต่อ GPS และอุปกรณ์วิทยุนำทางของเครื่องบิน และยังอาจทำให้เกิดการรบกวนกับระบบที่มีอยู่ซึ่งทำงานในคลื่นความถี่กว้างพิเศษ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีอื่นๆ ระบบ UWB ได้กลายเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีชั้นนำสำหรับการกำหนดตำแหน่งภายในอาคาร และมีการใช้ในการใช้งานมากกว่าเมื่อก่อนมากมีหลายปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดตำแหน่ง ตัวอย่างเช่น ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการวางตำแหน่งได้ ในขณะที่ความร่วมมือระหว่างโหนดอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้หากใช้อย่างระมัดระวัง วิธีการแบบไฮบริดดูเหมือนจะมีแนวโน้มที่ดี เนื่องจากสามารถทนต่อผลข้างเคียงจากการรบกวนและการสะท้อนจากภายนอกได้[5]

[5] https://www.example.edu/paper.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 UWB Indoor Positioning Algorithm Based on TDOA Technology

ระบบกำหนดตำแหน่งทั่วโลกแบบดั้งเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการของการวางตำแหน่งในอาคารของผู้คนได้ ระบบกำหนดตำแหน่งในอาคารของ UWB ได้กลายเป็นจุดสนใจในการวิจัยตำแหน่งในอาคารเนื่องจากประสิทธิภาพการสื่อสารที่ดี ข้อผิดพลาดของตำแหน่งเพียงเล็กน้อย การใช้พลังงานต่ำ ต้นทุนต่ำ และกำลังเจาะที่แข็งแกร่ง ตามหลักการของ *TDOA* ในการกำหนดตำแหน่ง UWB วิธี LS อัลกอริธึม Chan และอัลกอริธึมเทย์เลอร์จะถูกวิเคราะห์ วิธี LS เป็นพื้นฐานของอัลกอริธึมของเทย์เลอร์และอัลกอริธึม Chan เพราะมันให้ตำแหน่งเริ่มต้นสำหรับพวกเขา อัลกอริธึม Chan สามารถใช้ค่าที่วัดได้อย่างเต็มที่ผ่านการประมาณค่า LS สองครั้ง โดยมีตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำและคำนวณได้เพียงเล็กน้อย อัลกอริธึมของเทย์เลอร์มักจะคำนวณตำแหน่งซ้ำตามตำแหน่งเริ่มต้น แต่มีความแม่นยำในการวางตำแหน่งที่ดีกว่าอัลกอริทึมของ Chan อย่างไรก็ตาม จำนวนการคำนวณยังมากกว่าอัลกอริทึมของ Chan ข้อมูลสองชุดที่รวบรวมในสภาพแวดล้อม LOS ในอาคารใช้เพื่อทดสอบอัลกอริทึม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของอัลกอริธึมทั้งสามสามารถเข้าถึงระดับเดซิเมตรได้ และอัลกอริธึมของเทย์เลอร์มีความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งสูงสุด ซึ่งสามารถเข้าถึง 1 เดซิเมตร[6]

2.9.3 Indoor Positioning using Ultra-wideband Technology

เพื่อศึกษาความถูกต้องในการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และเพื่อศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีนี้เมื่อสัญญาณมีการถูกรบกวน ออกแบบการจำลองการทำงานของการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ผ่านโปรแกรม Cooja ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบเครือข่าย โดยทำการจำลองเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับตั้งแต่ระยะทาง 1 - 10 เมตร เพื่อทำการหาโพลีโนเมียลฟังก์ชันอันดับ 3 (Third polynomial function) จากนั้นใช้โปรแกรมแม็ตแลป (MATLAB) คำนวณหาระยะทางในสภาพ แวดล้อมภายในอาคารของการจำลอง โดยมีตำแหน่งอ้างอิงทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และตำแหน่งที่ต้องการทราบ 1 ตำแหน่ง เก็บค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่ได้รับ แปลงค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเป็นระยะทางและคำนวณหาพิกัดที่ต้องการทราบตำแหน่งจากโปรแกรมการจำลองข้างต้นที่ได้พัฒนาขึ้นและอัปโหลดลงในโมดูล Tmote Sky เพื่อนำไปทดลองในสภาพแวดล้อมจริง โดยการเชื่อมต่อโมดูล Tmote Sky กับชิป

[6] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8964963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*CC*2420 เพื่อเป็นตัวกลางเชื่อมไปยังโมดูล DWM1000 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของบอร์ดอัลตราไวด์แบนด์ที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Decawave โมดูล DWM1000 ให้ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งค่อนข้างสูงโดยใช้วิธีทูเวย์เร้นจ์จิง ผลการทดลองในกรณีที่ใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับในการระบุตำแหน่ง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง จึงไม่เหมาะที่จะใช้วิธีนี้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร กรณีที่ใช้วิธีทูเวย์เร้นจ์จิงของบอร์ดอัลตราไวด์แบนด์แบ่งได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ และกรณีที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ กรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางทำการทดลองที่ระยะทางแตกต่างกันตั้งแต่ 1 - 16 เมตร แต่ละระยะทางทำการวัด 100 ครั้ง เก็บผลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทาง เพราะฉะนั้นค่าระยะทางที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ทำการทดลองทั้งหมด ผลการทดลองพบว่าระยะทางที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับระยะทางจริง ความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งสามารถบอกได้ในหน่วยเซนติเมตร โดยค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่มีสิ่งกีดขวางทำการทดลองโดยวางตัวส่งสัญญาณไว้รอบ ๆ ผนังที่เป็นคอนกรีต ทำการวัด 100 ครั้งเหมือนการทดลองข้างต้น พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 2 เมตร ถึงแม้ว่าจะมีสิ่งที่ขวางในการระบุตำแหน่งแต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังค่อนข้างดี จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์สามารถระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ในหน่วยเซนติเมตรที่ระยะทาง 1- 16 เมตร และการถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อมไม่ค่อยมีผลกระทบต่อการรับส่งสัญญาณมากนัก[7]

2.9.4 An Original Correction Method for Indoor Ultra Wide Band Ranging-based Localisation System

บทความได้กล่าวถึงปัญหาพื้นฐานในด้านการแปลตาม WSN การปรับปรุงประสิทธิภาพที่หลากหลายจะช่วยให้สามารถสร้างบริการที่เป็นนวัตกรรมใหม่ในบริบทของ IoT เราแนะนำบริบทของงานของเราและประโยชน์ของใช้ TOF เทียบกับ RSSI เราแนะนำโปรโตคอลที่หลากหลายที่พบในวรรณคดี เพื่อเสนอบริการโลคัลไลเซชันแบบบูรณาการในโปรโตคอล stack โปรโตคอลที่หลากหลายควรรวมเข้ากับการรับส่งข้อมูลปกติ (*data, ACK,*บีคอน) สำหรับสิ่งนี้พวกเขาจะต้องอดทน กับความล่าช้าซึ่งไม่ใช่กรณีในทางทฤษฎี ความไวต่อความล่าช้าถูกนำมาใช้ในส่วนที่ 3 และยืนยันผ่านการวัดบนพื้นที่ทดสอบจริงในหัวข้อที่ 5 เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ผู้เขียนบทความได้แนะนำต้นฉบับและการแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอิงจากการประมาณค่าความเบี่ยงเบนของค่าสัญญาณ ผู้เขียน

[7] https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A904214&dswid=-9657

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความเสนอ การดำเนินการแก้ไขนี้บนพื้นที่ทดสอบของผู้เขียนบทความและประเมินการแก้ไขในทางปฏิบัติ ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจและแสดงให้เห็นว่าหลังจากแก้ไขแล้ว สามารถแลกเปลี่ยนข้อความที่หลากหลายได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา

จากผลที่ได้ ปรากฏว่ามีข้อบ่งชี้บางอย่างที่ผู้เขียนบทความให้ไว้. มีการสำรวจหลายวิธี ในอนาคตอันใกล้โปรโตคอลที่หลากหลายขึ้นอยู่กับจะมีการตรวจสอบการใช้บีคอนและกรอบข้อมูลอย่างคุ้มค่า เป็นก้าวแรกจะมีการเสนอการปรับปรุง TWR เพื่อให้มีการแปลเป็นภาษาท้องถิ่นอย่างต่อเนื่องในพื้นหลังของเพื่อนบ้านหลาย ๆ แห่งไปยังหนึ่งฮ็อพในโทโพโลยีแบบมัลติฮอปเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ขั้นสุดท้ายและมีระบบโลคัลไลเซชันที่สมบูรณ์รวมอยู่ในสแต็คโปรโตคอล อีกมุมมองหนึ่งคือการปรับปรุงขอบเขตใน Non Line-of-Sight(NLOS) สถานการณ์: ที่ผู้เขียนบทความจะมีโอกาสประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยี UWB ซึ่งได้รับการกล่าวขานว่าเป็น multipath สุดท้าย มุมมองสุดท้ายเกี่ยวกับเตียงทดสอบที่ใช้และการเปิดให้ประชาชนทั่วไปที่เราวางแผนที่จะเริ่มต้นด้วยการทำชุด 10 โหนดที่เพื่อนนักวิจัยสามารถเข้าถึงได้จากระยะไกลผ่านทางเว็บอินเทอร์เฟซ

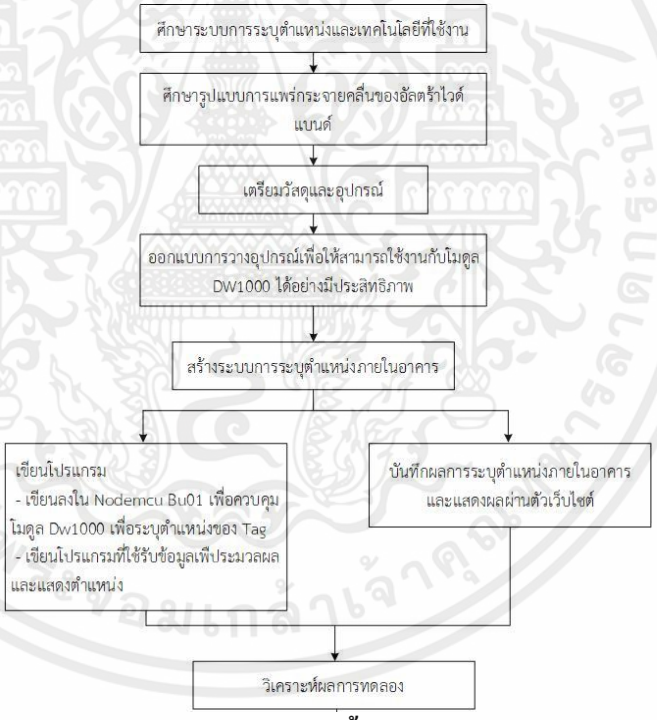
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

การออกแบบ

การดำเนินโครงงานการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการใช้เทคโนโลยีสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ (Ultrawide band) มาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งในบทความนี้กล่าวถึงแนวคิดและวิธีการดำเนินงาน ซึ่งประกอบด้วย กรอบแนวคิด ขั้นตอนการทำงาน และการออกแบบรับส่งสัญญาณ การออกแบบโปรแกรม ภาพรวมของระบบ เครื่องที่ใช้ในการทดลองและสถานที่ทำการทดลอง รายละเอียดของแต่ละหัวข้อ แสดงได้ดังนี้

3.1 แผนภาพแสดงการดำเนินงาน



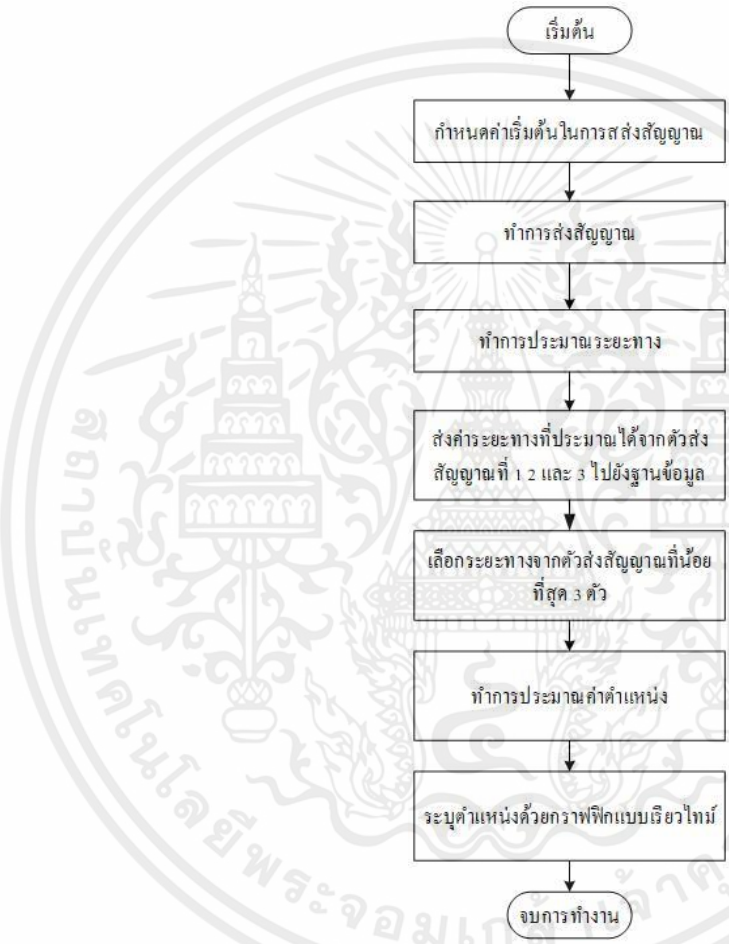
รูป 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.2 การออกแบบการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้ กำหนดค่าเริ่มต้นในการส่งสัญญาณของตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ทำการส่งสัญญาณจากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ ทำการประมาณระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ โดยใช้ค่าเวลาในการเดินทาง วิธีทูเวย์เร้นจ์จิงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมาตร จากนั้นตัวส่งสัญญาณที่ 1 2 และ 3 ส่งระยะทางที่ได้ยังตัวส่งค่า esp32 ซึ่งเชื่อมต่อกับโมดูล Nrf24l01 ทำการส่งระยะทางทั้งหมดไปยัง server เพื่อเลือกระยะจากตัวส่งสัญญาณที่น้อยที่สุด 3 ตัว จากนั้นทำการประมาณค่าตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration และแสดงผลการระบุตำแหน่งผ่าน web Application ด้วยกราฟฟิกแบบเรียลไทม์ ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม แสดงดังรูป 3.2



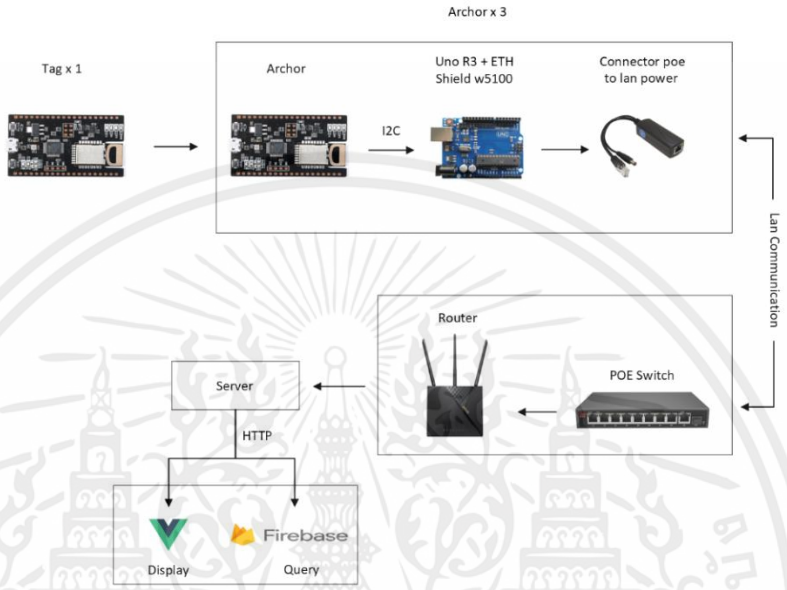
รูป 3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.3 ภาพรวมการทำงานของโครงการ

โครงสร้างของระบบอิบายถึงการเชื่อมต่อในแต่ละส่วน โดยเริ่มตั้งแต่ส่วนของ UWB Anchor ซึ่งจะส่งสัญญาณที่รู้ตำแหน่งทั้งหมด 3 ตัว และจะทำการส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณ(UWB tag)เพื่อหาระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งสัญญาณ จากนั้นจะทำการส่งค่าไปยังบอร์ด Arduino mini โดยส่งผ่าน the I2C Protocol เพื่อจะส่งค่าไปยัง Nodemcu โดยผ่านตัว nRF24L01 จากนั้นจะทำการส่งค่าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ server แล้วส่งไปให้ตัว web Application เพื่อประมวลผลหาพิกัดที่ต้องการทราบตำแหน่งด้วยวิธีการหา Trilateration ซึ่งจะแสดงค่าผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานดังแสดงในรูป 3.3



รูป 3.3 ภาพรวมการทำงานของโครงการ

จากรูป 3.3 เป็นแผนภาพการเชื่อมต่อกันในระบบโดยเริ่มตั้งแต่การติดต่อ Anchor จนไปถึง web Application ที่แสดงผล โดยรายละเอียดขั้นตอนของการส่งข้อมูลมีดังนี้

3.1.1 ขั้นตอนการรับส่งข้อมูล

3.1.1.1 UWB Anchor ทำการส่งสัญญาณจากตัว Anchor ไปยังตัว Tag ผ่านคลื่นสัญญาณ อัลตราไวด์แบนด์

3.1.1.2 UWB Tag (nodemcu Bu01) ทำการวัดค่าระยะทางระหว่างตัว Anchor และ ตัวTag

3.1.1.3 Arduino ทำการส่งค่าระยะทางและตัว IP ประจำเครื่อง ที่ได้รับมากจาก UWB Tag (nodemcu Bu01) ไปยัง Arduino R3 รับข้อมูลโดยใช้ I2C

3.1.1.4 Arduino R3 ทำการส่งข้อมูลต่อไปยัง server

3.1.1.5 server ส่งข้อมูลไปยัง web Application ของระบบ

3.1.1.6 web Application รับค่าเข้าสู่ขั้นตอนการปประมวลผลและแสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลและแสดงผล

3.1.2.1 Web Application นำข้อมูลที่ได้รับมาจาก Application Server บันทึกลงใน ฐานข้อมูล Firebase

3.1.2.2 Web Application ดึงข้อมูลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลออกมา แล้วแปลง Fromat ของข้อมูล ให้อยู่ในรูปแบบที่สอดคล้องกับ input layer ของ model

3.1.2.3 นำ Model ประมวลผลตำแหน่งพิกัด (x,y) ออกมา

3.1.2.4 Web Application ตรวจสอบเงื่อนไขการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้าม ถ้ามีการละเมิดให้บันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

3.1.2.5 บันทึกข้อมูลตำแหน่ง, Area และเวลา ลงในฐานข้อมูล

3.1.2.6 Web Application นำข้อมูลตำแหน่งที่คำนวณจากข้อมูล Model มาแสดงผลโดย Plot ลงบนกราฟในหน้าแผนที่

3.1.2.7 นำข้อมูลการละเมิดมาแสดงในตารางในหน้าแสดงข้อมูล

3.4 Use Case Diagram

รูป 3.4 Use case diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Use case ของระบบในตอนนี้มี 1 Use case นั่นคือการดูตำแหน่งขอคนหรือสิ่งของที่ถูกติดตาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 3.1 Use case ล็อกอิน

Use case: ล็อคอิน
Use case ID : UWB-01
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่ทำการเข้าสู่ระบบ
Description: เจ้าหน้าที่ทำการเข้าสู่ระบบก่อนใช้งานเว็บ
Preconditions: เปิดเข้า web Application
Flow of Events: 1. กรอก Username และ Password 2. กดปุ่ม Login
Postconditions: เข้าสู่ระบบ

ตาราง 3.2 Use case ดูตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้

Use case: ดูตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้
Use case ID : UWB-02
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่คอยติดตามตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ที่ถูกติดตาม
Description: เจ้าหน้าที่สามารถดูตำแหน่งปัจจุบันของพนักงานที่ถูกติดตามได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่เลือกแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกผู้ใช้ที่ต้องารดูตำแหน่ง
Postconditions: ดูข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 Use case ดูตำแหน่งย้อนหลังของผู้ใช้

Use case: ดูตำแหน่งย้อนหลังของพนักงาน
Use case ID : UWB-03
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่คอยติดตามตำแหน่งย้อนหลังของพนักงานที่ถูกติดตาม
Description: เจ้าหน้าที่คอยติดตามตำแหน่งย้อนหลังของพนักงานที่ถูกติดตามได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกช่วงเวลาย้อนหลังดูที่ต้องการ 3. เจ้าหน้าที่เลือกผู้ใช้ที่ต้องการดูตำแหน่ง
Postconditions: ดูข้อมูลย้อนหลังได้สำเร็จ

ตาราง 3.4 Use case ดูเส้นทางการเดินของผู้ใช้งาน

Use case: ดูเส้นทางการเดินของผู้ใช้งาน
Use case ID : UWB-04
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่คอยติดตามเส้นทางของผู้ใช้
Description: เจ้าหน้าที่คอยติดตามเส้นทางของผู้ใช้ได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูแมพ 2. เจ้าหน้าที่เลือกช่วงเวลาย้อนหลังที่ต้องการ 3. เจ้าหน้าที่เลือกพนักงานที่ต้องการดูตำแหน่ง 4. เจ้าหน้าที่กดปุ่มเปิดแสดงเส้นทาง
Postconditions: ดูเส้นทางได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.5 Use case ลงทะเบียนผู้ใช้งาน

Use case: ลงทะเบียนให้พนักงาน
Use case ID : UWB-0**5**
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่ลงทะเบียนให้พนักงานเพื่อติดตามตำแหน่ง
Description: เจ้าหน้าที่สามารถลงทะเบียนให้พนักงาน เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามตำแหน่งได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่เลือกเมนูลงทะเบียน 2. เจ้าหน้าที่กรอกข้อมูลตามแบบฟอร์มบนเว็บ 3. เจ้าหน้าที่กดปุ่มลงทะเบียน
Postconditions: ลงทะเบียนสำเร็จ

ตาราง 3.6 Use case ดูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้

Use case: ดูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้
Use case ID : UWB-06
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่ตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้
Description: เจ้าหน้าที่ตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้งานได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่เลือกดูข้อมูล
Postconditions: ดูการละเมิดเข้าพื้นที่หวงห้ามของผู้ใช้ได้สำเร็จ

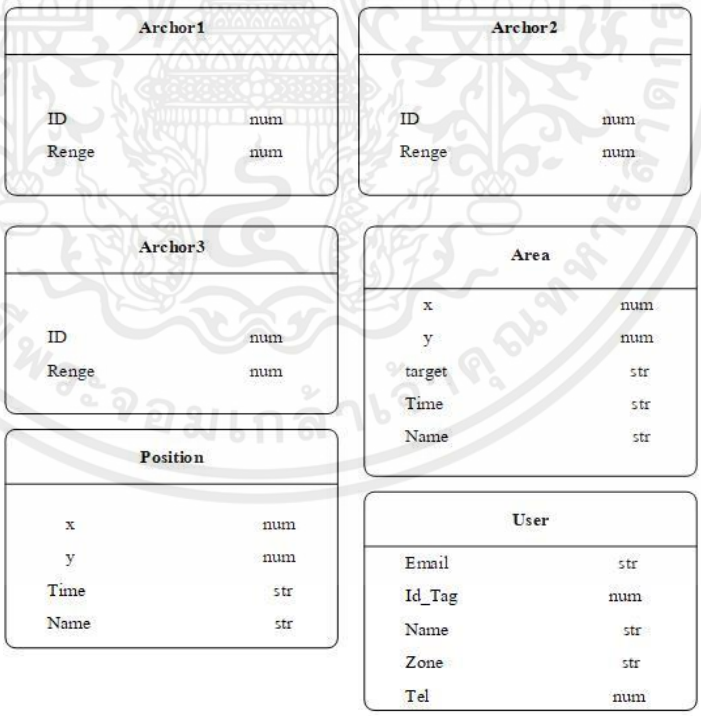
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.7 Use case ล็อกเอาท์

Use case: ล็อกเอาท์
Use case ID : UWB-07
Actor: เจ้าหน้าที่ Semantics: เจ้าหน้าที่ ล็อกเอาท์ออกจากระบบ
Description: เจ้าหน้าที่ ล็อกเอาท์ออกจากระบบได้
Preconditions: เข้าสู่ระบบสำเร็จ
Flow of Events: 1. เจ้าหน้าที่กดปุ่มล็อกเอาท์
Postconditions: ออกจากระบบสำเร็จ

3.5 การออกแบบฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลของโครงงานนี้จัดทำได้เลือกใช้ Firebase ซึ่งเป็นฐานข้อมูล NoSql เก็บข้อมูลในรูปแบบของ Document ที่มี key และ value โดยฐานข้อมูลของระบบจัดมีทั้งหมด 6 ตาราง ดังแสดงรูป 3.7



รูป 3.7 ตารางทั้งหมดในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 Archor1

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลระยะทางและ ไอดีแท็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ID เป็นหมายเลข id ประจำตัว Tag ที่เก็บในรูปแบบ number
2) Range เป็นค่าระยะทางที่วัดจาก จากตัว Tag ที่ห่างจากตัว Archor ตัวที่ 1 โดยเก็บค่าเป็น numbe

3.5.2 Archor2

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลระยะทางและ ไอดีแท็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ID เป็นหมายเลข id ประจำตัว Tag ที่เก็บในรูปแบบ number
2) Range เป็นค่าระยะทางที่วัดจาก จากตัว Tag ที่ห่างจากตัว Archor ตัวที่ 2 โดยเก็บค่าเป็น number

3.5.3 Archor3

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลระยะทางและ ไอดีแท็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ID เป็นหมายเลข id ประจำตัว Tag ที่เก็บในรูปแบบ number
2) Range เป็นค่าระยะทางที่วัดจาก จากตัว Tag ที่ห่างจากตัว Archor ตัวที่ 3 โดยเก็บค่าเป็น number

3.5.4 area

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลการละเมิดเขตหวงห้าม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Fence เป็นการเก็บพิกัดจุด (x,y) ของแต่ละมุมของพื้นที่ เพื่อใช้ในการวาดแผนที่บนกราฟอยู่ในรูปแบบ Array
2) Target คือ โซนที่หวงห้ามที่ user ไม่สามารถเข้าได้
3) Time คือ เวลาที่มีการเข้าเขตหวงห้ามโดยเก็บในรูปแบบ number
4) Name คือ ชื่อ user ที่ได้ทำการละเมิดเข้าพื้นที่เขตหวงห้าม โดยได้เก็บข้อมูลเป็น string

3.5.5 Position

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลที่ประมวลผลตำแหน่งของผู้ใช้นั้นๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Fence เป็นการเก็บพิกัดจุด (x,y) ของแต่ละมุมของพื้นที่โดยการคำนวณมาแล้ว จะใช้ในการวาดเพื่อแสดงผลบนหน้าเว็บ
2) Time เวลาในการเพิ่มข้อมูล โดยเก็บข้อมูลเป็น number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Name คือ ชื่อ user ที่ทำการประมวลผลค่าออกมา โดยเก็บข้อมูลเป็น string

3.5.6 User

เป็นตารางที่ใช้เก็บข้อมูลผู้ใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) Email คือ email ของผู้ใช้งานโดยเก็บข้อมูล เป็น string
2) Id_Tag คือ หมายเลข Tag ประจำตัวผู้ใช้งาน โดยเก็บข้อมูลเป็น number
3) Name คือ ชื่อและนามสกุลผู้ใช้งาน โดยเก็บข้อมูลเป็น string
4) Zome คือ การรับอนุญาติการเข้าใช้งานพื้นที่ โดยเก็บข้อมูลเป็น string
5) Tel คือ เบอร์โทรศัพท์ของผู้ใช้งาน โดยเก็บข้อมูลเป็น number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลอง

จากบทที่แล้วทำการออกแบบอุปกรณ์การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้คลื่นสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์โดยจะนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้มาใส่โค้ดเพื่อนำมาทดลองระบุตำแหน่งของวัตถุ

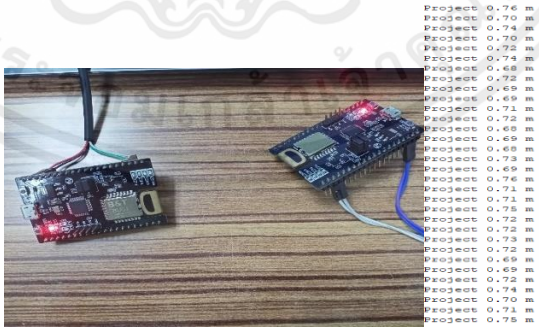
4.1 ทดลองการรับส่งสัญญาณเบื้องต้น

วิธีการดำเนินการ

1) ทำการรันโค้ดลงไปในตัวส่งสัญญาณ (Tag) ให้ส่งตัวอักษรคือคำว่า “Project” พร้อมกับระยะทางที่ได้ออกมา และให้ตัวรับสัญญาณ (Anchor) ทั้งสามตัว ทำการรับโค้ดลับจากตัวส่งสัญญาณได้
2) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าจอ Serial Monitor

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ตัวส่งสัญญาณ (Tag) และตัวรับสัญญาณ (Anchor) สามารถรับและส่งข้อมูลหากันได้โดยที่ตัวส่งโค้ดตัวอักษรคือคำว่า “Project” และค่าระยะทาง ออกมา และถ้าหากตัวรับสามารถรับสัญญาณของตัวส่งสัญญาณได้ ก็จะแสดงโค้ดตัวอักษรที่ตัวส่งส่งออกมาทาง Serial Monitor ดังรูป 4.1



รูป 4.1 ทดลองการรับส่งสัญญาณที่ส่งออกจากตัวส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายภาพ

จากการทดลองพบว่า Anchor แต่ละตัวสามารถรับคำว่า Project และระยะทาง ที่ Tag ส่งออกมาได้

4.2 การทดลองหาระยะการทำงานบอร์ดอัลตราไวด์แบนด์

ทำการทดลองวัดระยะทางของบอร์ดอัลตราไวด์บนด์ที่สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง เพื่อหาค่าผิดพลาดของ Anchor แต่ละตัวกับ Tag เทียบกับระยะทางจริง

4.2.1 การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัวส่งสัญญาณแต่ละตัวที่ระยะทางต่างๆภายนอกอาคาร

1) ทำการกำหนดจุดเป็นแนวเส้นตรงบนพื้นที่โล่ง โดยแต่ละจุดห่างกัน 10 เมตร ดังรูป 4.2
2) เปิดใช้งาน Anchor เพียงตัวเดียว และนำ Tag ไปวางยังจุดต่างๆที่กำหนดไว้ พร้อมบันทึกผลทั้งหมด 3 รอบ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง เพื่อหาค่าความผิดพลาดจากสมการ Error = || Dn-D || โดย

   Error คือ ค่าความผิดพลาด

   Dn คือ ผลของการทดสอบรอบที่ 1,2 และ 3

   D คือ ระยะทางจริง
3) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด(%Error)ของแต่ละจุดจากสมการ

$$\%\mathbf{Error} = \left[\frac{||\mathbf{Dn}-\mathbf{D}||}{\mathbf{D}}\right] * \mathbf{100}$$

รูป 4.2 ระยะทางจริงภายในอาคาร

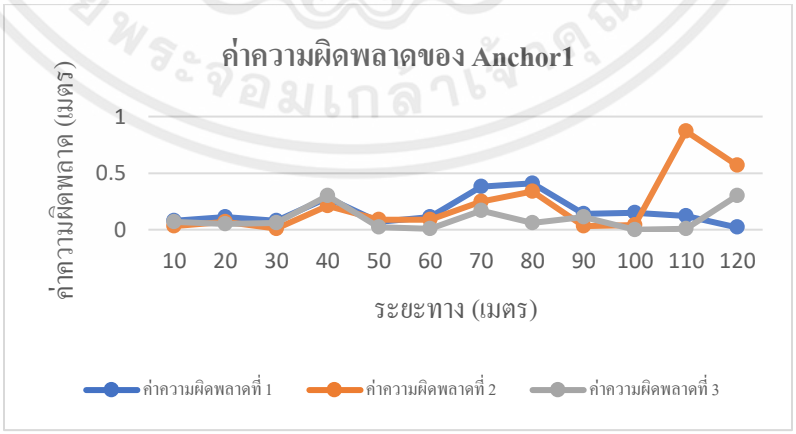
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ระยะทางระหว่าง Anchor 1 กับ Tag ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
10.00	10.08	10.03	10.07	0.08	0.03	0.07
20.00	20.11	19.93	19.95	0.11	0.07	0.05
30.00	30.08	30.01	30.06	0.08	0.01	0.06
40.00	39.72	40.21	40.3	0.28	0.21	0.30
50.00	50.07	49.91	50.02	0.07	0.09	0.02
60.00	60.11	60.09	60.01	0.11	0.09	0.01
70.00	70.38	70.25	70.17	0.38	0.25	0.17
80.00	80.41	80.34	80.06	0.41	0.34	0.06
90.00	90.14	90.03	90.11	0.14	0.03	0.11
100.00	100.15	100.04	100	0.15	0.04	0.00
110.00	110.12	109.13	110.01	0.12	0.87	0.01
120.00	120.02	120.57	120.3	0.02	0.57	0.30

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.3



รูป 4.3 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor1 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor1 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.01 เมตร และตัว Anchor1 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.87 และมีค่า % Error ไม่เกิน0 0.80 %

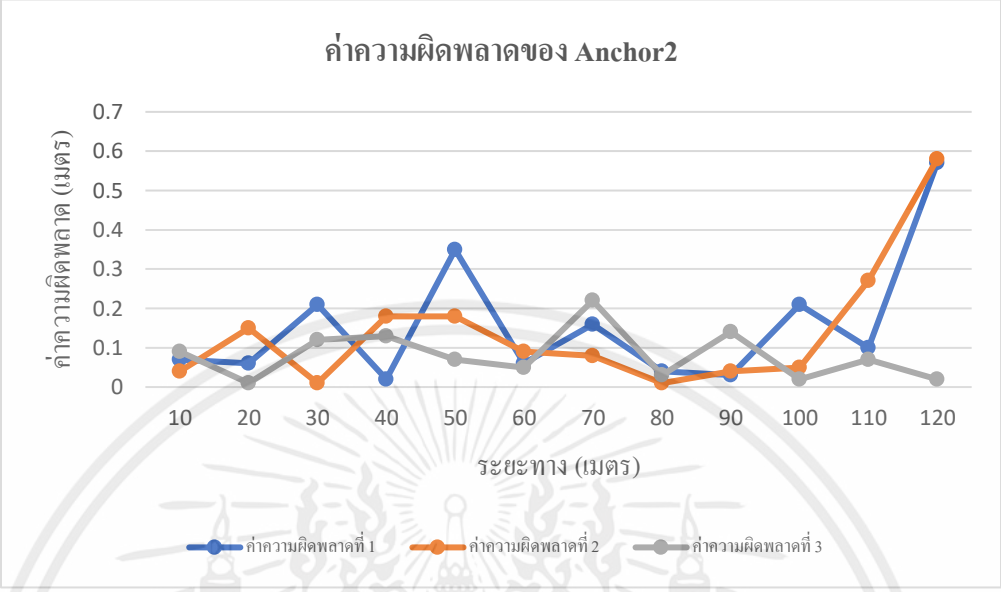
4.2.1.2 ระยะทางระหว่าง Anchor 2 กับ Tag ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ระยะทางระหว่าง Anchor2 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
10.00	10.07	10.04	10.09	0.07	0.04	0.09
20.00	19.94	19.85	20.01	0.06	0.15	0.01
30.00	29.79	30.01	30.12	0.21	0.01	0.12
40.00	39.98	40.18	40.13	0.02	0.18	0.13
50.00	49.65	49.82	50.07	0.35	0.18	0.07
60.00	60.06	60.09	60.05	0.06	0.09	0.05
70.00	70.16	70.08	70.22	0.16	0.08	0.22
80.00	80.04	80.01	80.03	0.04	0.01	0.03
90.00	90.03	90.04	90.14	0.03	0.04	0.14
100.00	100.21	100.05	100.02	0.21	0.05	0.02
110.00	110.1	110.27	110.07	0.10	0.27	0.07
120.00	120.57	120.58	120.02	0.57	0.58	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.4



รูป 4.4 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor2 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor2 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor2 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.01 เมตร และตัว Anchor2 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.58 และมีค่า % Error ไม่เกิน 0.90 %

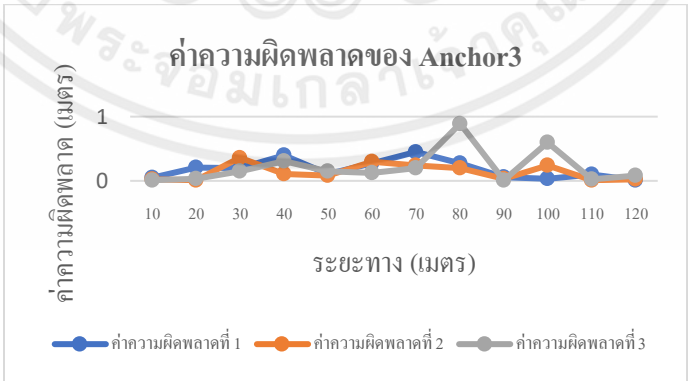
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ระยะทางระหว่าง Anchor 3 กับ Tag ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
10.00	10.05	9.98	10.01	0.05	0.02	0.01
20.00	19.79	20.01	19.97	0.21	0.01	0.03
30.00	29.8	29.64	30.15	0.20	0.36	0.15
40.00	39.6	39.89	39.69	0.40	0.11	0.31
50.00	49.89	50.08	49.85	0.11	0.08	0.15
60.00	60.27	60.3	60.12	0.27	0.30	0.12
70.00	70.45	70.24	70.2	0.45	0.24	0.20
80.00	80.27	80.2	80.89	0.27	0.20	0.89
90.00	90.06	90.03	90.01	0.06	0.03	0.01
100.00	100.03	100.24	99.4	0.03	0.24	0.60
110.00	110.1	110.01	110.02	0.10	0.01	0.02
120.00	120.01	120.02	120.08	0.01	0.02	0.08

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.5



รูป 4.5 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor3 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor3 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor3 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.01 เมตร และตัว Ancho3 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.89 และมีค่า % error ไม่เกิน 1.11 %

4.2.2 การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของตัวส่งสัญญาณแต่บะตัวที่ระยะทางต่างๆภายในอาคาร

1) ทำการกำหนดจุดระยะทางตัวส่งสัญญาณแต่บะตัวไปยังตัวรับสัญญาณห่างกันที่ละ 1 เมตร ระยะห่างตั้งแต่ 1-14 เมตร ดังรูปที่ 4.6
2) เปิดใช้งาน Anchor เพียงตัวเดียว และนำ Tag ไปวางยังจุดต่างๆที่กำหนดไว้ พร้อมบันทึกผลทั้งหมด 3 รอบ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง เพื่อหาค่าความผิดพลาดจากสมการ Error = || Dn-D || โดย

   Error คือ ค่าความผิดพลาด

   Dn คือ ผลของการทดสอบรอบที่ 1,2 และ 3

   D คือ ระยะทางจริง

รูป 4.6 ระยะทางจริงภายในอาคาร

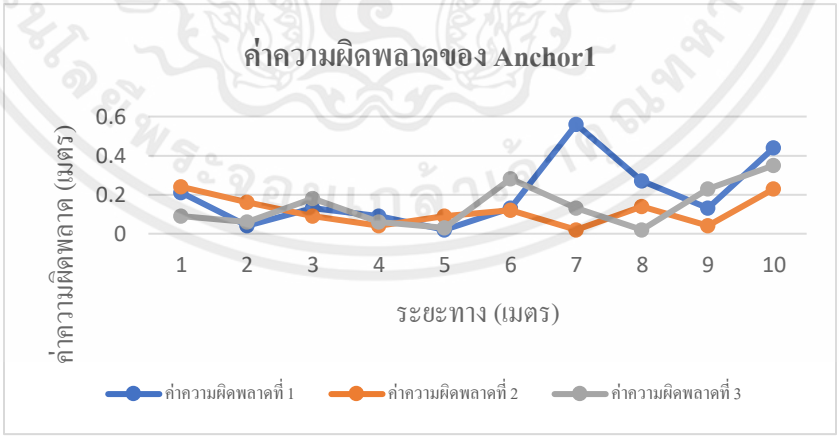
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ระยะทางระหว่าง Anchor 1 กับ Tag ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
1	0.79	0.76	1.09	0.21	0.24	0.09
2	2.04	2.16	2.06	0.04	0.16	0.06
3	2.87	3.09	3.18	0.13	0.09	0.18
4	4.09	4.04	4.06	0.09	0.04	0.06
5	4.98	5.09	5.03	0.02	0.09	0.03
6	6.13	6.12	6.28	0.13	0.12	0.28
7	7.56	7.02	7.13	0.56	0.02	0.13
8	7.73	7.86	8.02	0.27	0.14	0.02
9	9.13	9.04	9.23	0.13	0.04	0.23
10	10.44	10.23	10.35	0.44	0.23	0.35

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.7



รูป 4.7 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor1 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor1 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor1 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.02 เมตร และตัว Ancho1 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.44

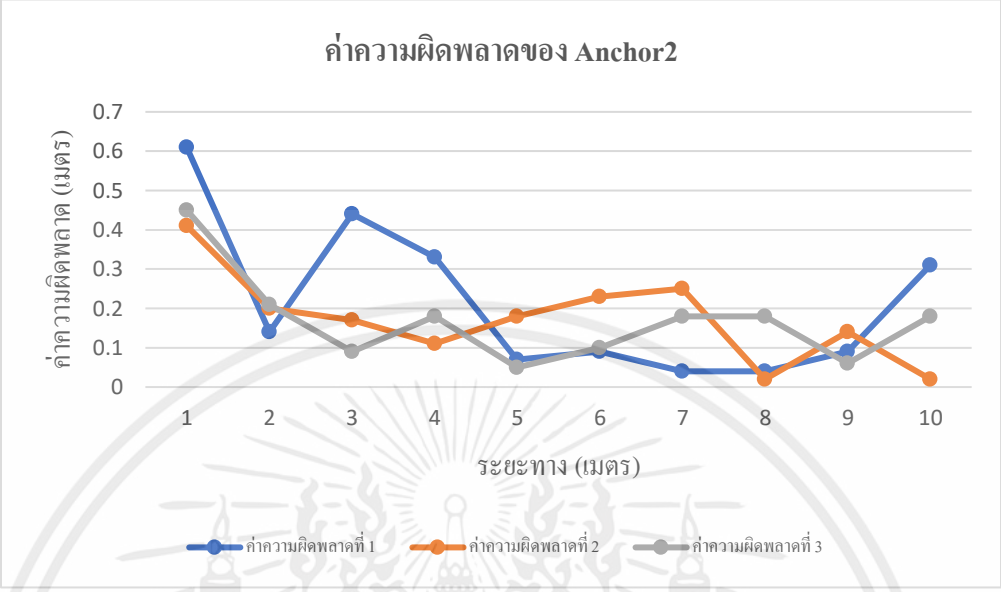
4.2.2.2 ระยะทางระหว่าง Anchor 2 กับ Tag ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ระยะทางระหว่าง Anchor2 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
1	0.39	0.59	0.55	0.61	0.41	0.45
2	1.86	1.80	1.79	0.14	0.20	0.21
3	2.56	3.17	3.09	0.44	0.17	0.09
4	4.33	4.11	4.18	0.33	0.11	0.18
5	5.07	5.18	5.05	0.07	0.18	0.05
6	6.09	6.23	6.10	0.09	0.23	0.10
7	6.96	7.25	7.18	0.04	0.25	0.18
8	7.96	7.98	8.18	0.04	0.02	0.18
9	9.09	9.14	9.06	0.09	0.14	0.06
10	9.69	10.02	10.18	0.31	0.02	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.8



รูป 4.8 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor3 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor3 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor3 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.02 เมตร และตัว Ancho3 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.61

4.2.2.3 ระยะทางระหว่าง Anchor 3 กับ Tag ดังตาราง 4.6

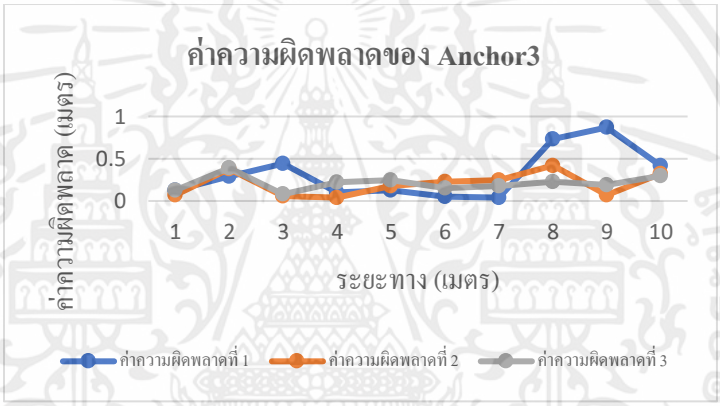
ตาราง 4.6 ระยะทางระหว่าง Anchor1 กับ Tag

ระยะทางจริง (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 1 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 2 (เมตร)	การทดสอบรอบที่ 3 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 1 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)	ค่าความผิดพลาดรอบที่ 2 (เมตร)
1	1.13	0.93	0.87	0.13	0.07	0.13
2	1.71	1.62	2.39	0.29	0.38	0.39
3	2.56	2.94	3.08	0.44	0.06	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	4.10	4.04	4.22	0.10	0.04	0.22
5	4.87	4.82	5.25	0.13	0.18	0.25
6	6.05	6.23	6.15	0.05	0.23	0.15
7	6.96	7.25	7.18	0.04	0.25	0.18
8	8.73	8.42	7.77	0.73	0.42	0.23
9	9.87	9.07	9.19	0.87	0.07	0.19
10	10.42	10.32	10.30	0.42	0.32	0.30

ผลการทดลองมาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงความผิดพลาด ดังรูป 4.9



รูป 4.9 ค่าความผิดพลาดของการวัดระยะทาง รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง Anchor3 ทั้งสามรอบ เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนของระยะทางต่างๆ ภายนอกอาคาร พบว่าระยะทางเท่ากันแต่ตัว Anchor3 แต่ละตัวมีค่าระยะทางที่วัดได้แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคาดเคลื่อนในขั้นตอนนี้จะส่งผลไปยังการระบุตำแหน่งและยังพบว่าตัว Anchor3 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากระยะทางจริงเท่ากับ 0.04 เมตร และตัว Ancho3 มีค่าความคาดเคลื่อนมากที่สุด 0.7

4.2.3 การทดสอบการระบุตำแหน่ง

ในการทดสอบ การระบุตำแหน่งภายในอาคารขนาดพื้นที่การทดลองเท่ากับ 5 * 5 เมตร ทำการทดลองภายในพื้นที่การทดลองทั้งหมด 25 จุด ดังแสดงรูป 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,1	2,1	3,1	4,1	5,1
1,2	2,2	3,2	4,2	5,2
1,3	2,3	3,3	4,3	5,3
1,4	2,4	3,4	4,4	5,4
1,5	2,5	3,5	4,5	5,5

รูป 4.10 จุดทดสอบในพื้นที่ทดลอง

โดยทำการทดลองวัดตำแหน่งทุกจุดในแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดทดสอบระบุตำแหน่งทั้งหมด 10 ครั้ง เมื่อได้ผลการระบุตำแหน่งจริง จะนำค่าตำแหน่งจริงมาเฉลี่ย และหาค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งจริง กับตำแหน่งจริง กับตำแหน่งที่กำหนดโดยใช้วิธีระยะทางยูคลิเดียน เพื่อระบุตำแหน่งความคาดเคลื่อนในตำแหน่งระยะทางของแต่ละตำแหน่งด้วยหน่วยเป็นเมตรดังแสดงตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลองจากความสูง 0.5 เมตร

ตำแหน่งจริง	ความคาดเคลื่อนน้อย (เมตร)	ความคาดเคลื่อนมาก (เมตร)	ความคาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(1,1)	0.255436	0.319997	0.278403
(1,2)	0.188337	1.099738	0.350591
(1,3)	1.06040	1.14429	1.09907
(1,4)	0.633211	1.136602	1.01718
(1,5)	0.496975	0.664299	0.59677
(2,1)	0.687895	1.16124	0.95800
(2,2)	0.12754	0.972679	0.31514
(2,3)	0.138478	0.945549	0.26813
(2,4)	0.232748	0.805037	0.54249
(2,5)	0.901756	1.612056	1.09101
(3,1)	0.411488	0.66489	0.55984
(3,2)	0.555212	0.745701	0.63232
(3,3)	0.497796	1.002344	0.85072
(3,4)	0.913216	1.013486	0.96289
(3,5)	0.575189	1.254083	0.99567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4,1)	0.183574	0.82239	0.28366
(4,2)	0.247308	0.444076	0.33643
(4,3)	0.37957	0.873034	0.71033
(4,4)	0.754694	1.701849	0.97450
(4,5)	0.506075	0.648869	0.58888
(5,1)	0.021766	0.286086	0.12133
(5,2)	0.107703	0.745578	0.22860
(5,3)	0.17693	0.512828	0.34019
(5,4)	0.509576	0.912573	0.62045
(5,5)	0.401046	0.65059	0.56690

จากตารางดังกล่าว ทำให้เราทราบว่าการระบุตำแหน่งจะมีความคาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดอยู่ประมาณ 0.61158 เมตร

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลอง จากความสูง 1 เมตร

ตำแหน่งจริง	ความคาดเคลื่อนน้อย (เมตร)	ความคาดเคลื่อนมาก (เมตร)	ความคาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(1,1)	0.01535	0.933458	0.51164
(1,2)	0.285234	0.924406	0.487748
(1,3)	0.53826	1.31903	0.85565
(1,4)	0.491168	1.009324	0.72409
(1,5)	0.079366	1.08977	0.74302
(2,1)	0.37471	0.979773	0.66990
(2,2)	0.134321	1.15066	0.67161
(2,3)	0.181494	2.113748	1.40165
(2,4)	0.21154	1.163769	0.70216
(2,5)	0.142494	1.074382	0.64588
(3,1)	0.282215	0.911333	0.66122
(3,2)	0.555716	1.073153	0.79243
(3,3)	0.331697	1.251727	0.68338

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3,4)	0.104967	1.237779	0.83706
(3,5)	0.130001	0.936521	0.57832
(4,1)	0.369596	0.997454	0.69116
(4,2)	0.387888	0.891743	0.71278
(4,3)	0.222997	1.127339	0.79303
(4,4)	0.165235	1.242021	0.72782
(4,5)	0.153745	1.226395	0.67079
(5,1)	0.24896	0.956422	0.65316
(5,2)	0.350191	1.069164	0.74926
(5,3)	0.31999	1.168858	0.78385
(5,4)	0.314589	1.219765	0.79596
(5,5)	0.171502	1.252074	0.84645

จากตารางดังกล่าว ทำให้เราทราบว่าการระบุตำแหน่งจะมีความคาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดอยู่ประมาณ 0.735601 เมตร

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการระบุตำแหน่งในพื้นที่การทดลอง จากความสูง 1.5 เมตร

ตำแหน่งจริง	ความคาดเคลื่อนน้อย (เมตร)	ความคาดเคลื่อนมาก (เมตร)	ความคาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(1,1)	0.366947	1.064666	0.638066
(1,2)	0.533813	1.167186	0.818228
(1,3)	0.20689	1.32080	1.03174
(1,4)	0.457349	1.4749	0.95565
(1,5)	0.269576	0.95039	0.63119
(2,1)	0.255677	1.164626	0.74592
(2,2)	0.345836	0.931188	0.69630
(2,3)	0.160463	1.316239	0.65414
(2,4)	0.281133	1.218951	0.69656
(2,5)	0.302628	1.201955	0.68828
(3,1)	0.265835	1.011016	0.66239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3,2)	0.276668	0.953826	0.68607
(3,3)	0.2912	1.255541	0.69766
(3,4)	0.471966	1.178193	0.82110
(3,5)	0.291066	0.858993	0.61289
(4,1)	0.632541	0.856052	0.75309
(4,2)	0.199681	1.097867	0.72309
(4,3)	0.380835	1.045204	0.78183
(4,4)	0.306076	0.832162	0.60266
(4,5)	0.717212	1.035748	0.81639
(5,1)	0.190142	1.164551	0.72196
(5,2)	0.083605	1.29656	0.68425
(5,3)	0.228841	0.83318	0.54189
(5,4)	0.292411	1.080833	0.62148
(5,5)	0.261309	1.080833	0.64526

จากตารางดังกล่าว ทำให้เราทราบว่าการระบุตำแหน่งจะมีความคาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่กำหนดอยู่ประมาณ 0.717123 เมตร

4.2.4 ลักษณะการวางของตำแหน่งสัญญาณ

พารามิเตอร์ในการทดลองมีการทดลองทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความสูงของตัวส่งสัญญาณลักษณะการวางของตัวส่งสัญญาณ รูปแบบการวางของตัวสัญญาณและจำนวนของตัวส่งสัญญาณซึ่งลักษณะของพารามิเตอร์รูปแบบต่างๆ แสดงได้ดังนี้

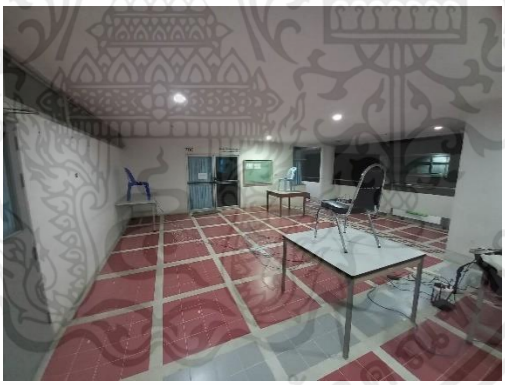
4.2.4.1 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ

พารามิเตอร์ความสูงของตัวส่งสัญญาณมีทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ ความสูงของตัวส่งสัญญาณที่ระดับ 0.5 เมตร ความสูงของตัวส่งสัญญาณระดับ 1 เมตร และความสูงของตัวส่งสัญญาณที่ระดับ 1.5 เมตร ดังรูป 4.10 4.11 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.11 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ 0.5 เมตร

รูป 4.12 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ 1 เมตร

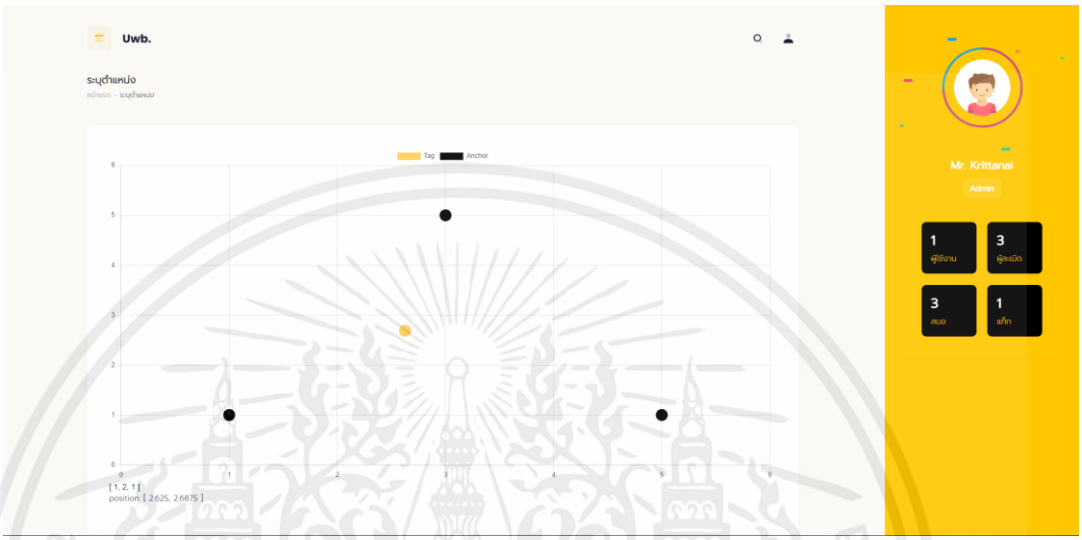


รูปที่ 4.13 ความสูงของตัวส่งสัญญาณ 1.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การแสดงผลบนหน้า web Application

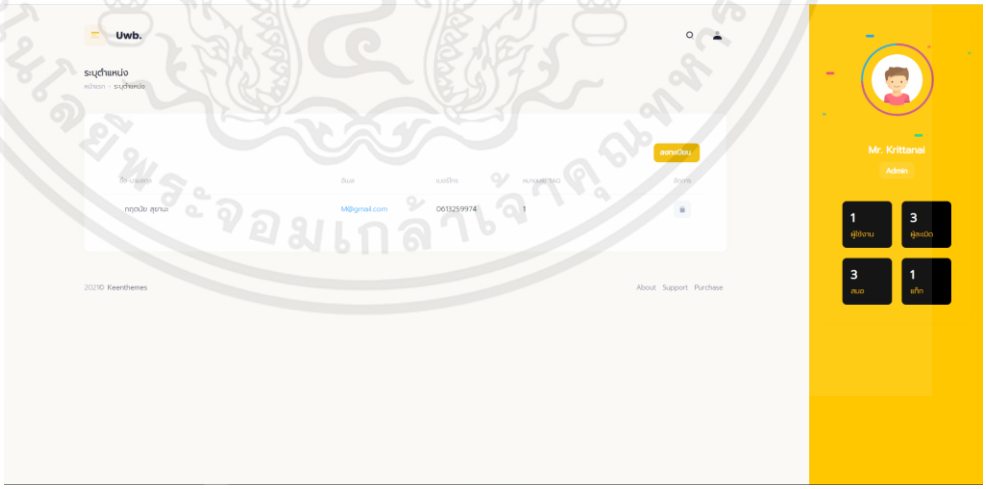
หน้าแผนที่เป็นหน้าที่ใช้ในการติดตามตำแหน่งของพนักงานแต่ละคนรวมไปถึงการดูตำแหน่งย้อนหลังและเส้นทางการเดินของพนักงานแต่ละคนด้วย โดยอธิบายที่ละฟีเจอร์ดังนี้



รูป 4.14 หน้าแผนที่

4.3.1 การลงทะเบียนผู้ใช้งานใหม่

การลงทะเบียนผู้ใช้งานใหม่มีไว้เพื่อเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานและเปรียบเสมือนกับการลงทะเบียนเพื่อใช้อุปกรณ์ติดตาม เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถติดตามตำแหน่งของผู้ใช้งานนั้นได้

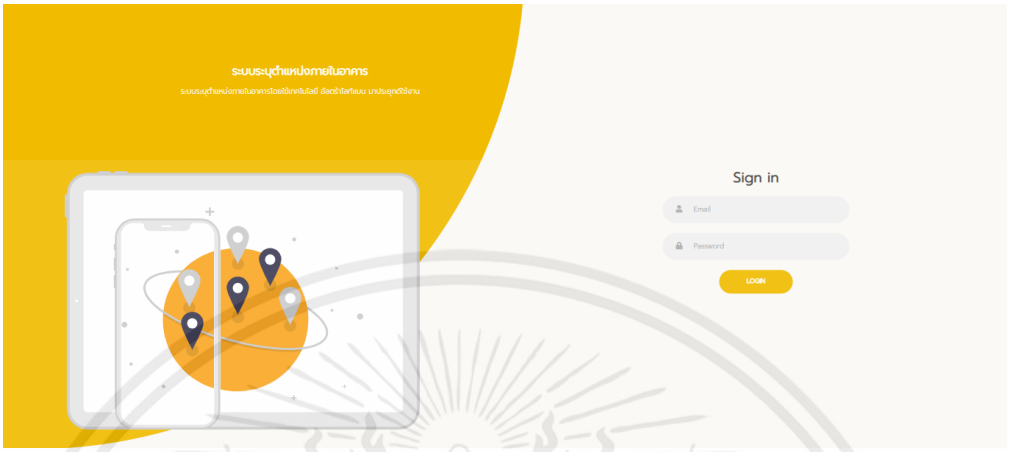


รูป 4.15 หน้าเพิ่มผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การเข้าสู่ระบบ

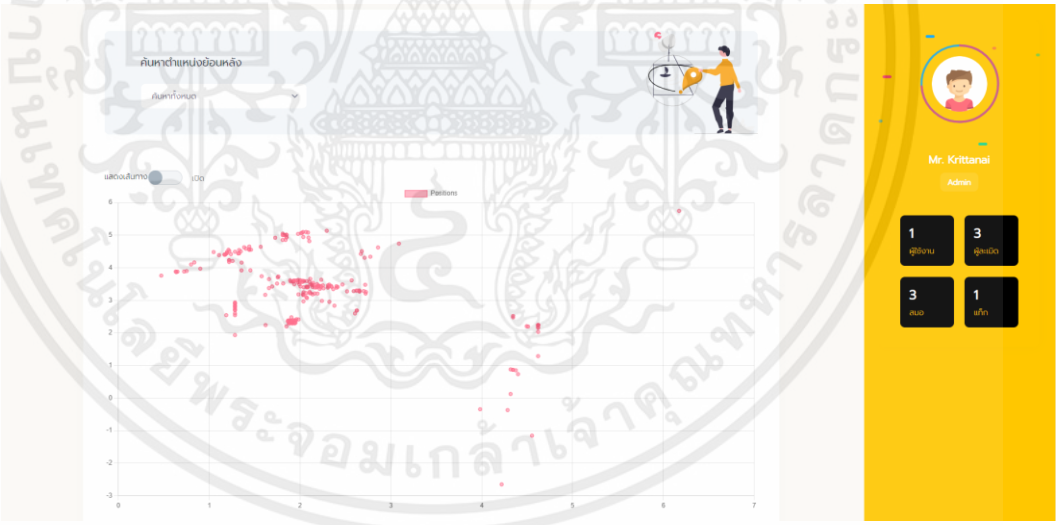
หลังจากลงทะเบียนเพื่อใช้งานแล้ว สามารถเข้าสู่ระบบเพื่อใช้งานเว็บ



รูป 4.16 หน้าเข้าสู่ระบบ

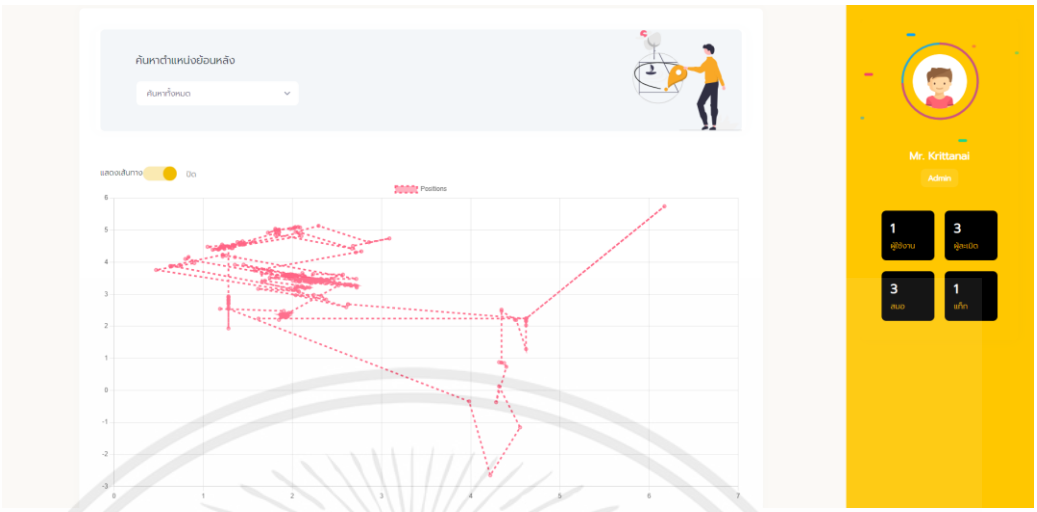
4.3.3 การดูตำแหน่งย้อนหลัง

การดูตำแหน่งปัจจุบันทำได้โดยเลือก Dropdown “เลือกระยะเวลา.เมื่อกดแล้วจะปรากฏเป็นข้อมูลตำแหน่งที่ผู้ใช้งานได้ทำการเดินตามเส้นทาง แล้วนำมาแสดงบนแผนที่ดังรูป



รูป 4.17 หน้าประวัติการค้นหา

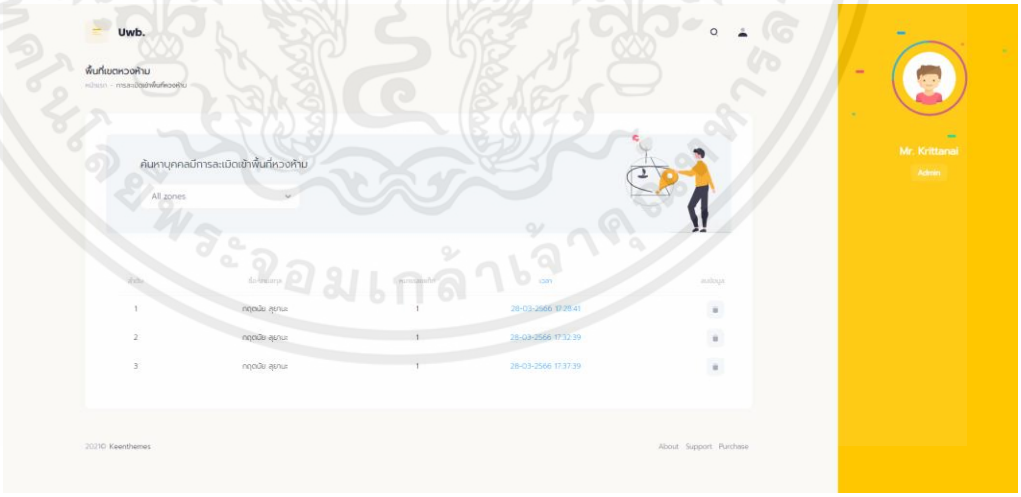
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.18 หน้าประวัติการค้นหา โดยแสดงแบบเส้นทาง

4.3.4 การตรวจสอบการละเมิดเข้าพื้นที่เขตหวงห้ามของผู้ใช้งาน

การนับเวลาทำงาน เป็นฟีเจอร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้การระบุตำแหน่งเป็นพื้นฐานกล่าวคือ เมื่อเราระบุตำแหน่งได้แล้ว ระบบจะทำการแปรผลว่าพนักงานคนนั้น อยู่บริเณไหน หรือ โซนอะไร จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลผู้ใช้งานและตำแหน่งลงในฐานข้อมูลพร้อมทั้ง เวลาจากนั้นจำคำการคำนวณเวลาได้จากการหาผลต่างของเวลา

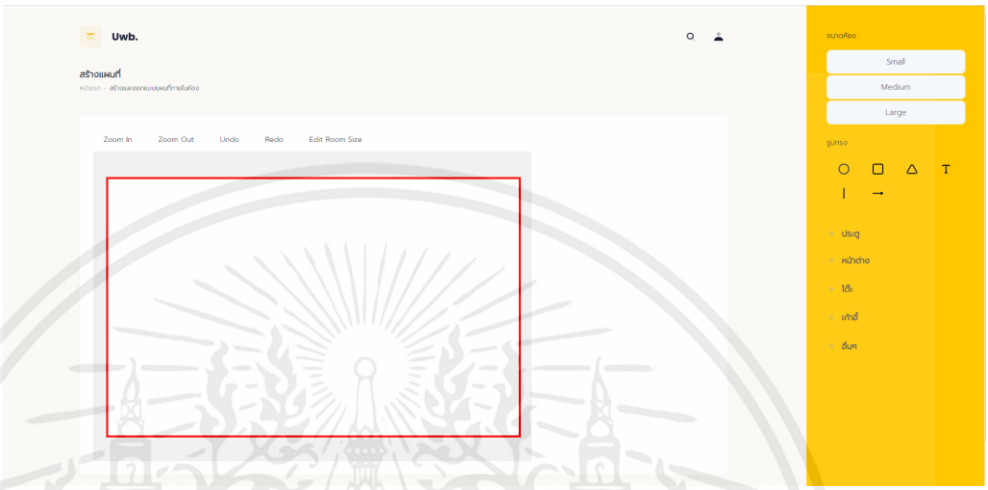


รูป 4.17 หน้าเขตหวงห้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 หน้าสร้างแผนที่

หน้าแสดงแผนที่เป็นการสร้างแผนที่ตามห้องจริงๆ โดยสามารถจัดวางตำแหน่งของวัดถุต่างๆ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ หรืออื่นๆ โดยผู้ใช้งานสามารถนำมาจัดวางตามวัตถุตามห้องจริงได้



รูป 4.18 หน้าสร้างแผนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงงานฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้คลื่นสัญญาณอัลตราไวน์แบนด์โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำคลื่นอัลตราไวน์แบนด์มาประยุกต์ให้เกิดระโยชน์ โดยนำมาระบุตำแหน่งของคนหรือสิ่งของภายในอาคารที่เคลื่อนไหวอยู่ภายในอาคาร เนื่องจากคลื่นอันตราไวน์แบนด์สามารถทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี เนื่องจากคลื่นความถี่อัลตราไวน์แบนด์เป็นคลื่นความถี่ที่มีแถบความถี่กว้างกว่าคลื่นความถี่ชนิดอื่นๆ เพราะฉะนั้นคลื่นสัญญาณนี้จึงเหมาะสมที่จะนำระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ในส่วนการทดลองของการติดต่อสื่อสารระหว่าง Tag และ Anchor แต่ละตัว สามารสรุปได้จากผลการทดลองได้ดังนี้

จากผลการทดลอง 4.2.1 การทดลองหาระยะทางภายนอกอาคารเพื่อหาความคาดเคลื่อนของ Anchor แต่ละตัวกับ Tag เทียบกับระยะทางจริง ผลลัพธ์ที่ได้ คือมีความม่นยำ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดไม่เกิน 1.11% และสามารถวัดได้สูงสุด 120 เมตร

จากผลการทดลอง 4.2.2 เป็นการทดลองหาระยะทางภายในอาคารเพื่อหาค่าความคาดเคลื่อน ของ Anchor แต่ละตัวกับ Tag เทียบกับระยะจริง โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดในการวัดระยะทางและทดลองการทะลุผ่านสิ่งกีดขวางโดยทำการทดสอบ 10 รอบ นำมาเปรียบเทียบกันว่าความแม่นยำมากหรือน้อยแค่ไหน

จากผลการทดลอง 4.2.3 ผลสรุปว่าระยะ 0.5 เมตรมีค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดที่ตัว Tag อยู่ประมาณ 0.61158 เมตร และระยะ 1 เมตรมีค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดที่ตัว Tag อยู่ประมาณ 0.735601 เมตร และระยะ 1.5 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดที่ตัว Tag อยู่ประมาณ 0.717123 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างทำโครงงาน

1) เนื่องจากบอร์ด NodeMcu BU01 ไม่สามารถต่ออินเตอร์เน็ตได้ ทางคณะผู้จัดทำ ได้ทำการต่อเชื่อมกับ esp32

2) ในการส่งค่า Uart มีค่าที่คาดเคลื่อน ทางผู้จัดทำจึงเปลี่ยน การส่งข้อมูล I2C Protocol

3) จากการแก้ปัญหาเชื่อมต่อกับ esp32 มีปัญหาในการรับส่งข้อมูลเนื่องจากสัญญาณ wifi ส่งค่าออกมาไม่ครบหรือไม่ก็สูญหายบางช่วงเลยเปลี่ยนวิธีการส่งค่าเป็นผ่านสายอินเตอร์เน็ตโดยเปลี่ยน esp32 เป็น uno r3 ต่อกับ ETH Shield w5100

4) หลังจากแก้ไขปัญหาข้อมูลสูญหายในระหว่างการส่งข้อมูลพบว่าตัว ETH Shield w5100 ไม่สามารถใช้การทำงานในรูปแบบ POE ได้เนื่องจากไม่รองรับจึง จัดหาตัวแปลงเป็น Connector POE to lan power

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

1) ปรับอัลกอริทึมเดิม ให้ระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น

2) พัฒนา web Application ให้สวยงามมากขึ้น

3) ทดสอบกับห้องที่มีสิ่งกีดขวางเช่น ตู้ และพัฒนาโมเดลให้ระบุตำแหน่งได้แม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Abdulrahman Alarifi**. 2014**. **Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances : Computer Research Institute**

Utter, Marcus 2015. **Indoor Positioning using Ultra-wideband Technology :Uppsala University, Disciplinary Domain of Science and Technology, Mathematics and Computer Science, Department of Information Technology.**

Nezo Ibrahim Fofana 2016. **An Original Correction Method for Indoor Ultra Wide Band Ranging-based Localisation System: Networking and Internet Architecture**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับต่างๆ

ก.1 การทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ระดับความสูง 0.5 เมตร โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ให้คงที่ จำนวน 3 ตัว ผลการทดลองที่ระดับความสูง 0.5 เมตร โดยวัดจุดละ 10 ค่า แสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร

พิกัดจริง		พิกัดที่ได้จากการประมาณ		ความคาดเคลื่อน
x	x	$\hat{x}$	$\hat{y}$	(เมตร)
1	1	0.9637	1.2738	0.276196
1	1	0.9402	1.2824	0.288662
1	1	0.9834	1.2736	0.274103
1	1	0.9929	1.2581	0.258198
1	1	0.9695	1.2767	0.278376
1	1	0.9746	1.2793	0.280453
1	1	0.9593	1.2818	0.284724
1	1	0.9869	1.2551	0.255436
1	1	1.1537	1.2194	0.267881
1	1	0.9035	1.3051	0.319997
1	2	1.2490	1.7263	0.370017
1	2	1.2900	1.7274	0.398008
1	2	1.2549	1.7749	0.340065
1	2	1.2206	1.7496	0.333713
1	2	1.2305	1.7446	0.344034
1	2	1.2985	1.7135	0.413744
1	2	1.2745	1.7019	0.405233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

1	2	1.2510	1.6861	0.401913
1	2	1.1273	1.8612	0.188337
1	2	1.2372	1.7991	0.310845
1	3	1.8448	2.3591	1.06040
1	3	1.8949	2.3608	1.099738
1	3	1.9248	2.392	1.106761
1	3	1.9078	2.3805	1.099036
1	3	1.8690	2.3825	1.066052
1	3	1.8776	2.3621	1.084942
1	3	1.8863	2.3883	1.076896
1	3	1.8750	2.3020	1.119298
1	3	1.9510	2.3837	1.133237
1	3	1.9828	2.4139	1.144294
1	4	1.9797	3.5548	1.076111
1	4	2.0448	3.5525	1.136602
1	4	2.0301	3.5990	1.105399
1	4	2.0402	3.5898	1.118159
1	4	2.0013	3.6069	1.075699
1	4	1.9250	3.589	1.012199
1	4	1.9212	3.5767	1.013801
1	4	1.9252	3.5939	1.010402
1	4	1.8966	3.5796	0.990266
1	4	1.5771	3.7394	0.633211
1	5	1.3295	4.5431	0.563319
1	5	1.1684	4.3574	0.664299
1	5	1.3204	4.4364	0.648306
1	5	1.441	4.5454	0.633358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

1	5	1.3476	4.5027	0.60674
1	5	1.441	4.5697	0.616149
1	5	1.3295	4.4410	0.648885
1	5	1.1947	4.4800	0.555255
1	5	1.221	4.5134	0.534435
1	5	1.2124	4.5507	0.496975
2	1	2.6522	0.3135	0.946915
2	1	2.7063	0.2951	0.99787
2	1	2.5834	0.3168	0.898397
2	1	2.6739	0.2819	0.984789
2	1	2.7253	0.3541	0.971209
2	1	2.6585	0.2907	0.967847
2	1	2.7455	0.3397	0.995875
2	1	2.5461	0.5817	0.687895
2	1	2.6461	0.0351	1.16124
2	1	2.6905	0.3216	0.967996
2	2	2.2364	1.9067	0.254145
2	2	2.2471	1.8764	0.276289
2	2	2.2538	1.8655	0.287236
2	2	2.2513	1.8793	0.278783
2	2	2.2588	1.8980	0.278175
2	2	2.238	1.8553	0.278536
2	2	2.2389	1.9809	0.239662
2	2	2.157	2.0210	0.158398
2	2	2.1079	2.0680	0.12754
2	2	2.1289	1.0359	0.972679
2	3	1.8725	3.1107	0.168851

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

2	3	1.8315	3.1170	0.205137
2	3	1.8807	3.0878	0.148126
2	3	1.8670	3.0974	0.164851
2	3	1.9040	3.0998	0.138478
2	3	1.8753	3.0991	0.159282
2	3	1.7895	3.1619	0.26556
2	3	1.7896	3.1540	0.260738
2	3	1.8601	3.1759	0.224751
2	3	1.0788	3.2132	0.945549
2	4	2.5221	3.823	0.551287
2	4	2.5142	3.7896	0.555581
2	4	2.4709	3.8177	0.504956
2	4	2.4434	3.7428	0.512597
2	4	2.5670	3.7697	0.611986
2	4	2.5199	3.7753	0.56638
2	4	2.4475	3.3308	0.805037
2	4	2.2924	3.6934	0.423676
2	4	2.6439	3.8523	0.660623
2	4	2.2179	3.9182	0.232748
2	5	2.7897	4.0967	1.199824
2	5	2.3228	4.158	0.901756
2	5	3.3840	4.1734	1.612056
2	5	2.4121	4.1465	0.947781
2	5	2.5223	4.2191	0.939469
2	5	2.4535	4.1832	0.934251
2	5	2.7994	4.1872	1.140037
2	5	2.5685	4.1066	1.058941

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

2	5	2.5416	4.0191	1.120489
2	5	2.5326	4.0887	1.055524
3	1	3.3670	1.1861	0.411488
3	1	3.4175	1.2440	0.483572
3	1	3.3888	1.1808	0.428782
3	1	3.4803	1.3571	0.598505
3	1	3.4438	1.3500	0.565207
3	1	3.4539	1.4052	0.608451
3	1	3.4847	1.3037	0.571986
3	1	3.4519	1.4374	0.628914
3	1	3.6068	1.1925	0.636602
3	1	3.6552	1.1131	0.66489
3	2	3.5521	2.0587	0.555212
3	2	3.6111	2.028	0.611741
3	2	3.7457	1.9986	0.745701
3	2	3.6279	2.0144	0.628065
3	2	3.6468	2.0239	0.647241
3	2	3.6154	2.1288	0.628734
3	2	3.5707	2.122	0.583594
3	2	3.603	2.1355	0.618037
3	2	3.5724	2.1008	0.581208
3	2	3.6984	2.1896	0.723679
3	3	3.4959	3.0434	0.497796
3	3	3.5309	3.0109	0.531012
3	3	3.8808	2.8341	0.896288
3	3	3.9071	2.8674	0.916741
3	3	3.9422	2.8463	0.954654

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

3	3	3.8922	2.8603	0.903071
3	3	3.9324	2.8598	0.942882
3	3	3.9358	2.8580	0.946512
3	3	3.8663	2.4958	1.002344
3	3	3.9071	2.8730	0.915947
3	4	3.8323	3.5007	0.970579
3	4	3.8381	3.4892	0.981493
3	4	3.7865	3.4678	0.949642
3	4	3.8757	3.4898	1.013486
3	4	3.8236	3.4875	0.970038
3	4	3.8066	3.4856	0.956667
3	4	3.8121	3.4695	0.970019
3	4	3.7637	3.4550	0.938223
3	4	3.7514	3.4810	0.913216
3	4	3.8234	3.4958	0.965508
3	5	3.8643	4.2135	1.168587
3	5	3.7890	4.5213	0.922862
3	5	3.7800	4.0180	1.254083
3	5	3.8323	5.2819	0.878744
3	5	3.8955	4.1540	1.231924
3	5	3.7382	5.2907	0.793376
3	5	3.4646	5.3391	0.575189
3	5	3.4954	4.1817	0.956575
3	5	3.1584	4.0051	1.007431
3	5	3.9507	4.3216	1.167929
4	1	4.1773	0.9312	0.190181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

4	1	4.2014	0.8794	0.234747
4	1	4.1968	0.8923	0.224342
4	1	4.1822	0.9676	0.185058
4	1	4.2065	0.9581	0.210708
4	1	4.1745	0.9430	0.183574
4	1	4.2351	0.9961	0.235132
4	1	4.1957	1.0270	0.197554
4	1	4.7878	1.2360	0.82239
4	1	4.3510	0.9634	0.352903
4	2	4.4440	2.0082	0.444076
4	2	4.3769	1.9900	0.377033
4	2	4.3730	2.0296	0.374173
4	2	4.3000	1.9990	0.300002
4	2	4.3452	2.0270	0.346254
4	2	4.3135	2.0099	0.313656
4	2	4.3382	1.9990	0.338201
4	2	4.3760	2.0063	0.376053
4	2	4.2472	2.0126	0.247521
4	2	4.2472	2.0073	0.247308
4	3	4.7471	2.8042	0.772332
4	3	4.6906	2.8466	0.707432
4	3	4.7643	2.7730	0.797298
4	3	4.8376	2.7538	0.873034
4	3	4.7053	2.8662	0.717879
4	3	4.5572	2.7658	0.604418
4	3	4.3363	2.8240	0.37957

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

4	3	4.5275	2.7087	0.602588
4	3	4.5671	2.4652	0.779496
4	3	4.8664	2.9292	0.869288
4	4	4.3054	3.1867	0.86875
4	4	4.2910	3.1405	0.907426
4	4	4.2665	3.1968	0.846258
4	4	4.2959	3.1380	0.911373
4	4	4.3340	3.1470	0.916059
4	4	4.2860	3.1480	0.898721
4	4	4.3286	3.3206	0.754694
4	4	4.3095	3.2542	0.80747
4	4	4.6519	3.0741	1.132371
4	4	3.8690	2.3032	1.701849
4	5	4.0036	4.4347	0.565311
4	5	4.0280	4.4947	0.506075
4	5	4.0504	4.4470	0.555292
4	5	4.0750	4.4404	0.564564
4	5	4.0124	4.4303	0.569835
4	5	3.9760	4.4032	0.597282
4	5	3.9223	4.3558	0.648869
4	5	3.9113	4.3796	0.626709
4	5	3.9447	4.3964	0.606128
4	5	3.8777	4.3629	0.648732
5	1	4.9490	1.1505	0.158906
5	1	4.9890	1.0269	0.029062
5	1	5.0017	1.0217	0.021766

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

5	1	5.0308	1.1524	0.155481
5	1	5.0169	1.0854	0.087056
5	1	4.9220	0.7686	0.244192
5	1	4.8495	0.7567	0.286086
5	1	4.9486	0.8922	0.119427
5	1	4.9285	0.9844	0.073182
5	1	4.9969	1.0380	0.038126
5	2	4.9601	2.0604	0.072389
5	2	5.0909	2.1258	0.155205
5	2	4.8817	2.0215	0.120238
5	2	4.8336	1.9970	0.166427
5	2	4.8049	1.9828	0.195857
5	2	4.3041	1.7324	0.745578
5	2	5.1945	2.1999	0.278909
5	2	5.0604	2.1106	0.126018
5	2	5.0400	2.1000	0.107703
5	2	5.3031	2.0950	0.317639
5	3	4.6776	2.8015	0.378608
5	3	5.2108	2.5325	0.512828
5	3	5.0558	2.8321	0.17693
5	3	5.0991	2.8115	0.212963
5	3	5.1544	2.7115	0.327218
5	3	5.3652	2.8714	0.387181
5	3	5.201	2.7206	0.344188
5	3	5.248	2.6669	0.415283
5	3	5.075	2.5753	0.431271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 0.5 เมตร(ต่อ)

5	3	4.7955	2.9324	0.215383
5	4	5.4742	3.6929	0.564957
5	4	5.5258	3.6918	0.609469
5	4	5.7985	3.5582	0.912573
5	4	5.4243	3.7178	0.509576
5	4	5.481	3.6279	0.608128
5	4	5.4659	3.7219	0.542589
5	4	5.478	3.7426	0.542898
5	4	5.4964	3.7315	0.564363
5	4	5.6224	3.7944	0.655479
5	4	5.5847	3.6252	0.694514
5	5	5.1022	4.4414	0.567872
5	5	5.1492	4.4460	0.573739
5	5	5.1066	4.4254	0.584405
5	5	5.0475	4.4140	0.587922
5	5	5.0200	4.4277	0.572649
5	5	5.0562	4.4643	0.53864
5	5	5.0611	4.3936	0.60947
5	5	5.0383	4.4186	0.58266
Average				0.61158

ก.2 การทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ระดับความสูง 1.0 เมตร โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ให้คงที่ จำนวน 3 ตัว ผลการทดลองที่ระดับความสูง 1.0 เมตร โดยวัดจุดละ 10 ค่า แสดงดังตารางที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร

พิกัดจริง		พิกัดที่ได้จากการประมาณ		ความคาดเคลื่อน
x	x	$\hat{x}$	$\hat{y}$	(เมตร)
1	1	1.8243	0.9361	0.826773
1	1	0.9869	0.9920	0.01535
1	1	1.7236	0.4103	0.933458
1	1	1.0298	1.8132	0.813746
1	1	0.9695	0.1132	0.887324
1	1	1.0245	1.9323	0.932622
1	1	0.9746	1.0155	0.029756
1	1	1.1023	0.9998	0.1023
1	1	1.1537	0.8136	0.241596
1	1	1.3111	1.1201	0.333477
1	2	1.0223	1.7104	0.290457
1	2	1.1130	1.6436	0.373885
1	2	1.1313	1.3557	0.657543
1	2	1.1599	1.7638	0.285234
1	2	1.2133	1.6698	0.393102
1	2	0.9131	1.3718	0.634182
1	2	0.9936	1.6452	0.354858
1	2	1.2515	1.3863	0.663234
1	2	1.1996	1.0974	0.924406
1	2	1.2699	1.8677	0.300582
1	3	1.7063	2.473	0.88124
1	3	1.1236	2.1553	0.853695
1	3	1.2915	2.5475	0.538264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

1	3	1.5837	2.6417	0.684897
1	3	1.8266	2.8585	0.838624
1	3	1.7739	2.3555	1.007125
1	3	1.7184	2.3471	0.970761
1	3	1.3758	2.5173	0.611739
1	3	1.0259	2.1493	0.851094
1	3	1.8643	2.0036	1.319025
1	4	1.6567	3.5139	0.817036
1	4	1.4755	3.1097	1.009324
1	4	1.0114	3.1282	0.871875
1	4	1.4158	3.4617	0.680189
1	4	1.5041	3.8724	0.519999
1	4	1.3235	3.6281	0.492912
1	4	1.7532	3.474	0.918687
1	4	1.3536	3.1685	0.903563
1	4	1.2029	3.5527	0.491168
1	4	1.1394	3.4823	0.53614
1	5	1.3606	5.3647	0.512873
1	5	1.3165	5.7405	0.805303
1	5	0.052	5.4033	1.030221
1	5	0.0544	5.5417	1.08977
1	5	0.9331	5.0427	0.079366
1	5	1.8162	5.1927	0.838639
1	5	1.5718	5.8523	1.026338
1	5	0.2539	5.1315	0.7576
1	5	0.6814	5.2719	0.41885

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

1	5	0.4991	5.7129	0.871279
2	1	2.1362	0.311	0.702333
2	1	2.2969	0.7714	0.37471
2	1	2.6973	1.2902	0.755277
2	1	2.1304	1.6749	0.687382
2	1	2.4571	0.755	0.518619
2	1	2.3452	0.7592	0.420889
2	1	2.4014	1.6049	0.725966
2	1	2.8522	0.9872	0.852296
2	1	2.4029	0.1069	0.979773
2	1	2.6817	1.0066	0.681732
2	2	2.0699	1.8853	0.134321
2	2	2.3615	1.7936	0.416273
2	2	2.897	2.7207	1.15066
2	2	2.249	2.5232	0.57943
2	2	2.3476	1.6005	0.529553
2	2	2.3984	1.0581	1.022692
2	2	2.6424	2.039	0.643583
2	2	2.0769	2.6178	0.622568
2	2	2.4103	1.4297	0.702558
2	2	2.6047	1.314	0.914471
2	3	2.1524	1.1858	1.82059
2	3	2.8534	2.7563	0.887514
2	3	2.4811	1.7652	1.325213
2	3	2.3007	1.5782	1.45325
2	3	2.8360	1.0586	2.113748

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

2	3	2.1144	2.8591	0.181494
2	3	2.2387	1.7215	1.300592
2	3	2.4922	1.1069	1.956039
2	3	2.7734	2.3874	0.986624
2	3	2.0719	1.0099	1.991398
2	4	2.7345	3.0973	1.163769
2	4	2.6708	3.2543	1.003016
2	4	2.1393	3.8408	0.21154
2	4	2.4526	3.0496	1.052667
2	4	2.0182	3.1692	0.830999
2	4	2.3681	3.8558	0.395337
2	4	2.8697	3.8455	0.883317
2	4	2.7471	3.8315	0.765866
2	4	2.0151	3.5098	0.490433
2	4	2.177	3.8617	0.224624
2	5	2.5485	4.271	0.912301
2	5	2.1332	4.1313	0.878853
2	5	2.6899	4.8079	0.716146
2	5	2.546	4.0747	1.074382
2	5	2.2252	4.4589	0.586092
2	5	2.0009	4.5155	0.484501
2	5	2.144	4.5914	0.433232
2	5	2.0601	4.8708	0.142494
2	5	2.0305	4.7798	0.222302
2	5	2.346	4.0527	1.00851
3	1	3.2467	1.7965	0.83383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

3	1	3.1499	1.6889	0.70502
3	1	3.2579	1.3279	0.41717
3	1	3.0389	1.4529	0.454568
3	1	3.4754	1.6250	0.785258
3	1	3.6169	1.3688	0.718734
3	1	3.5478	1.7282	0.911241
3	1	3.2513	1.876	0.911333
3	1	3.3646	1.4675	0.592865
3	1	3.2301	1.1634	0.282215
3	2	3.7644	2.4619	0.893118
3	2	3.4135	2.6843	0.79953
3	2	3.7378	2.7793	1.073153
3	2	3.3251	2.4507	0.555716
3	2	3.8694	2.4755	0.990937
3	2	3.5846	2.4099	0.713985
3	2	3.3759	2.7505	0.839375
3	2	3.2359	2.857	0.888874
3	2	3.5209	2.2711	0.587224
3	2	3.2011	2.5466	0.58242
3	3	3.1733	3.5104	0.539019
3	3	3.3512	3.5685	0.668232
3	3	3.2399	3.3504	0.424655
3	3	3.1657	2.4489	0.575472
3	3	3.8157	3.3103	0.872727
3	3	3.1746	3.6854	0.707289
3	3	3.3307	3.0257	0.331697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

3	3	3.8198	3.5002	0.96035
3	3	3.5025	3.0106	0.502612
3	3	3.7882	2.0276	1.251727
3	4	3.5468	4.6792	0.871953
3	4	3.8318	4.3021	0.884961
3	4	3.6856	4.8042	1.05678
3	4	3.6862	4.5642	0.888365
3	4	3.0958	4.0429	0.104967
3	4	3.3005	3.1021	0.94685
3	4	3.8454	3.0959	1.237779
3	4	3.0236	3.2092	0.791152
3	4	3.6971	3.5486	0.830488
3	4	3.6893	4.3137	0.757326
3	5	3.4806	5.8038	0.936521
3	5	3.1301	4.8418	0.204825
3	5	3.0710	5.1089	0.130001
3	5	3.6088	5.3357	0.695221
3	5	3.2316	4.5770	0.482253
3	5	3.8745	5.1762	0.892074
3	5	3.2747	5.2901	0.399522
3	5	3.1226	5.5522	0.565646
3	5	3.3684	5.4003	0.544021
3	5	3.749	4.4435	0.933109
4	1	4.35	1.5469	0.649307
4	1	4.5232	1.5322	0.746308
4	1	4.14	1.763	0.775738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

4	1	4.162	1.3322	0.369596
4	1	4.6724	1.0702	0.676055
4	1	4.3555	1.7706	0.848649
4	1	4.646	1.515	0.82616
4	1	4.6355	1.7688	0.997454
4	1	4.3223	1.2910	0.434233
4	1	4.5551	1.1943	0.588123
4	2	4.7955	2.1988	0.819964
4	2	4.5715	2.2535	0.6252
4	2	4.3482	2.5677	0.665978
4	2	4.3636	2.1351	0.387888
4	2	4.5529	2.5591	0.786315
4	2	4.3475	2.2260	0.414527
4	2	4.0846	2.7923	0.796804
4	2	4.8542	2.1083	0.861038
4	2	4.7641	2.4332	0.878357
4	2	4.8393	2.3013	0.891743
4	3	4.8285	3.6348	1.043735
4	3	4.3142	3.6192	0.694356
4	3	4.0163	3.2224	0.222997
4	3	4.8096	3.7845	1.127339
4	3	4.7285	3.0411	0.729658
4	3	4.8034	3.5853	0.993996
4	3	4.5745	3.7874	0.974705
4	3	4.2085	3.5192	0.559501
4	3	4.4253	3.4376	0.610224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

4	3	4.7771	3.5869	0.973825
4	4	4.6331	4.7424	0.975691
4	4	4.2719	3.6280	0.460775
4	4	4.5566	3.4639	0.772792
4	4	4.0477	4.1582	0.165235
4	4	4.8985	3.2001	1.202972
4	4	4.5428	3.7697	0.589635
4	4	4.8938	3.6668	0.953887
4	4	4.7845	3.0371	1.242021
4	4	4.1236	3.4946	0.520294
4	4	4.3544	3.8259	0.394855
4	5	4.2286	4.3196	0.717776
4	5	4.1698	5.6142	0.637239
4	5	4.3892	5.5536	0.67672
4	5	4.0881	5.1260	0.153745
4	5	4.7849	5.5816	0.976896
4	5	4.2772	4.8219	0.329484
4	5	4.3197	5.7708	0.83447
4	5	4.3559	5.0714	0.362991
4	5	4.7322	5.3023	0.79215
4	5	4.8586	4.1243	1.226395
5	1	5.2334	1.1651	0.285891
5	1	5.5405	1.3054	0.620814
5	1	5.848	1.3204	0.90651
5	1	5.5789	1.7552	0.951553
5	1	5.1496	1.1990	0.24896

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

5	1	4.4177	1.2058	0.617598
5	1	5.4787	1.3889	0.616763
5	1	5.4001	1.3728	0.546864
5	1	5.6719	1.3967	0.78027
5	1	4.0501	1.1115	0.956422
5	2	4.9711	2.5994	0.600096
5	2	5.4424	2.3666	0.574555
5	2	4.98	2.8245	0.824743
5	2	5.1114	2.3320	0.350191
5	2	4.9672	2.4467	0.447903
5	2	4.274	2.3563	0.808719
5	2	4.4621	2.5720	0.785188
5	2	4.0873	2.4597	1.021932
5	2	4.1766	2.6587	1.054454
5	2	4.1935	2.6323	1.024815
5	3	4.0389	3.4684	1.069164
5	3	5.5213	2.8470	0.543289
5	3	5.7125	2.8466	0.728826
5	3	4.3748	2.0124	1.168858
5	3	4.2212	2.8546	0.792257
5	3	5.1831	2.2561	0.766102
5	3	5.5944	3.4926	0.771988
5	3	4.321	3.3613	0.769142
5	3	5.3119	2.9285	0.31999
5	3	4.1289	3.2594	0.908902
5	4	4.2868	3.7307	0.762349

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.0 เมตร(ต่อ)

5	4	4.4613	3.3929	0.811645
5	4	4.3295	3.2584	0.99977
5	4	5.8199	3.0969	1.219765
5	4	4.7993	3.5304	0.51069
5	4	4.7621	3.2666	0.77102
5	4	5.1742	3.3261	0.696051
5	4	5.0109	3.6856	0.314589
5	4	4.1284	3.7464	0.907744
5	4	4.58	3.1301	0.965984
5	5	5.2452	5.6473	0.692185
5	5	5.7988	4.1606	1.158738
5	5	5.8939	4.9504	0.895275
5	5	5.3246	4.5026	0.593946
5	5	5.1903	4.3111	0.714701
5	5	5.0241	5.1698	0.171502
5	5	5.6735	5.8474	1.082446
5	5	5.3714	5.8107	0.891724
Average				0.735600758

ก.3 การทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร

การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ระดับความสูง 1.5 เมตร โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ให้คงที่ จำนวน 3 ตัว ผลการทดลองที่ระดับความสูง 1.5 เมตร โดยวัดจุดละ 10 ค่า แสดงดังตารางที่ ก.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร

พิกัดจริง		พิกัดที่ได้จากการประมาณ		ความคาดเคลื่อน
x	x	$\hat{x}$	$\hat{y}$	(เมตร)
1	1	1.0698	1.4827	0.487721
1	1	1.1386	0.5872	0.435447
1	1	1.7781	0.3496	1.01413
1	1	1.7088	1.2653	0.756823
1	1	1.5208	1.0517	0.52336
1	1	1.1239	1.4372	0.454417
1	1	1.0509	0.6366	0.366947
1	1	1.457	0.711	0.540712
1	1	1.3957	0.0116	1.064666
1	1	1.0751	1.7326	0.736439
1	2	1.8075	1.3885	1.012911
1	2	1.0211	1.0454	0.954833
1	2	1.5922	1.7497	0.642924
1	2	1.7043	1.7692	0.741153
1	2	1.3843	1.6295	0.533813
1	2	1.5376	1.8916	0.54842
1	2	1.5185	1.1336	1.009699
1	2	1.5542	1.1520	1.013036
1	2	1.8695	1.8394	0.884207
1	2	1.6667	1.4869	0.841285
1	3	2.1141	2.652	1.16719
1	3	2.1359	2.8496	1.145814
1	3	1.9781	2.1124	1.3208
1	3	1.8436	2.2763	1.111487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

1	3	1.5951	2.0536	1.117952
1	3	1.7318	2.4366	0.923553
1	3	2.0117	2.552	1.106454
1	3	1.6445	2.2913	0.957933
1	3	1.0373	2.7965	0.20689
1	3	2.2282	2.7215	1.25938
1	4	1.9399	3.1266	1.283059
1	4	2.1659	3.4885	1.273167
1	4	0.9288	3.1123	0.890551
1	4	0.9529	3.1596	0.841719
1	4	1.6084	3.8638	0.623459
1	4	1.5667	3.2243	0.960656
1	4	1.4448	3.8936	0.457349
1	4	1.6024	3.8814	0.613964
1	4	1.7602	3.1536	1.137672
1	4	2.4708	3.8901	1.4749
1	5	1.4512	4.3236	0.81308
1	5	1.2396	5.5564	0.605796
1	5	1.3527	4.9876	0.352918
1	5	1.7991	5.2788	0.846339
1	5	1.5768	4.8737	0.590466
1	5	1.4077	5.8585	0.95039
1	5	1.534	5.0572	0.537055
1	5	1.1594	5.2174	0.269576
1	5	1.177	4.2773	0.744059
1	5	1.5681	5.1998	0.602211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

2	1	2.6093	0.0332	1.142781
2	1	2.0085	1.6615	0.661555
2	1	2.3527	0.1603	0.910765
2	1	2.8571	0.2115	1.164626
2	1	2.7429	0.3966	0.957075
2	1	2.4603	1.3334	0.568359
2	1	2.1253	0.6555	0.366579
2	1	2.6897	0.1836	1.068735
2	1	2.1205	0.7745	0.255677
2	1	2.1541	1.3287	0.36303
2	2	2.1077	1.4411	0.569182
2	2	2.4756	1.2002	0.930524
2	2	2.7334	1.8874	0.741993
2	2	2.141	1.605	0.419411
2	2	2.776	1.6221	0.863125
2	2	2.5535	1.7418	0.610761
2	2	2.3932	1.1559	0.931188
2	2	2.2341	1.3015	0.736685
2	2	2.3084	1.8435	0.345836
2	2	2.7769	1.7562	0.814256
2	3	2.0045	2.8396	0.160463
2	3	2.876	2.0176	1.316239
2	3	2.0373	2.1178	0.882988
2	3	2.0137	2.5856	0.414626
2	3	2.1552	2.2656	0.75062
2	3	2.2535	2.8765	0.281983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

2	3	2.4	2.4331	0.693812
2	3	2.5615	2.6661	0.653277
2	3	2.3851	2.8867	0.401421
2	3	2.7532	2.3638	0.985931
2	4	2.8789	4.1585	0.893078
2	4	2.2519	4.1751	0.306779
2	4	2.7871	4.04	0.788116
2	4	2.4517	4.2029	0.495178
2	4	2.0938	4.66	0.666632
2	4	2.4709	4.2369	0.527132
2	4	2.7389	4.4722	0.876896
2	4	2.8854	3.1622	1.218951
2	4	2.1348	3.0983	0.91172
2	4	2.2673	3.9129	0.281133
2	5	2.0279	4.6275	0.373543
2	5	2.0823	4.1588	0.845216
2	5	2.8391	4.8146	0.859338
2	5	2.2353	4.737	0.352895
2	5	2.559	4.6811	0.643567
2	5	2.2326	4.8064	0.302628
2	5	2.7228	4.2476	1.043334
2	5	2.4593	4.2026	0.920219
2	5	2.2476	4.7669	0.340061
2	5	2.8457	4.1459	1.201955
3	1	3.6334	1.0861	0.639225
3	1	3.6629	1.4016	0.775061

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

3	1	3.2766	1.2684	0.385417
3	1	3.5368	1.6861	0.871141
3	1	3.666	1.6752	0.948394
3	1	3.2636	1.0344	0.265835
3	1	3.2948	1.5767	0.64768
3	1	3.4668	1.8968	1.011016
3	1	3.2822	1.2046	0.348566
3	1	3.5881	1.4351	0.731556
3	2	3.1596	1.081	0.932756
3	2	3.217	1.4314	0.608601
3	2	3.6899	1.8342	0.709543
3	2	3.0691	2.2679	0.276668
3	2	3.2279	1.0738	0.953826
3	2	3.5196	2.1791	0.549601
3	2	3.3324	2.6979	0.773016
3	2	3.5327	1.5073	0.725619
3	2	3.8481	2.1837	0.867767
3	2	3.2406	1.6041	0.463277
3	3	3.8894	2.1138	1.255541
3	3	3.3184	3.194	0.372847
3	3	3.2357	3.7499	0.786069
3	3	3.7107	2.1681	1.094144
3	3	3.6624	3.8647	1.089257
3	3	3.4999	3.3966	0.638116
3	3	3.2872	2.9519	0.2912
3	3	3.2256	3.3845	0.445798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

3	3	3.1482	3.2573	0.296928
3	3	3.664	2.7582	0.706656
3	4	3.8721	4.7922	1.178193
3	4	3.1232	4.5327	0.546761
3	4	3.799	3.151	1.165848
3	4	3.7549	3.2884	1.037424
3	4	3.2878	3.4507	0.620128
3	4	3.5114	3.057	1.072744
3	4	3.3016	3.6292	0.47797
3	4	3.0472	4.4696	0.471966
3	4	3.5547	4.8242	0.993478
3	4	3.6464	3.9886	0.646501
3	5	3.6138	4.7244	0.672834
3	5	3.7383	4.5714	0.853689
3	5	3.1460	4.7482	0.291066
3	5	3.057	4.5208	0.482578
3	5	3.1182	4.4206	0.591334
3	5	3.2841	4.5749	0.511295
3	5	3.5691	4.8304	0.593834
3	5	3.4181	4.3772	0.750125
3	5	3.8521	4.8914	0.858993
3	5	3.3136	4.5812	0.5232
4	1	4.6192	1.5375	0.819948
4	1	4.2252	1.8259	0.856052
4	1	4.4194	1.5535	0.694448
4	1	4.5337	1.5266	0.749762

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

4	1	4.2842	1.5651	0.632541
4	1	4.2137	1.6308	0.666015
4	1	4.8168	1.0436	0.817963
4	1	4.3999	1.6429	0.757126
4	1	4.106	1.7603	0.767654
4	1	4.7135	1.2878	0.769358
4	2	4.1152	2.1631	0.199681
4	2	4.8484	2.6968	1.097867
4	2	4.7046	2.4167	0.818596
4	2	4.5240	2.6711	0.851441
4	2	4.6026	2.4021	0.724439
4	2	4.1703	2.8118	0.829471
4	2	4.0733	2.8745	0.877567
4	2	4.8302	2.3417	0.89777
4	2	4.5901	2.0769	0.59509
4	2	4.3347	2.0540	0.339028
4	3	4.5186	2.1021	1.036904
4	3	4.205	3.7117	0.740636
4	3	4.344	3.1634	0.380835
4	3	4.4761	2.5658	0.644361
4	3	4.1772	3.8120	0.83111
4	3	4.7493	2.4228	0.945838
4	3	4.171	2.3644	0.658201
4	3	4.4356	2.3373	0.793044
4	3	4.5318	3.8998	1.045204
4	3	4.544	2.4952	0.742131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

4	4	4.6008	4.0243	0.601291
4	4	4.5261	4.0395	0.527581
4	4	4.5622	4.3598	0.667477
4	4	4.4942	4.4975	0.701242
4	4	4.3022	4.5056	0.58903
4	4	4.0356	4.8314	0.832162
4	4	4.4999	4.2646	0.565609
4	4	4.6841	4.2740	0.736932
4	4	4.26	4.1615	0.306076
4	4	4.0240	4.4986	0.499177
4	5	4.8527	5.2621	0.892073
4	5	4.4596	5.5506	0.717212
4	5	4.7658	5.0639	0.768461
4	5	4.5677	5.4749	0.740144
4	5	4.3204	5.7921	0.854446
4	5	4.1701	5.7143	0.734274
4	5	4.2077	5.7764	0.803702
4	5	4.7858	5.3753	0.870822
4	5	4.5904	5.8510	1.035748
4	5	4.7375	5.1190	0.747039
5	1	4.3207	1.8544	1.091535
5	1	5.1685	1.0881	0.190142
5	1	5.3244	1.1323	0.350341
5	1	5.797	1.8491	1.164551
5	1	5.365	1.1140	0.382389
5	1	5.8853	1.6368	1.090537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

5	1	5.1508	1.3733	0.402608
5	1	5.1024	1.6838	0.691425
5	1	4.9489	1.8839	0.885376
5	1	4.0456	1.1770	0.970674
5	2	4.4223	1.3419	0.87569
5	2	5.0362	1.2127	0.788132
5	2	4.2017	2.0095	0.798357
5	2	5.1261	1.9012	0.160196
5	2	4.3329	2.2249	0.70399
5	2	4.9515	1.9319	0.083605
5	2	5.8909	1.0580	1.29656
5	2	5.6581	1.6330	0.753515
5	2	4.6978	1.0220	1.023625
5	2	4.6412	2.0072	0.358872
5	3	5.1015	3.2051	0.228841
5	3	5.2635	3.5995	0.654853
5	3	5.4673	3.0585	0.470947
5	3	5.2603	3.2126	0.336088
5	3	5.3065	3.7131	0.776179
5	3	5.3985	3.4125	0.573549
5	3	5.5628	3.4212	0.70296
5	3	5.6841	3.4756	0.83318
5	3	5.2163	3.4690	0.516475
5	3	5.3207	3.0573	0.325779
5	4	5.5365	4.3444	0.637529
5	4	5.3087	4.1433	0.340339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองวัดความสูงที่ระดับ 1.5 เมตร(ต่อ)

5	4	5.0228	3.6933	0.307546
5	4	5.1206	4.4865	0.501225
5	4	5.5937	4.0498	0.595785
5	4	5.5193	3.2550	0.908129
5	4	5.288	4.0506	0.292411
5	4	5.8577	3.5852	0.952737
5	4	5.3851	4.7295	0.824907
5	4	5.512	3.3162	0.85424
5	5	4.0031	5.4176	1.080833
5	5	4.7454	4.3141	0.731628
5	5	4.6597	4.9854	0.340613
5	5	5.714	5.2258	0.748854
5	5	5.0499	5.2565	0.261309
5	5	4.7648	4.3720	0.670599
5	5	4.7895	5.7855	0.813216
5	5	4.8033	5.3846	0.431982
Average				0.717122992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้