

การออปติไมซ์พารามิเตอร์อัลกอริทึมแบบเซนทรอยด์
สำหรับการหาคำแหน่งภายในอาคาร

CENTROID ALGORITHMS PARAMETER OPTIMIZATION
FOR INDOOR LOCALIZATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-010-029

การออกแบบอัลกอริทึมพารามิเตอร์อัลกอริทึมแบบเซนทรอยด์
สำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร

CENTROID ALGORITHMS PARAMETER OPTIMIZATION
FOR INDOOR LOCALIZATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-010-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CENTROID ALGORITHMS PARAMETER OPTIMIZATION
FOR INDOOR LOCALIZATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-010-029

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบซีพารามิเตอร์อัลกอริทึมแบบเซนทรอยด์สำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร
นักศึกษา	นายกันตภณ ไตรรัตน์
รหัสนักศึกษา	57601135
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาและประเมินผลเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง โดยนำเสนอวิธีการลดความผิดพลาดของระยะทางให้น้อยที่สุด ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้งานจริง สำหรับการทดลองวิจัยได้ทำการประเมินผลการหาตำแหน่งของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยได้พิจารณาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการสูญเสียเชิงวิถีและพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบซีพารามิเตอร์การหาตำแหน่งโดยใช้พื้นฐานอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ จากผลการวิจัยพบว่าหลังจากการนำเสนอการออกแบบซีพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ มีค่าที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น สามารถลดค่าความผิดพลาดของระยะทางได้ดีที่สุดและให้ความถูกต้องมากกว่าอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนการพัฒนาปรับปรุง เพราะฉะนั้นวิธีการนี้จะช่วยเพิ่มความแม่นยำของการหาตำแหน่งและลดปัญหาการผิดพลาดของระยะทางที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเวลาในสถานะแวดล้อมภายในอาคารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Centroid Algorithms Parameter Optimization for Indoor Localization
Student	Mr. Kantaphon Torat
Student ID.	57601135
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

The thesis studies an evaluation of the wireless sensor network (WSN) technology for the indoor localization. The proposed methods are significant to reduce the error of distance and easy to analyze in an implementation. For an experiment, the evaluated of wireless sensor network in an indoor localization has been verified under theoretical and analytical of a path loss. This Thesis proposes optimization of localization base on the weighted centroid localization algorithm. After, the contributions found that the proposed optimization of localization algorithm can be reduced the error of distance as the best, and given more accuracy than weighted centroid localization algorithm. Therefore, this method can help to increase the precision of localization and reduce the problem of the error of distance as to be caused by the time-varying within indoor environment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.-
สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน
ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนความห่วงใยที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ผู้เขียนมี
ความซาบซึ้งใจต่ออาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยมี 1. รศ.ดร. จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชัยธรรม
2. ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล 3. ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย 4. ผศ.ดร. สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ ที่ทำให้การสอบ
วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบทุกท่านในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband Radio
System Laboratory : UWBR) ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็น
กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง
ด้วยดี

คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของ
บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้สนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณ
ความดีเหล่านั้นขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กันตภณ ไตรรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.6 แบบแผนของการศึกษาวิจัย	3
บทที่ 2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและเทคนิคการหาตำแหน่ง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	5
2.2.1 ระดับชั้น (Layers) ของสถาปัตยกรรมรูปแบบ ISO	5
2.2.2 การเชื่อมต่อเครือข่าย (Topologies) ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	6
2.3 คุณสมบัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	8
2.4 ข้อดีของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	9
2.5 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	9
2.6 อุปกรณ์เซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	10
2.6.1 หลักการทำงานและสถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ซิกบี	10
2.6.2 โครงสร้างของอุปกรณ์ซิกบี	11
2.6.3 มาตรฐานอุปกรณ์ซิกบี	12
2.6.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์ซิกบี (ZigBee) ที่เลือกใช้	14
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง	14
2.7.1 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง	15
2.7.2 ประเภทของระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีอัลกอริทึมการหาตำแหน่งและเทคนิคการพัฒนา	19
3.1 บทนำ	19
3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	19
3.3 หลักการวิเคราะห์การหาตำแหน่ง	21
3.4 การปรับปรุงการหาตำแหน่งด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง	24
3.5 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF)	25
บทที่ 4 การทดลองวิจัย	26
4.1 บทนำ	26
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	27
4.3 การตั้งค่าอุปกรณ์	28
4.4 แบบจำลองการวัดสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร	29
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัย	31
5.1 บทนำ	31
5.2 ผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการทดลองวัด	31
5.3 ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชัน การแจกแจงสะสม	33
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
6.1 สรุปผลการวิจัย	45
6.2 ข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	49
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	50
ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลของหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี	51
ประวัติผู้เขียน	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีแบบไร้สายชนิดต่างๆ	13
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด	28
6.1 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนและหลัง การปรับปรุงอัลกอริทึม	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การประยุกต์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการหาตำแหน่งสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	3
2.1 สถาปัตยกรรมรูปแบบ ISO ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	5
2.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาว (Star Topologies)	7
2.3 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topologies)	7
2.4 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบตาข่าย (Mesh Topologies)	8
2.5 Wireless Sensor Network of Application	9
2.6 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยซิกบี	10
2.7 รูปแบบโครงสร้างของซิกบี	11
2.8 ปริมาณการใช้ Throughput ของมาตรฐานการสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ	12
2.9 ความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี	13
2.10 อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีที่เลือกใช้	14
2.11 เทคนิคการระบุตำแหน่ง	15
2.12 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ	16
2.13 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดทิศทางเวลาในการมาถึงของสัญญาณ	16
2.14 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดทิศทางการมาถึงของสัญญาณ	17
2.15 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ	17
3.1 การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์	23
3.2 กระบวนการหาตำแหน่งก่อนและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม	24
3.3 กราฟฟังก์ชันแจกแจงสะสม	25
4.1 ขั้นตอนการทดลองวิจัย	27
4.2 อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีและแหล่งจ่ายไฟ	27
4.3 การสร้างโครงข่ายแบบดาวในการระบุตำแหน่ง	28
4.4 สถานะแวดล้อมของการระบุตำแหน่งในการวัดจริง	29
4.5 การเตรียมการวัดและแบบจำลองการวัด	30
5.1 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากซิกบีโหนดอ้างอิงที่ 1 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0)–(5,5)	32
5.2 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากซิกบีโหนดอ้างอิงที่ 2 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0)–(5,5)	32
5.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากซิกบีโหนดอ้างอิงที่ 3 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0)–(5,5)	33
5.4 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากซิกบีโหนดอ้างอิงที่ 4 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0)–(5,5)	33

5.5 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=0.5$	34
5.6 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=0.5$	35
5.7 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=1$	35
5.8 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=1$	36
5.9 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=1.5$	36
5.10 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=1.5$	37
5.11 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=2$	37
5.12 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=2$	38
5.13 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=2.5$	38
5.14 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=2.5$	39
5.15 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=3$	39
5.16 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=3$	40
5.17 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=3.5$	40
5.18 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=3.5$	41
5.19 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=4$	41
5.20 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=4$	42
5.21 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=4.5$	42
5.22 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=4.5$	43
5.23 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=5$	43
5.24 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\varrho=5$	44



บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) มีความก้าวหน้าในด้านเทคโนโลยีที่ประกอบไปด้วย หนึ่งเทคโนโลยีด้านเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่มีขนาดเล็กและมีความแม่นยำสูง สองหน่วยประมวลผล (Processing) ที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานที่ต่ำ และประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว สามเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สาย (Wireless) ที่ส่งข้อมูลได้ถูกต้องและใช้พลังงานต่ำ รวมไปถึงขนาดของเสาอากาศและอุปกรณ์ต่อเชื่อมที่มีขนาดเล็ก เมื่อรวมเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทั้งสามด้านทำให้เกิดเป็นหน่วยรวมเซ็นเซอร์ ที่มีราคาถูก ขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ วัตต์และเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเอง

เทคโนโลยีโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน อย่างเช่น ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การตรวจจับการรั่วซึมของสารเคมี การตรวจจับการสั่นไหวของอุปกรณ์ การตรวจจับการบุกรุกพื้นที่หวงห้าม ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ ในการนำไปประยุกต์ต่างๆที่กล่าวมานี้ สิ่งสำคัญคือ ประสิทธิภาพ ความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่จะได้รับจากระบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายนั้น นอกเหนือความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทั้งสามด้านที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ระบบขั้นตอนการจัดการข้อมูลที่เราเรียกว่า อัลกอริทึม (Algorithm)

ในการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหนึ่งที่ต้องการประสิทธิภาพ ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล คือการนำไปค้นหาตำแหน่งวัตถุ ในระบบการหาตำแหน่งที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นได้ใช้เทคนิคต่างๆโดยแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้แก่ การค้นหาตำแหน่งวัตถุโดยใช้ความแตกต่างของสัญญาณที่ส่งมาถึงจุดรับตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป (Time Difference of Arrival: TODA), การวัดค่าเวลาที่เดินทางจากวัตถุถึงจุดรับสัญญาณตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป (Time Of Arrival: TOA), การค้นหาตำแหน่งของวัตถุโดยการตรวจวัดความเข้มข้นของสัญญาณที่วัดได้ (Received Signal Strength Indicator: RSSI), การค้นหาตำแหน่งของจากทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกมาจากวัตถุถึงจุดรับสัญญาณจำนวนตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป (Angle Of Arrival: AOA), การนำค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้มาทำการหาตำแหน่งวัตถุจากฐานข้อมูลที่ได้เก็บไว้ก่อนหน้า (Finger Print) ซึ่งวิธีที่กล่าวมานี้มีข้อดีและข้อเสียอีกทั้งความแม่นยำที่ต่างกันออกไป

หนึ่งในเทคนิคที่เป็นที่นิยมที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุคือ การอาศัยการวัดค่าความแรงของสัญญาณ (Receive signal strength: RSS) [2] ซึ่งค่า RSS ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุในหลายๆอัลกอริทึม ระบบการหาตำแหน่งวัตถุอัลกอริทึมหนึ่งที่ได้นำเอาค่า RSS มาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุคือ อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซ็นทรอยด์ (Weighted Centroid Localization Algorithm) [24]

อย่างไรก็ตามในการหาตำแหน่งโดยใช้ อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซ็นทรอยด์ก็ยังต้องการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความถูกต้องและแม่นยำ เนื่องด้วยค่า RSS เป็นค่าที่ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน จึงส่งผลต่อความถูกต้องและแม่นยำของการค้นหาตำแหน่ง ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้พิจารณาค้นหาเทคนิคเข้ามาช่วยในการปรับปรุงอัลกอริทึมถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซ็นทรอยด์ โดยการนำเอาวิธีการวัดค่าทางสถิติของ

ปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทางคณิตศาสตร์พื้นฐานที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square หรืออีกชื่อหนึ่งว่า quadratic mean) เข้ามาใช้ในการคำนวณให้ได้ค่าตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีบนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร
2. เพื่อศึกษาวิธีการหาตำแหน่งภายใต้เงื่อนไขการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Weighted Centroid Localization Algorithm) และออปติไมซ์อัลกอริทึมในการลดทอนความผิดพลาดการหาตำแหน่งภายในอาคารที่ปราศจากสิ่งกีดขวางให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น
3. เพื่อประเมินผลและวิเคราะห์การหาตำแหน่งภายในอาคารจากผลการวัดจริง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาเทคนิคการหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเซนทรอยด์ ที่พบว่ายังมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอยู่ เนื่องด้วยหลายๆ ปัจจัย เช่น ความไม่คงที่ของข้อมูลที่ได้รับมา หรือข้อจำกัดทางสภาพแวดล้อม ที่ส่งผลต่อความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่ง จากการที่ได้มองเห็นคุณสมบัติของค่า RSS ที่เป็นค่าของข้อมูลหลักที่นำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของซึ่งค่า RSS เป็นค่าที่ไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงส่งผลต่อความแม่นยำของข้อมูล เป็นผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พิจารณาหาเทคนิคและวิธีการเข้ามาช่วยแก้ปัญหาความไม่คงที่ของข้อมูลที่ได้รับมา โดยการใช้สมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสอง เข้ามาช่วยเพื่อทำให้ได้ผลที่คงที่และถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

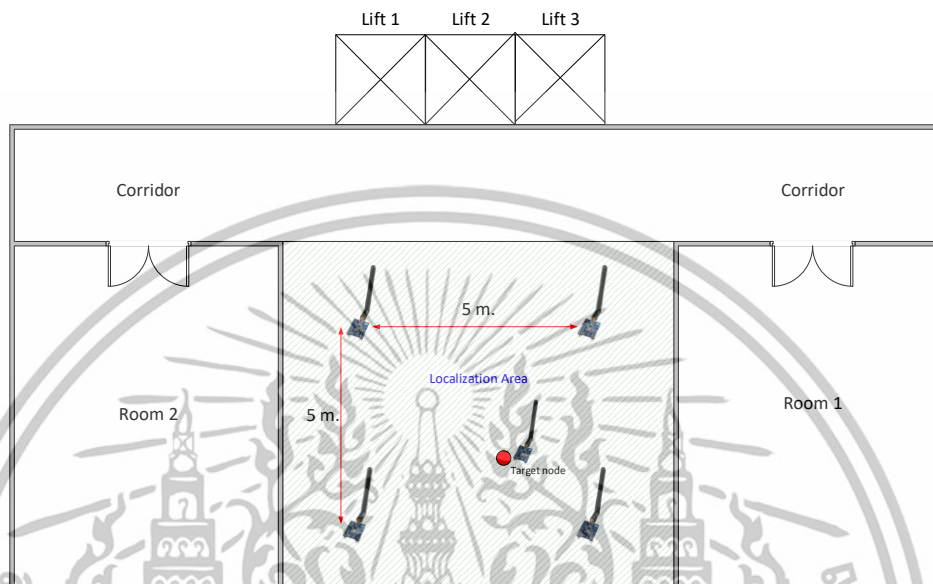
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาสำหรับการปรับปรุงความถูกต้องแม่นยำในการหาตำแหน่งสำหรับอุปกรณ์ที่นำมาใช้รับส่งข้อมูลเป็นอุปกรณ์ซิกบี (Zigbee) ที่นำมาสร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยการวัดช่องสัญญาณในย่านความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.482 GHz ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นใช้พลังงานต่ำ ค่าที่ได้จากการส่งของอุปกรณ์ซิกบีเป็นค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่เรียกว่าค่า RSS สำหรับค่า RSS นี้ถูกนำมาใช้คำนวณเพื่อค่าตำแหน่ง ด้วยการใช้เทคนิคการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ เนื่องด้วยค่า RSS เป็นค่าที่ไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเป็นไปตามคุณสมบัติของสัญญาณวิทยุ จึงส่งผลให้ตำแหน่งที่ได้มีความคลาดเคลื่อน จึงได้ใช้คุณสมบัติของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยกำลังสอง มาใช้ในการวัดสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาการคำนวณนั้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและนำเอาเทคนิคการหาตำแหน่ง โดยใช้อัลกอริทึมถ่วงน้ำหนักการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ สำหรับโมเดลแบบจำลองการวัดได้ใช้อุปกรณ์ซิกบีสร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร แบ่งเป็น 36 ตัว สำหรับส่งข้อมูลแต่ละ

ตำแหน่ง และ 1 ตัวสำหรับรับค่าตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งติดตั้งซิกปีห่างกัน 1 เมตร ตามแนวแกน x และ y และอีก 1 ตัว สำหรับใช้เป็นตำแหน่งเป้าหมายใช้รับข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ มาวิเคราะห์ โดยใช้คอมพิวเตอร์โดยใช้อัลกอริทึมถ่วงน้ำหนักการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับปรุงด้วยการใช้สมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งรูปแบบการวัดดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การประยุกต์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

1.6 แบบแผนของการวิจัย

- วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาการศึกษาอยู่ทั้งหมด 6 บท ซึ่งรายละเอียดแต่ละบทมีดังนี้
- บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย
- บทที่ 2 กล่าวถึงอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกปี สถาปัตยกรรมของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง
- บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง หลักการวิเคราะห์อัลกอริทึมการหาตำแหน่ง และเทคนิคที่ใช้ในการ ปรับปรุงอัลกอริทึม
- บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด การตั้งค่าอุปกรณ์ และวิธีการคำนวณ
- บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการทดลองวัด ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ประกอบไปด้วยผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนปรับปรุง และผลการทดลองหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม
- บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและเทคนิคการหาตำแหน่ง

2.1 บทนำ

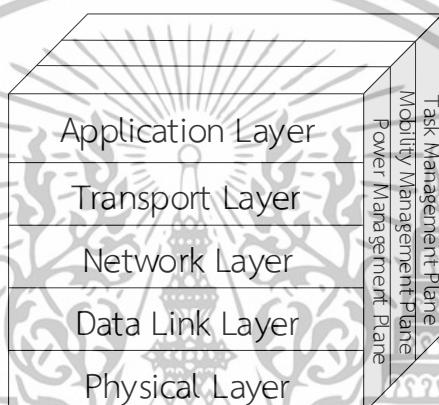
เมื่อกล่าวถึงเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นที่ทราบกันดีว่าเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน เช่น ด้านสุขภาพ, ด้านการทหาร, ด้านการเกษตรกรรม เป็นต้น เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายคือ การใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์เล็กๆ จำนวนมากเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้น ซึ่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโหนดเซ็นเซอร์ (Sensor node) และโหนดสถานีฐาน (Base station node) โหนดเซ็นเซอร์ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลที่วัดจากเซ็นเซอร์ ไปยังโหนดสถานีฐานผ่านทางคลื่นวิทยุ ส่วนโหนดสถานีฐานจะทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial protocol) โดยการติดต่อสื่อสารในเครือข่ายไร้สาย สามารถติดต่อกันได้ทั้งรูปแบบ single-hop และรูปแบบ multi-hop สำหรับโหนดเซ็นเซอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้จะมีพื้นฐานโครงสร้างฮาร์ดแวร์ [7]

ฮาร์ดแวร์ที่นำมาเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ตามคุณสมบัติที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องเก็บรวบรวมมาสร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อที่ใช้ในการตรวจจับความแรงของสัญญาณที่รับได้ (RSS) นั่นคือ อุปกรณ์ซิกบี (ZigBee) [10] ด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์ซิกบีที่เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กมาก จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ขึ้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในสภาพแวดล้อมตามที่ต้องการ เช่น ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานของซิกบีจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านซิกบีเล็กๆ นี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และคุณสมบัติของซิกบีในระบบการสื่อสารไร้สาย ได้กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ การสื่อสารใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz แบ่งออกเป็น 16 ช่องสัญญาณๆ ละ 5 MHz สำหรับความถี่ 900 MHz แบ่งออกเป็น 10 ช่องสัญญาณๆ ละ 2 MHz และความถี่ 868 MHz มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 kbps ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้ โดยเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่น คือ มีราคาที่ถูก ใช้พลังงานน้อยทำให้สามารถติดตั้งไว้ได้นาน และสามารถสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้ มีการเชื่อมต่ออย่างซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่ การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจากพลังงานแบตเตอรี่ สามารถสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10 เมตร ถึง 100 เมตร

ด้วยคุณสมบัติของซิกบีที่กล่าวมาในย่อหน้าก่อนหน้า จึงถูกเลือกนำมาใช้เป็นเทคนิคในการศึกษาวิจัยในการหาตำแหน่งในครั้งนี้

2.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยทั่วไปส่วนมากเป็นรูปแบบมาตรฐาน The International Organization for Standardization) หรือที่เรียกย่อๆว่า ไอโซ (ISO) สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วย 5 Layers และ 3 Cross layers ส่วนมากในเครือข่ายเซ็นเซอร์เราต้องการเพียง 5 Layers คือ Application layer, Transport layer, Network layer, Data Link layer และ Physical layer รวมไปถึง 3 Layer ในระนาบตรงข้าม คือ Power management, Mobility management และ Task management ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เลเยอร์ (Layers) เหล่านี้ ถูกนำไปใช้เพื่อให้เครือข่ายเซ็นเซอร์สัมฤทธิ์ผล และทำให้เซ็นเซอร์ทำงานด้วยกัน เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ของโครงข่าย



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมรูปแบบ ISO ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [4]

2.2.1 ระดับชั้น (Layers) ของสถาปัตยกรรมรูปแบบ ISO

2.2.1.1 Application Layer

ใน Application layer จะทำหน้าที่รับผิดชอบสำหรับการจัดการทราฟฟิก (traffic) และ เสนอซอฟต์แวร์สำหรับการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย การประยุกต์ใช้งานที่จะแปลงข้อมูลในรูปแบบที่ชัดเจนเพื่อหาข้อมูลเชิงบวก เครือข่ายเซ็นเซอร์ได้กำหนดในการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายไว้ เพื่อการนำไปใช้งานในด้านที่มีความแตกต่างกัน อย่างเช่น ด้านการเกษตร ด้านการทหาร ด้าน สิ่งแวดล้อม และ ด้านการแพทย์ เป็นต้น

2.2.1.2 Transport Layer

ในฟังก์ชันของชั้น transport นี้คือการหลีกเลี่ยงความแออัดและความน่าเชื่อถือที่โปรโตคอล (Protocol) จำนวนมากได้ตั้งใจที่จะเสนอฟังก์ชันนี้ในทางปฏิบัติ ทางฝั่งอัปสตรีม (Upstream) โปรโตคอลเหล่านี้ใช้กลไกที่แตกต่างกัน สำหรับการยอมรับความสูญเสียและการกู้คืนที่เสียหาย .ในชั้น Transport เป็นที่ต้องการอย่างแท้จริง เมื่อระบบถูกออกแบบให้เชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น การเตรียมการกู้คืนความเสียหายที่น่าเชื่อถือคือการประหยัดพลังงานมากที่สุด และนั่นคือหนึ่งเหตุผลว่าทำไม Transmission Control Protocol (TCP) ถึงไม่เหมาะสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยทั่วไปแล้ว ชั้น transport สามารถที่จะถูกแยกออกจากกันภายใน Packet driven, Event

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

driven มีบางโปรโตคอลที่นิยมในชั้น transport คือ STCP (Sensor Transmission Control Protocol), PORT (Price-Oriented Reliable Transport Protocol), PSFQ (Pump Slow Fetch Quick)

2.2.1.3 Network Layer

ฟังก์ชันหลักของชั้น Network คือการกำหนดเส้นทาง มันมีแท็ซ (task) มากมายบนพื้นฐานแอปพลิเคชัน แต่ความเป็นจริง แท็ซหลัก (main task) อยู่ในการประหยัดพลังงาน, หน่ยความจำบางส่วน, บัฟเฟอร์ (buffers), และเซ็นเซอร์ไม่มี ID สากลและต้องมีการจัดการตนเอง ความคิดแบบง่าย ๆ ของโปรโตคอลการจัดเส้นทางคือการบอกร่องทางที่เชื่อถือได้, ช่องทางที่มีมากเกินไป ตามสเกล (scale) ความมั่นใจที่เรียกว่า เมตริก (metric) ซึ่งต่างจากโปรโตคอลไปโปรโตคอล และมีโปรโตคอลเดิมอยู่มากมายสำหรับชั้น network นี้ พวกมันสามารถแยกออกจากกันภายในเส้นทางแบบ แพลท (flat) และ เส้นทางแบบ ไฮเออร์แรเชล (hierarchal) หรือ ถูกแยกออกจากกันภายใน time driven, query driven, และ event driven

2.2.1.4 Data Link Layer

ชั้น data link มีหน้าที่รับผิดชอบสำหรับการตรวจจับเฟรม (frame) ข้อมูลแบบ มัลติเพล็กซ์ (multiplex), ข้อมูลแบบสตรีม (data streams), แมค (MAC) และการควบคุมความผิดพลาด (error control) รวมถึงหน้าที่ยืนยันความน่าเชื่อถือแบบ จุด ต่อ จุด (point to point) หรือ จุด ต่อ หลายๆจุด (point to multipoint)

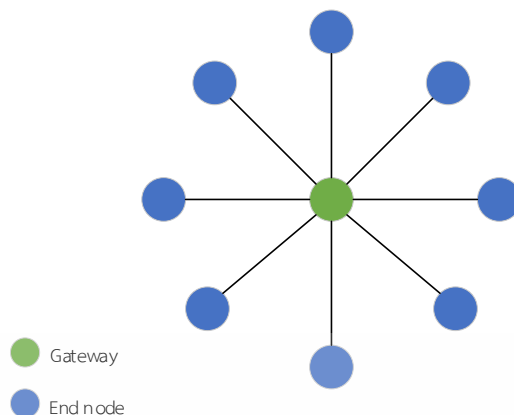
2.2.1.5 Physical Layer

สำหรับชั้น physical ได้เตรียมขอบสำหรับการถ่ายโอนการไหลของบิต (bits) เหนือระดับกลางของชั้น physical ในโปรโตคอลชั้นนี้เป็นผู้รับผิดชอบสำหรับการเลือกความถี่, การสร้าง ความถี่คลื่นพาห์ การตรวจจับสัญญาณ การมอดูเลชัน (Modulation), และการเข้ารหัสข้อมูล ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 5 ได้ถูกแนะนำเป็นแบบดั้งเดิมสำหรับพื้นที่เฉพาะและเครือข่ายเซ็นเซอร์ อัตราต่ำด้วยต้นทุนต่ำ การใช้พลังงาน, ความหนาแน่นในพิสัยของการสื่อสารเพื่อปรับปรุงอายุ แบตเตอรี่ CSMA/CA ถูกใช้เพื่อสนับสนุนโทโพโลยี (topologies) แบบดาว (star), จุดต่อจุด (peer to peer) ซึ่งมีมากมายหลายเวอร์ชันตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

2.2.2 การเชื่อมต่อเครือข่าย (Topologies) ของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.2.2.1 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาว (Star Topologies)

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาว คือการเชื่อมต่อเครือข่ายการสื่อสารที่โหนดแต่ละโหนด เชื่อมต่อโดยตรงไปที่เกตเวย์ (gateway) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เกตเวย์หนึ่งเดียวที่สามารถส่งหรือรับ ข้อความไปที่จำนวนของโหนดที่อยู่ระยะไกล ในการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาวนี้ โหนดจะไม่ยอมส่ง ข้อความไปยังโหนดอื่นๆโดยตรง สิ่งนี้ช่วยให้การติดต่อสื่อสารมีระยะเวลาที่ส่งข้อความที่ต่ำระหว่าง โหนดระยะไกลและเกตเวย์ที่เป็นสถานีฐาน (base station) เนื่องจากการพึ่งพาอาศัยโหนดเดียว เพื่อ การจัดการเครือข่ายเกตเวย์ต้องอยู่ในช่วงการส่งสัญญาณวิทยุของแต่ละโหนดทั้งหมด ความได้เปรียบ



รูปที่ 2.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาว (Star Topologies) [4]

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาวนี้สามารถควบคุมการใช้พลังงานให้น้อยที่สุดของโหนดระยะไกล และอยู่ภายใต้การควบคุมที่ง่าย ขนาดของเครือข่ายขึ้นอยู่กับจำนวนของการเชื่อมต่อขึ้นไปยังฮับ (ฮับ) โดยการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบดาวนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้ โดยข้อดีนั้น คือการติดตั้งเครือข่ายและการดูแลรักษาทำได้ง่าย, หากมีโหนดใดเกิดความเสียหายก็สามารถตรวจสอบได้ง่าย และเนื่องจากใช้อุปกรณ์ 1 ตัวต่อสายส่งข้อมูล 1 เส้น ทำให้การเสียหายของอุปกรณ์ใดในระบบไม่กระทบต่อการทำงานของจุดอื่นๆในระบบ, และง่ายในการให้บริการเพราะโทโปโลยีแบบดาวมีศูนย์กลางทำหน้าที่ควบคุม ส่วนข้อเสียของการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบนี้คือถ้าสถานีกลางเกิดเสียหายขึ้นมาจะทำให้ทั้งระบบทำงานไม่ได้ และต้องใช้สายส่งข้อมูลจำนวนมากกว่าโทโปโลยีแบบบัส และ แบบวงแหวน

2.2.2.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topologies)



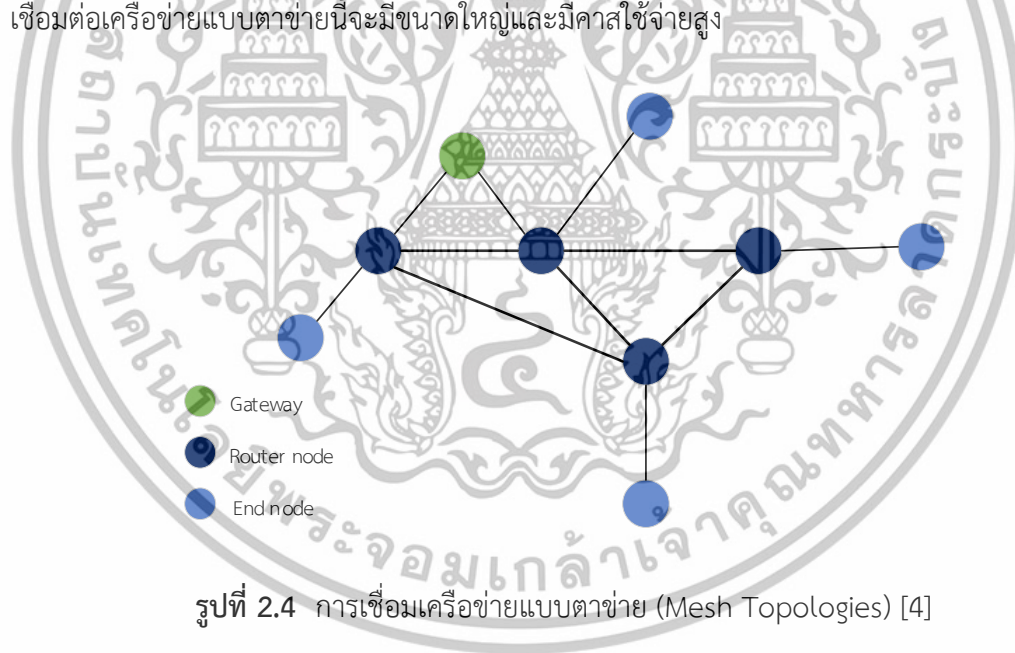
รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topologies) [4]

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบต้นไม้ มีลักษณะเชื่อมโยงคล้ายกับโครงสร้างแบบดาวแต่จะมีโครงสร้างแบบต้นไม้ โดยมีสายนำสัญญาณแยกออกไปเป็นแบบกิ่งไม่เป็นวงรอบโครงสร้างแบบนี้จะเหมาะกับการประมวลผลแบบกลุ่มจะประกอบด้วยเครื่อง คอมพิวเตอร์ระดับต่างๆกันอยู่หลายเครื่องแล้วต่อกันเป็นชั้น ๆ ดูราวกับแผนภาพองค์กร แต่ละกลุ่มจะมีโหนดแม่และโหนดลูกในกลุ่มนั้นที่มีการสัมพันธ์กัน การสื่อสารข้อมูลจะผ่านตัวกลางไปยังสถานีอื่นๆได้ทั้งหมด เพราะทุกสถานีจะอยู่บนทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อม และรับส่งข้อมูลเดียวกัน ดังนั้นในแต่ละกลุ่มจะส่งข้อมูลได้ที่ละสถานีโดยไม่ส่งพร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย โดยมีข้อดีในเรื่องการรองรับการขยายเครือข่ายในแต่ละจุดและรองรับอุปกรณ์จากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ส่วนข้อเสียนั้นคือ ความยาวของแต่ละเซ็กเมนต์ (segment) อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสายสัญญาณที่ใช้, หากสายสัญญาณแบ็กโบน (Backbone Cable) เสียหาย เครือข่ายจะไม่สามารถสื่อสารกันได้ และการติดตั้งทำได้ยากกว่าโพลีแบบอื่น

2.2.2.3 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Topologies)

ปกติใช้ในระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network) ลักษณะการสื่อสารจะมีการต่อสายหรือการเดินทางของข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์หรือโหนดไปยังโหนดอื่น ๆ ทั่วๆ ทั่ว ทำให้มีทางเดินข้อมูลหลายเส้นและปลอดภัยจากเหตุการณ์ที่จะเกิดจากการล้มเหลวของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบตาข่ายยอมให้มีการส่งผ่านของข้อมูลจากโหนดหนึ่งไปยังโหนดอื่นๆ ซึ่งแต่ละโหนดต้องอยู่ภายในช่วงของการส่งผ่านทางความถี่วิทยุของมัน ถ้าโหนดต้องการที่จะส่งข้อความไปยังโหนดอื่นๆ ซึ่งอยู่นอกช่วงการติดต่อสื่อสารทางความถี่วิทยุ มันจำเป็นต้องที่โหนดกลางจะส่งต่อข้อความไปยังโหนดที่ต้องการ ความได้เปรียบหรือข้อดีของการเชื่อมต่อแบบตาข่ายนี้คือ เป็นเครือข่ายที่แยกแยะง่าย และสามารถตรวจจับความเสียหายในเครือข่ายได้ ส่วนข้อเสียคือ การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบตาข่ายนี้จะมีขนาดใหญ่และมีค่าใช้จ่ายสูง



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อโครงข่ายแบบตาข่าย (Mesh Topologies) [4]

2.3 คุณสมบัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

คุณสมบัติของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วย

1. การใช้พลังงานที่จำกัดสำหรับโหนดด้วยแบตเตอรี่
2. ความสามารถในการจัดการกับโหนดที่ล้มเหลว
3. ความคล่องตัวของโหนดและความหลากหลายของโหนด
4. ความยืดหยุ่นต่อสเกลขนาดใหญ่ของการกระจายสัญญาณ
5. ง่ายต่อการใช้งาน
6. การออกแบบเป็นแบบข้ามชั้น (Cross-layer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

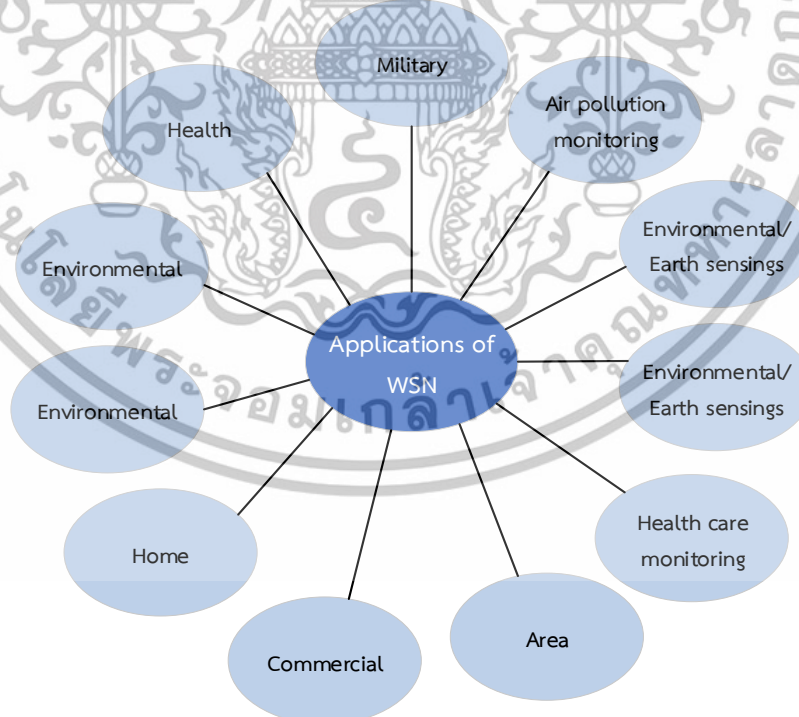
2.4 ข้อดีของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ข้อดีของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วย

1. การเตรียมการโครงข่ายสามารถถูกดำเนินการโดยโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่คงที่ได้
2. มีความยืดหยุ่น หากมีสถานการณ์ที่ไม่ได้คาดหมาย เมื่อมีความต้องการเวิร์กสเตชัน (workstation) เพิ่ม
3. เหมาะสำหรับสถานที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ที่เหมือนกับภูเขา, หนองทะเล, พื้นที่ชนบท และป่าลึก
4. ราคาในการดำเนินการไม่สูง
5. หลีกเลี่ยงการใช้การเดินสายจำนวนมาก
6. ใช้อำนวยความสะดวกสำหรับอุปกรณ์ใหม่ๆในอนาคต
7. สามารถเข้าถึงได้โดยการใช้เสาส่งเหตุการณ์ (monitor) จากส่วนกลาง

2.5 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายอาจประกอบไปด้วยประเภทที่แตกต่างกันมากมายของเซ็นเซอร์ เช่น low sampling rate, seismic, magnetic, thermal, visual, infrared, radar, และ acoustic ซึ่งมันมีความฉลาดในการตรวจสอบสถานการณ์ต่างๆ โหนดเซ็นเซอร์ถูกใช้สำหรับการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง, การระบุเหตุการณ์, การสืบค้น และความคุมเฉพาะที่ของอุปกรณ์หัวขั้ววาล์ว (actuator) การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Wireless sensor network of application [4]

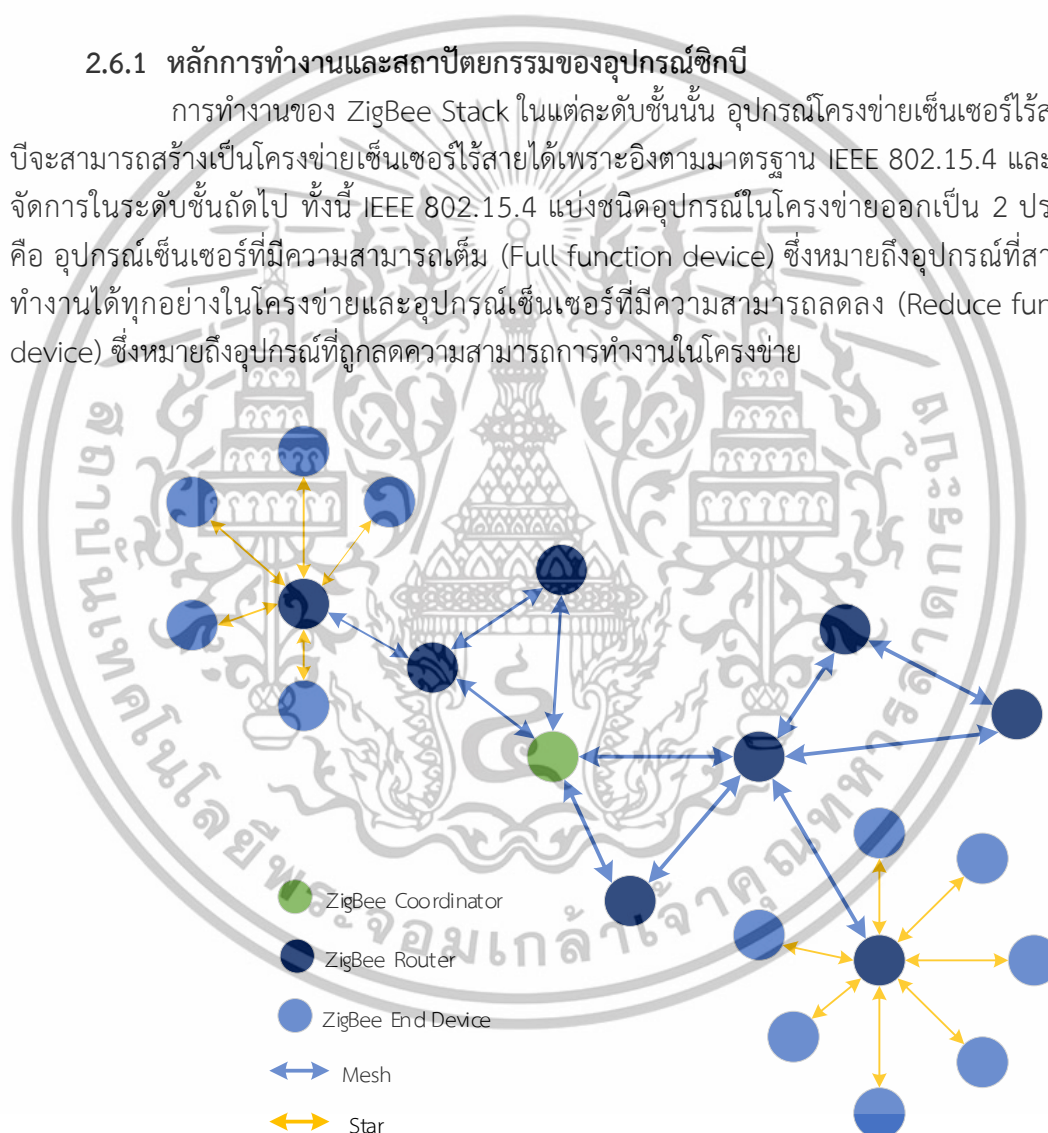
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อุปกรณ์เซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบไร้สายมากมายที่สามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการและความเหมาะสมกับประเภทข้อมูล หนึ่งในอุปกรณ์ที่ถูกเลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ อุปกรณ์ซิกบี (ZigBee) ซิกบีสามารถนำมาสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้ ซึ่งอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีเป็นการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับและส่งข้อมูลแบบ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำและมีราคาถูก การสื่อสารลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง

2.6.1 หลักการทำงานและสถาปัตยกรรมของอุปกรณ์ซิกบี

การทำงานของ ZigBee Stack ในแต่ละระดับชั้นนั้น อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีจะสามารถสร้างเป็นโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้เพราะอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และมีการจัดการในระดับชั้นถัดไป ทั้งนี้ IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในโครงข่ายออกเป็น 2 ประเภทคือ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม (Full function device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในโครงข่ายและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถลดลง (Reduce function device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในโครงข่าย



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยซิกบี [4]

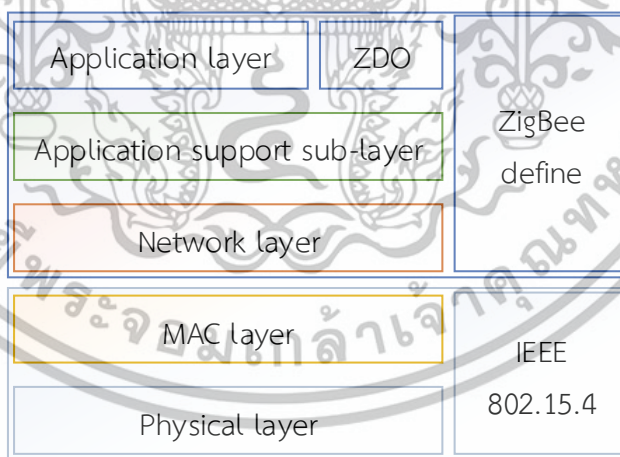
จากรูปตัวอย่างที่ 2.6 อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี ได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โคออดิเนเตอร์ (Coordinator) มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงโครงข่ายระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง (End device) กับเราท์เตอร์ (Router) หรือโคออดิเนเตอร์กับโคออดิเนเตอร์ด้วยกัน หรือโคออดิเนเตอร์กับเราท์เตอร์ กำหนดที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงโครงข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการเลือกเส้นทางซึ่งเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม
2. อุปกรณ์ปลายทาง เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถลดลง หรืออุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็มบางกรณีขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้
3. เราท์เตอร์ มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ ของโครงข่าย ซึ่งเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม

2.6.2 โครงสร้างของอุปกรณ์ซิกบี

ซิกบีถูกออกแบบมาเฉพาะในส่วนของ Application layer, Application support Layer และ Network layer เท่านั้น แต่ใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) ซึ่งระดับชั้นที่ 1 จะเป็น ฟิสิคัล เลเยอร์ (Physical Layer) ระดับชั้นที่สอง (Layer 2) จะเป็น แม็คแอดเดรส (Mac Address) ส่วนด้านบนขึ้นไปจะเป็นส่วนที่ ZigBee จัดไว้ให้ ได้แก่ ซีเคียวริตี้เซอร์วิสโพรไวเดอร์ (Security Service Provider), เครือข่ายซิกบี (Network Zigbee) ถูกออกแบบมาเฉพาะในส่วนของ แอปพลิเคชันเลเยอร์ (Application layer), แอปพลิเคชัน ซัพพอร์ต เลเยอร์ (Application support Layer) และเน็ตเวิร์ค เลเยอร์ (Network layer) เท่านั้นซึ่งรายละเอียดของเฟรมเวิร์คของ ZigBee จะอธิบายการทำงานในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปแบบโครงสร้างของซิกบี [4]

โดยโครงสร้างของ ZigBee จะแบ่งเป็น layer ต่างๆ ดังนี้

1. Application layer เป็นชั้น ที่มีส่วนของ Endpoint อยู่ เรียกว่า Application framework โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูล รวมถึง การจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

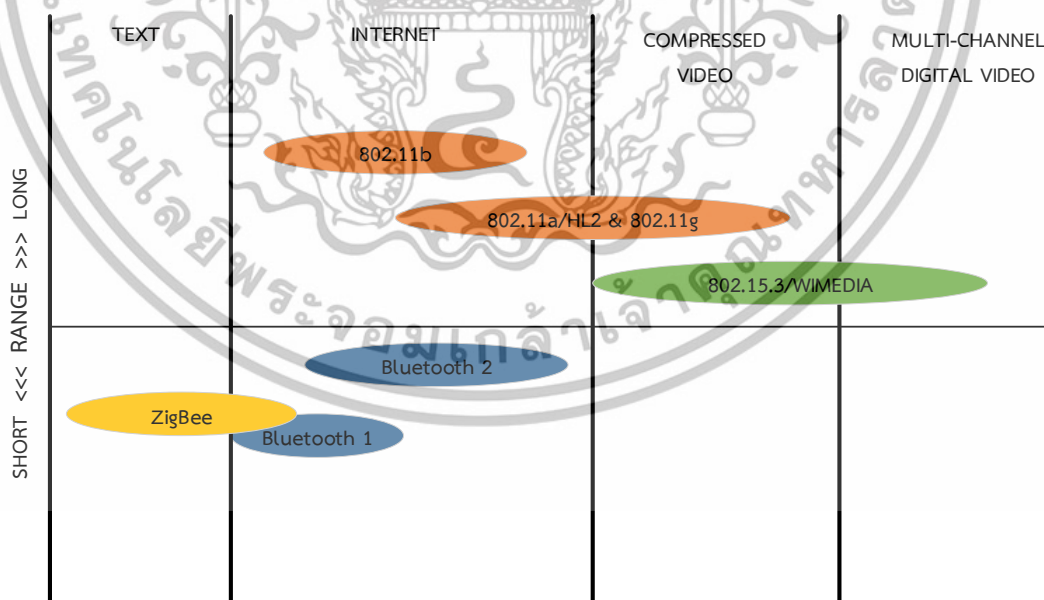
3. Network layer ทำหน้าที่ในการ routing ข้อมูลต่างๆ จากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน หรือต่างเครือข่ายกัน และได้รับการออกแบบเพื่อยอมให้ช่วงของเครือข่ายแผ่วงกว้างโดยที่ต้องไม่ใช่อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้พลังงานสูง ชั้น Network Layer ต้องสามารถรองรับโหนดจำนวนมากได้โดยใช้เวลาแฝงต่ำด้วย

4. Media Access Control (MAC) layer ถูกออกแบบมาโดยยอมให้สามารถใช้งานได้กับ โทโพลีหลายๆ แบบแต่ต้องไม่ซับซ้อนการจัดการพลังงานต้องไม่ใช่ชั้นตอนมาก MAC ต้องยอมให้ลดหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ (Reduced Functionality Device: RFD) บางตัวที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสง (flash) หรือต้องใช้ RAM หรือ ROM ทำงานมากลง MAC ถูกออกแบบมาเพื่อให้รองรับได้กับจำนวนอุปกรณ์มากๆ โดยที่ต้องไม่เกิดการหลุดชะงักด้วย (parked)

5. Physical Layer ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับความราคาที่เหมาะสม การเข้าถึงโดยตรงตามลำดับอนุญาติให้ใช้วงจรรอนาลอกที่ไม่ซับซ้อนและมีความคงทนมากในการปรับปรุง

2.6.3 มาตรฐานอุปกรณ์ชิป

อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายชิปที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ กล่าวคือ ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย จึงสามารถติดตั้งไว้ได้นานและสามารถสร้างโครงข่ายได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านเซ็นเซอร์ไร้สายตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุและตรวจสอบสภาพแวดล้อม โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบชิปกับเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ ในด้านต่างๆ ได้ดังรูปตัวอย่างที่ 2.8 และตารางที่ 2.1



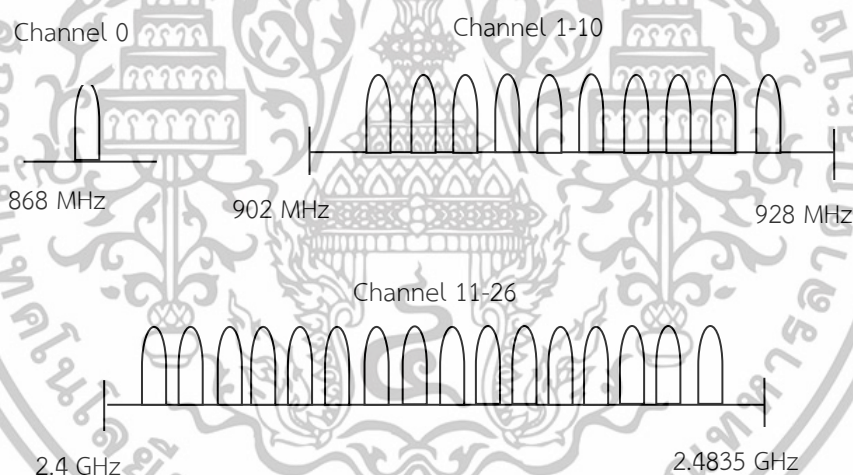
รูปที่ 2.8 ปริมาณการใช้ Throughput ของมาตรฐานการสื่อสารไร้สายแบบต่างๆ [4]

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีแบบไร้สายชนิดต่างๆ [5]

มาตรฐาน	ZigBee 802.15.4	Wi-Fi 802.11b	Bluetooth 802.15.1
ระยะทางการรับ-ส่ง	1-100	1-100	1-10
แบตเตอรี่ (วัน)	100-1,000	0.5-5	1-7
ขนาดของโครงข่าย	>64,000	32	7
การนำไปใช้	ควบคุมและการหาตำแหน่ง	เว็บ อีเมลล์ วีดีโอ	ใช้รับ-ส่งข้อมูลระยะใกล้
อัตราการส่งผ่านข้อมูล	20-250 (kb/s)	11,000 (kb/s)	720 (kb/s)

โดยการสื่อสารระยะใกล้แบบอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีมีจุดเด่นดังนี้

1. มีการเชื่อมต่ออย่างซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับโครงข่ายขนาดใหญ่
2. การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจากพลังงานแบตเตอรี่
3. การสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10 เมตร ถึง 100 เมตร
4. เน้นการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็ว 125 kbps ถึง 250 kbps



รูปที่ 2.9 ความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี [5]

จากรูปที่ 2.9 แสดงความถี่การใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี ซึ่งประกอบไปด้วย ย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 11-26) ช่องสัญญาณ ละ 5 MHz โดยที่อัตรารับส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 kbps, ย่านความถี่ 915 MHz จะมีช่องสัญญาณ 10 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 1-10) ช่องสัญญาณละ 2 MHz โดยที่อัตรารับส่งข้อมูลอยู่ที่ 40 kbps และย่านความถี่ 868 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ โดยที่อัตรารับส่งข้อมูลอยู่ที่ 20 kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์ซิกบี (ZigBee) ที่เลือกใช้

สำหรับอุปกรณ์ซิกบีที่ถูกเลือกนำมาใช้ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในงานวิทยานิพนธ์นี้ คือ ยี่ห้อ เอ็กซ์บี (XBee) รุ่น Series 2 (ZB) มีคุณสมบัติดังนี้

1. ใช้ย่านความถี่ในการรับส่งข้อมูล 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูล 250 kbps
2. มีการเข้าถึงช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA – CA)
3. สามารถรองรับ Address ได้ถึง 64bit IEEE address (65535 networks)
4. เชื่อมต่อเป็นโครงข่าย (Topology) ได้หลายแบบ เช่น แบบดาว (Star topology) แบบระดับเดียว (Peer-to-Peer Topology) เป็นต้น
5. ใช้พลังงานต่ำ โดยแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 2.8-3.4 V และ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 10 ไมโครแอมป์
6. ใช้สายอากาศแบบหลอดตัวนำ (ใช้หัวต่อแบบ SMA) โดยมีอัตราขยาย 3 dBi อิมพีแดนซ์ 50 Ω ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีที่เลือกใช้ [4]

สามารถสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรม เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำเฟิร์มแวร์ (Firmware) ที่จะโหลดเข้าไปในตัวเอ็กซ์บี ให้สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ผ่านตัวประสานโปรแกรม (Software interface) คือ X-CTU โดยเมื่อทำการตั้งค่าเอ็กซ์บีให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแล้ว เราจะเรียกเอ็กซ์บีแต่ละตัวว่าเป็นโหนด (Node) และเอ็กซ์บีแต่ละตัวก็จะทำหน้าที่ตามที่เราได้ตั้งค่าไว้

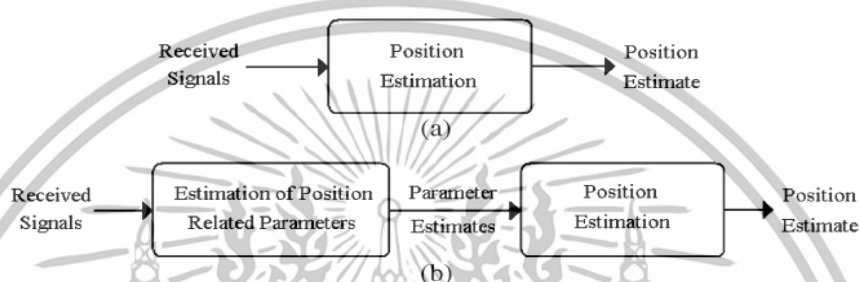
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

เมื่อกล่าวถึงระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร ในปัจจุบันนี้นับว่ามีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งมากมาย โดยตัวอย่างของการนำเอาระบบการหาตำแหน่งมาใช้ในปัจจุบันนี้ตัวอย่าง เช่น การหาตำแหน่งของผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล การหาตำแหน่งของนักดับเพลิงที่เข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยภายในอาคาร และการหาตำแหน่งของสิ่งของภายในโกดังสินค้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง

มีเทคนิคการประมาณตำแหน่งจำนวนมากที่ถูกเสนอ ซึ่งเทคนิคการประมาณตำแหน่งเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่รับได้ ทิศทางที่สัญญาณเดินทาง เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงและความต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง [20] เพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถในการระบุตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เทคนิคการประมาณตำแหน่งควรจะมีการตรวจสอบเป็นอันดับแรก การประมาณตำแหน่งของโหนดในโครงข่ายไร้สายที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนสัญญาณระหว่างโหนดนั้นและจำนวนของโหนดที่ใช้อ้างอิง ตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจะสามารถประมาณได้ด้วยโหนดเป้าหมายเองหรือประมาณได้ด้วยศูนย์กลาง



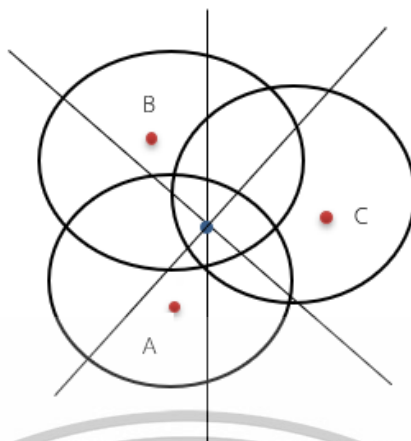
รูปที่ 2.11 เทคนิคการระบุตำแหน่ง [6]

(a) การระบุตำแหน่งโดยตรงและ (b) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน

ดังที่แสดงในรูปที่ 2.10 (b) ขั้นตอนแรกของอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอนนั้นจะเกี่ยวกับพารามิเตอร์ในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย พารามิเตอร์เหล่านี้มักจะเกี่ยวกับพลังงาน เวลา และทิศทางของสัญญาณที่เดินทางระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง ถึงแม้ว่าจะเป็นเรื่องปกติในการประมาณพารามิเตอร์เดียวของแต่ละสัญญาณ ระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง เช่น เวลาในการเดินทางมาถึงของสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะประมาณได้หลายตำแหน่งที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในแต่ละสัญญาณ เพื่อที่จะปรับปรุงให้การระบุตำแหน่งมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2.7.1.1 เทคนิคการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ

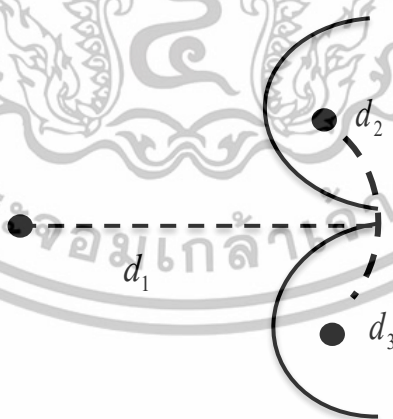
การวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณจะมีลักษณะการพิจารณาพารามิเตอร์ที่เป็นเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน เป็นการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน โดยสามารถจะหาระยะทางได้โดยการคำนวณจากเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกัน เมื่อวงกลม 2 วงตัดกันจะเกิดเส้นตรง 1 เส้น ดังนั้นเมื่อมีวงกลม 3 วงตัดกันก็จะเกิดเส้นตรง 3 เส้นตัดกัน เกิดเป็นพิกัดที่เราต้องการหาตำแหน่งหรือตำแหน่งที่ต้องการระบุ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ [6]

2.7.1.2 เทคนิคการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ

วิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณมีลักษณะคล้ายกับวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ เนื่องจากวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณพิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางของแต่ละสถานีฐาน ส่วนวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณจะวัดความต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐานแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟของไฮเพอร์โบลิก ซึ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการจึงต้องใช้เส้นกราฟอย่างน้อย 2 เส้นมาตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานี สิ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือแต่ละสถานีฐานต้องมีการประสานงานกัน ซึ่งในการทดลองสำหรับการหาตำแหน่งด้วยวิธีการนี้ต้องใช้วิธีการในการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่อยู่ยากเมื่อเทียบกับวิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ

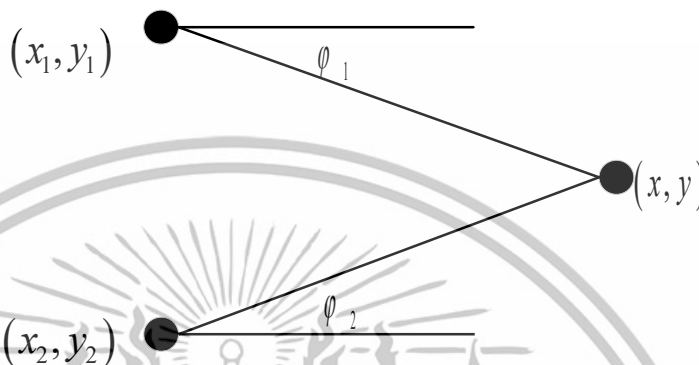


รูปที่ 2.13 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ [6]

2.7.1.3 เทคนิคการวัดทิศทางในการมาถึงของสัญญาณ

การวัดทิศทางในการมาถึงของสัญญาณเป็นการหาตำแหน่งโดยทิศทางของสัญญาณ โดยการคำนวณความแตกต่างของเฟสของสัญญาณที่ไปถึงสายอากาศแต่ละตัวที่ใช้อยู่ในชุดรับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

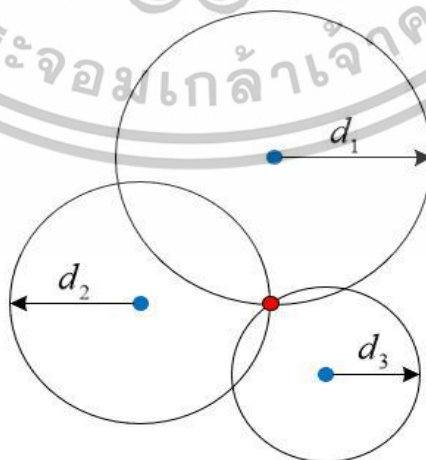
สัญญาณ โดยในการหาตำแหน่งนั้นต้องมีชุดสายอากาศที่ทำงานเหมือนกันทุกประการจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า สายอากาศแบบเฟสอาร์เรย์ (Phase array antenna) อย่างน้อย 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดทิศทางการมาถึงของสัญญาณทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังต้องเจอปัญหาความผิดพลาดจากปรากฏการณ์การกระเจิงของคลื่นวิทยุอีกด้วย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งมากนัก



รูปที่ 2.14 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดทิศทางการมาถึงของสัญญาณ [6]

2.7.1.4 เทคนิคการวัดค่าความแรงของสัญญาณ

การวัดค่าความแรงของสัญญาณเป็นวิธีการพิจารณาตำแหน่งโดยพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณซึ่งถูกลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในวิถี (Path loss attenuation) โดยใช้การตัดกันของวงกลมซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน เราสามารถหา ระยะทางโดยการคำนวณจากความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ด้วยวิธีการนี้จึงต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.14 อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยวัดค่าความแรงของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์การจางหายจากการแพร่กระจายคลื่นหลายวิถี (Multipath fading) และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (Shadowing) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณทำให้การหาตำแหน่งโดยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 2.15 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ประเภทของระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับคือ อินฟราเรด ความถี่วิทยุ และอัลตราซาวด์ โดยแต่ละประเภทจะมีรายละเอียดดังนี้

2.7.2.1 อินฟราเรด (Infrared)

สัญญาณอินฟราเรดมีคุณสมบัติเหมือนกับแสงทั่วไปคือไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงหรือสิ่งกีดขวางได้ ดังนั้นจึงค่อนข้างมีข้อจำกัดของระยะการใช้งานในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามความเร็วในการแพร่สัญญาณสูงประมาณ 3×10^8 m/s ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบนี้ต้องการอุปกรณ์ที่มากกว่าระบบอัลตราซาวด์ และการรบกวนของแสงภายในอาคารจะมีผลต่อความถูกต้องของการตรวจจับสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วอินฟราเรดจะมีระยะการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 5 เมตร และโดยปกติอุปกรณ์อินฟราเรดจะมีขนาดเล็กกว่าอุปกรณ์อัลตราซาวด์

2.7.2.2 ความถี่วิทยุ (Radio frequency: RF)

สัญญาณความถี่วิทยุสามารถเดินทางผ่านวัสดุภายในอาคารได้มาก ดังนั้นระบบนี้จึงมีระยะการใช้งานที่ดีภายในสภาพแวดล้อมภายในอาคารซึ่งความเร็วในการแพร่สัญญาณก็สูงเช่นเดียวกันคือ ประมาณ 3×10^8 m/s และเป็นระบบที่ใช้ความถี่สาธารณะ โดยระบบนี้มีระยะการใช้งานที่กว้างกว่าระบบที่ใช้อินฟราเรดและอัลตราซาวด์

2.7.2.3 อัลตราซาวด์ (Ultrasound)

แม้ว่าอัลตราซาวด์จะทำงานที่ย่านความถี่ต่ำ (40 kHz) เมื่อเปรียบเทียบกับสองระบบก่อนหน้านี้นี้ โดยระบบนี้มีความแม่นยำที่ดีสำหรับตำแหน่งที่ตรวจจับที่มีความเร็วของการแพร่สัญญาณต่ำ (343 m/s) ส่วนข้อดีของระบบนี้คือ ง่ายและราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตามอัลตราซาวด์ ไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงได้แต่จะสะท้อนกับสิ่งกีดขวางภายในอาคารมาก โดยระบบนี้มีระยะการใช้งานประมาณ 3 เมตรถึง 10 เมตร และมีความละเอียด 1 เซนติเมตรของการวัดระยะ ซึ่งอุณหภูมิการใช้งานมีผลต่อประสิทธิภาพของอัลตราซาวด์

บทที่ 3

ทฤษฎีอัลกอริทึมการหาตำแหน่งและเทคนิคการพัฒนา

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การหาตำแหน่ง โดยการใช้ทฤษฎีอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Weighted Centroid Localization) จากนั้นจะนำผลที่ได้มาปรับปรุงให้มีความแม่นยำและถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการนำสมการคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยปรับปรุงค่าคือสมการกำลัง ซึ่งสมการค่าเฉลี่ยกำลังสองนี้เป็นรูปแบบของสมการที่ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นการวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จากการหาตำแหน่งที่ใช้วิธีการการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ โดยการเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength หรือ RSS) มาใช้คำนวณเพื่อหาค่าของตำแหน่ง ซึ่งค่า RSS เป็นค่าที่มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สมการค่าเฉลี่ยกำลังสองจึงถูกหยิบนำมาช่วยในการปรับปรุงค่าการหาตำแหน่งให้มีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น สำหรับหัวข้อแรกในบทนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์หาตำแหน่ง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ จากนั้นจะอธิบายถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่ง ในหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการตำแหน่ง ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์หาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี มีขั้นตอนดังนี้ สร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการวัด แล้ววัดหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายแต่ละตำแหน่งโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ หลังจากนั้นคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ จากนั้นนำค่ามาปรับปรุงด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง และสุดท้ายจึงหาค่าความผิดพลาดของระยะทางของแต่ละตำแหน่งตามแบบจำลองการวัดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งสำหรับอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ โดยจะนำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีที่ติดตั้งเป็นโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัว สัญญาณจากซิกบีที่ทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิง จะส่งสัญญาณมายังโหนดเป้าหมาย ซึ่งสัญญาณที่โหนดเป้าหมายรับได้นี้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย และนำไปคำนวณความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ต่อไป

สำหรับรูปแบบการวัดค่าสัญญาณ RSS สามารถอธิบายได้ในรูปของ log-distance path loss model ซึ่ง log-distance path loss model คือรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่คาดการณ์ถึง path loss ของสัญญาณที่แพร่ออกไปในอากาศหรือสายนำสัญญาณ ด้วยการลดทอนของ RSS นี้เองที่สามารถนำมาหาค่าระยะทาง เพื่อหาตำแหน่งได้โดยการประยุกต์ใช้จากสมการที่ (3.1)

$$PL = P_{Tx_{dBm}} - P_{Rx_{dBm}} = PL_0 + 10 \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	PL	คือผลรวมของค่าลดทอนที่วัดได้ในหน่วย dB
	$P_{Tx_{dBm}}$	คือกำลังงานในหน่วย dBm ที่ถูกส่งออกมา
	$P_{Rx_{dBm}}$	คือกำลังงานในหน่วยของ dBm ที่สามารถรับได้
	PL_0	คือค่าลดทอนที่ระยะอ้างอิงที่ d_0
	d	คือความยาวของเส้นทาง
	d_0	คือระยะอ้างอิง

3.2.1 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้

ในการทดลองหาค่าตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอย์ ที่ใช้ค่า RSS มาเป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณ เนื่องด้วยค่า RSS เป็นค่ากำลังงานที่ถูกส่งออกมา นั้นมีความไม่คงที่ จึงต้องทำการเก็บในจำนวนที่หลายๆครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้สมการค่าเฉลี่ยกำลังสองตามสมการที่ (3.2)

$$RSS_{avg} = \sqrt{\frac{RSS_1^2 + RSS_2^2 + RSS_3^2 + \dots + RSS_N^2}{N}} \quad (3.2)$$

ในการประยุกต์ใช้งานสมการ log-distance path loss model สำหรับค่าการลดทอนหรือ path loss ของค่า RSS ซึ่งจะนำไปสู่พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณในการหาตำแหน่ง คือการแปลงค่าของระยะทาง d จากค่าความเข้มของสัญญาณที่ปล่อยออกมาจากโหนดอ้างอิงแล้วส่งไปยังโหนดเป้าหมาย ดังสมการที่ (3.3)

การสูญเสียเชิงวิถีเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณทั้งสองผ่าน ตัวอย่างของค่า n สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่างๆ สังเกตว่าค่าอัตราลดทอนของสัญญาณมีขนาดที่สูงในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อเทียบกับบริเวณที่ว่างเปล่า เพราะในสถานที่ ที่มีสิ่งกีดขวางอาจมีปัญหาคาบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากตึก อาคาร และสถานที่

$$RSS(d) = RSS(d_0) - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3.3)$$

เมื่อ	$RSS(d)$	คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่โหนดเป้าหมาย
	$RSS(d_0)$	คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่โหนดอ้างอิง
	n	คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน

จากนั้นหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย วิเคราะห์ได้ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.4)

$$d = d_0 \cdot 10^{\left(\frac{RSS(d) - RSS(d_0)}{10n}\right)} \quad (3.4)$$

3.3 หลักการวิเคราะห์หาตำแหน่ง

ปัญหาการหาตำแหน่งสามารถทำให้เป็นรูปแบบที่เข้าใจง่ายดังตัวอย่างต่อไปนี้ เมื่อพิจารณา กลุ่มของโหนด $N = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ เช่น ในแต่ละตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งคงที่ (ที่เรียกกันว่า จุดยึด) ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการตั้งสมมติฐานตั้งแต่การหาตำแหน่งแบบสองมิติ ดังนั้นตำแหน่งของจุดยึดเป็นระนาบ $a_i = (x_i, y_i)$ ซึ่ง x_i และ y_i จะถูกประมาณค่าด้วยโหนดอ้างอิง ให้ p แทนตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่ของพิกัดที่ไม่ทราบ x, y และให้ RSS แทนการวัดความเข้มของ ความแรงของสัญญาณจากจุดยึด a_i ไปยังจุดเป้าหมายของอัลกอริทึม ในการหาตำแหน่งบนพื้นฐาน สัญญาณที่รับได้เป็นการประมาณ $\hat{p} = \hat{x}, \hat{y}$ ของตำแหน่ง p

รูปแบบของอัลกอริทึมการหาตำแหน่งบนพื้นฐานความแรงของสัญญาณที่รับได้ คืออัลกอริทึม การประมาณระยะทางได้มาจากการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ใช้จุดทดสอบจำนวนมากหรือ โหนดเป้าหมายไปยังโหนดอ้างอิง และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ระยะทางในการคำนวณหาตำแหน่ง

ในต่อไปนี้จะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างกันทั้งสองวิธี คืออัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหา ตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ วิธีการนี้จะมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและมีการส่งพลังงานที่ต่ำช่วยให้มีการ จำกัการใช้พลังงานของแต่ละโหนด

3.3.1 อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์

ในปัจจุบันการหาพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้รับความ สนใจ และมีการค้นคว้าวิจัยเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการนำเสนอหลากหลายวิธีการในการคำนวณหา พิกัดตำแหน่ง อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (The weighted centroid localization algorithm) มีต้นกำเนิดมาจากอัลกอริทึมการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Centroid localization) ซึ่งการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์เข้าถึงการครอบคลุมโหนดอ้างอิงที่อยู่ใกล้หรือ ชัดเจน $a(x, y)$ เพื่อหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย $p(x, y)$ การหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์เป็น วิธีการหาพิกัดตำแหน่งโดยการหาค่าเฉลี่ยจากจุดอ้างอิงที่ทราบตำแหน่งแน่นอน และเมื่อนำมาใช้ ร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายเช่น เซอร์โรว์สายซิกบีที่วางโหนดที่ทราบพิกัดตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ไว้แล้ว การประมาณค่าตำแหน่งเป้าหมาย สามารถหาได้โดยการใช้สมการที่ (3.5)

$$p(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_i(x_i, y_i) \quad (3.5)$$

- เมื่อ $p(x, y)$ คือตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย
 $a(x, y)$ คือตำแหน่งของโหนดอ้างอิง
 k คือจำนวนของโหนดอ้างอิงที่ชัดเจน
 i คือลำดับของโหนดตามแกน x, y

โดยปกติแล้วการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ประสิทธิภาพยังไม่ค่อยดีนัก ดังนั้นจึงมีการนำเอาอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักเข้ามาช่วยในการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ซึ่งจะเข้ามาช่วยกำหนดโดยเพิ่มการถ่วงน้ำหนักเข้าไปในสมการ โดยค่าน้ำหนักที่เพิ่มให้กับโหนดอ้างอิงที่อยู่ใกล้กับโหนดเป้าหมายจะมากกว่าโหนดอ้างอิงที่อยู่ไกล ในการประมาณค่าตำแหน่งของโหนดเป้าหมายสามารถหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$p(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^k (w_i \cdot a_i(x_i, y_i))}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (3.6)$$

เมื่อ w คือระดับการถ่วงน้ำหนัก

ค่าของตัวแปรของการถ่วงน้ำหนัก หรือ w ถูกกำหนดโดยใช้ระยะห่างจากโหนดอ้างอิงแต่ละตัวที่โหนดเป้าหมายคำนวณได้เป็นหลัก ทำให้ w แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง และใช้เลขยกกำลัง g เพื่อเพิ่มการถ่วงน้ำหนักให้กับระยะทาง d คำนวณได้ดังสมการ (3.7)

$$w_i = \frac{1}{(d_i)^g} \quad (3.7)$$

เมื่อ g คือแฟกเตอร์การถ่วงน้ำหนัก

ในการประมาณหาค่าตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย $p(x, y)$ จากสมการที่ 3.6 สามารถนำมาหาตำแหน่งตามแนวแกน x, y ได้ในสมการที่ 3.8 และ 3.9

$$x = \frac{\left(\frac{1}{d_1^g} \times x_1\right) + \left(\frac{1}{d_2^g} \times x_2\right) + \left(\frac{1}{d_3^g} \times x_3\right) + \dots + \left(\frac{1}{d_n^g} \times x_n\right)}{\frac{1}{d_1^g} + \frac{1}{d_2^g} + \frac{1}{d_3^g} + \dots + \frac{1}{d_n^g}} \quad (3.8)$$

เมื่อ x คือตำแหน่งประมาณค่าในแนวแกน x

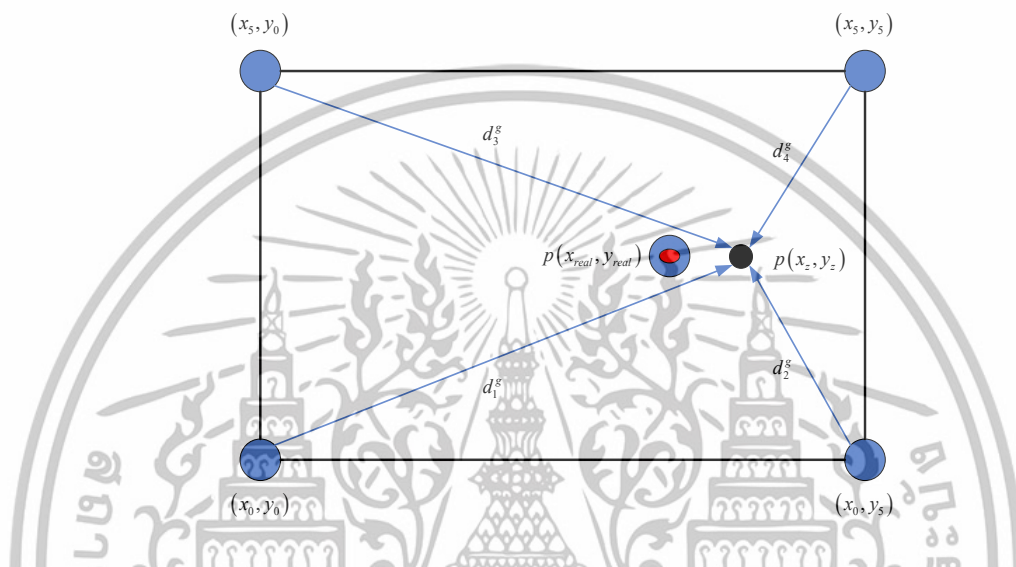
$$y = \frac{\left(\frac{1}{d_1^g} \times y_1\right) + \left(\frac{1}{d_2^g} \times y_2\right) + \left(\frac{1}{d_3^g} \times y_3\right) + \dots + \left(\frac{1}{d_n^g} \times y_n\right)}{\frac{1}{d_1^g} + \frac{1}{d_2^g} + \frac{1}{d_3^g} + \dots + \frac{1}{d_n^g}} \quad (3.9)$$

เมื่อ y คือตำแหน่งประมาณค่าในแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าผิดพลาดระยะทางนี้จะพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง โดยหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งจริงและตำแหน่งจากการทดลอง ด้วยสูตรการคำนวณค่ากำลังงานเฉลี่ยผิดพลาด ซึ่งจะมีความแม่นยำมากเมื่อค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยและสามารถหาค่าความผิดพลาดดังกล่าวคือ Error ได้จากสมการที่ (3.10)

$$Error = \sqrt{(x_{real} - x_z)^2 - (y_{real} - y_z)^2} \tag{3.10}$$



รูปที่ 3.1 การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์

ในรูปที่ 3.1 แสดงถึงรูปแบบการวัดค่าตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งโหนดอ้างอิงที่ติดตั้งในแนวแกน x และ y มีโหนดเป้าหมาย $p(x_{real}, y_{real})$ ซึ่งเป็นตำแหน่งจริง และตำแหน่งที่ประมาณค่าได้ $p(x_z, y_z)$ เมื่อ d แสดงถึงระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับตำแหน่งที่ประมาณค่าได้

จากนั้นค่าปัจจัยเลขชี้กำลังการถ่วงน้ำหนัก (weight exponent factor หรือค่า g) ซึ่งค่า g นี้ถูกคำนวณได้จาก Offline survey mode ดังนั้นค่า g ที่เหมาะสมถูกหาได้จากค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดในการประมาณค่าระหว่าง $p(x_{real}, y_{real})$ และ $p(x_z, y_z)$ ตามสมการที่ (3.11)

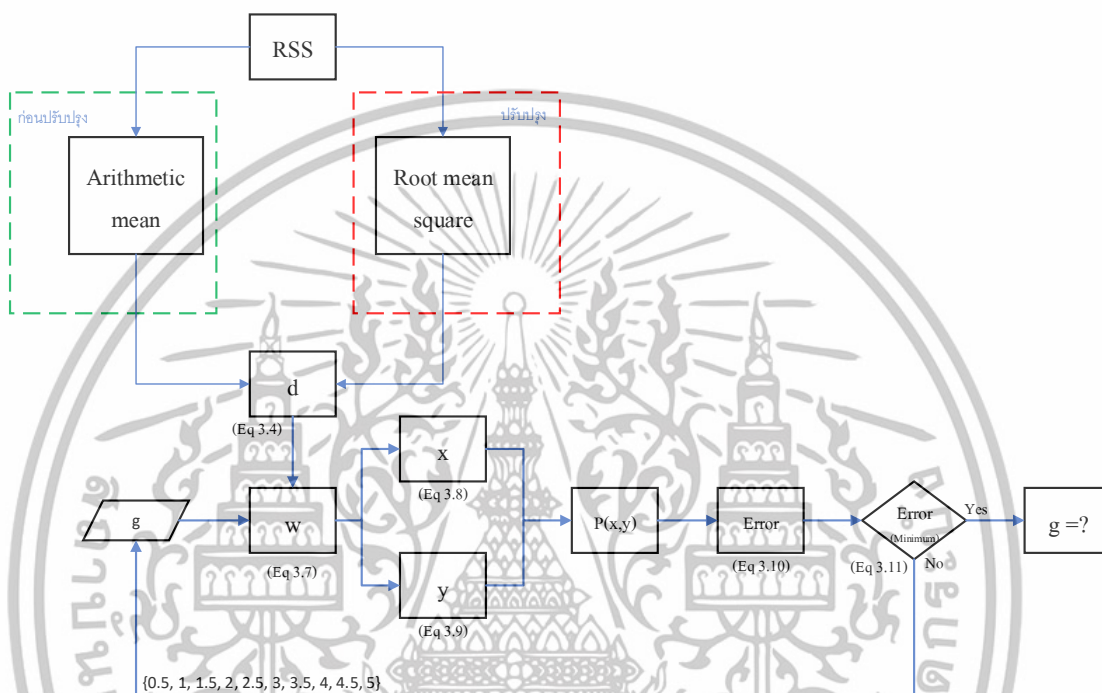
$$g = \arg \min \|p(x_{real}, y_{real}) - p(x_z, y_z)\| \tag{3.11}$$

- เมื่อ **arg min** คืออาร์กิวเมนต์ของค่าต่ำสุดของค่า Error
- x_{real}, y_{real} คือตำแหน่งในพิกัด (x, y) ถูกต้อง
- x_z, y_z คือตำแหน่งในพิกัด (x, y) ได้จากการวัด

3.4 การปรับปรุงการหาตำแหน่งด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง

ด้วยเหตุที่ค่า RSS เป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นค่าที่ไม่คงที่ ดังนั้นค่าตำแหน่งที่ได้ ก็จะไม่มีความไม่แน่นอน ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้นำเอาสมการค่าเฉลี่ยกำลังสองเข้ามาช่วยปรับปรุง อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์

3.4.1 การพัฒนาการหาตำแหน่ง



รูปที่ 3.2 กระบวนการหาตำแหน่งก่อนและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม

จากรูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการหาตำแหน่งเพื่อเปรียบเทียบระยะทางผิดพลาดระหว่างก่อนการปรับปรุงอัลกอริทึมกับหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม โดยการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (RSS) จำนวน 10 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ สมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square) ซึ่งเป็นการปรับปรุงอัลกอริทึมจากเดิมที่ทำการหาค่าเฉลี่ยแบบปกติ (Arithmetic mean) เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของ RSS แล้ว นำมาคำนวณหาระยะทาง (d) ตามสมการที่ 3.3 จากนั้นนำค่าระยะทางที่ได้มาถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ 3.6 และเพิ่มแฟคเตอร์การถ่วงน้ำหนัก (g) ที่ละค่า โดยเริ่มจาก 0.5 ซึ่งค่า w ที่คำนวณได้ถูกนำไปหาตำแหน่งในแนวแกน x และแกน y ตามสมการที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ ได้เป็นค่าตำแหน่ง P(x,y) ขึ้นมา นำค่าตำแหน่งที่ได้ไปคำนวณหาค่าระยะทางความผิดพลาดกับค่าตำแหน่งจริงตามสมการที่ 3.9 เก็บบันทึกข้อมูล จากนั้นทำการเปลี่ยนค่า g เป็น 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 ตามลำดับ และทำการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้จากใช้ค่า g ในแต่ละค่าสำหรับเปรียบเทียบผลกับการทดลองก่อนการปรับปรุงอัลกอริทึม เลือกค่า g ที่ทำให้เกิดค่าระยะทางความผิดพลาดน้อยที่สุดตามสมการที่ 3.11

3.5 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะอธิบายผลการทดลองในรูปกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบสะสม สำหรับในทางทฤษฎีความน่าจะเป็นและทางสถิตินั้น CDF คือค่าข้อมูลจริงของตัวแปรสุ่ม X หรือฟังก์ชันการกระจายของ X

$$F(E; g) = \begin{cases} 1 - e^{-gE} & E \geq 0, \\ 0 & E < 0. \end{cases} \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.3 กราฟฟังก์ชันแจกแจงสะสม

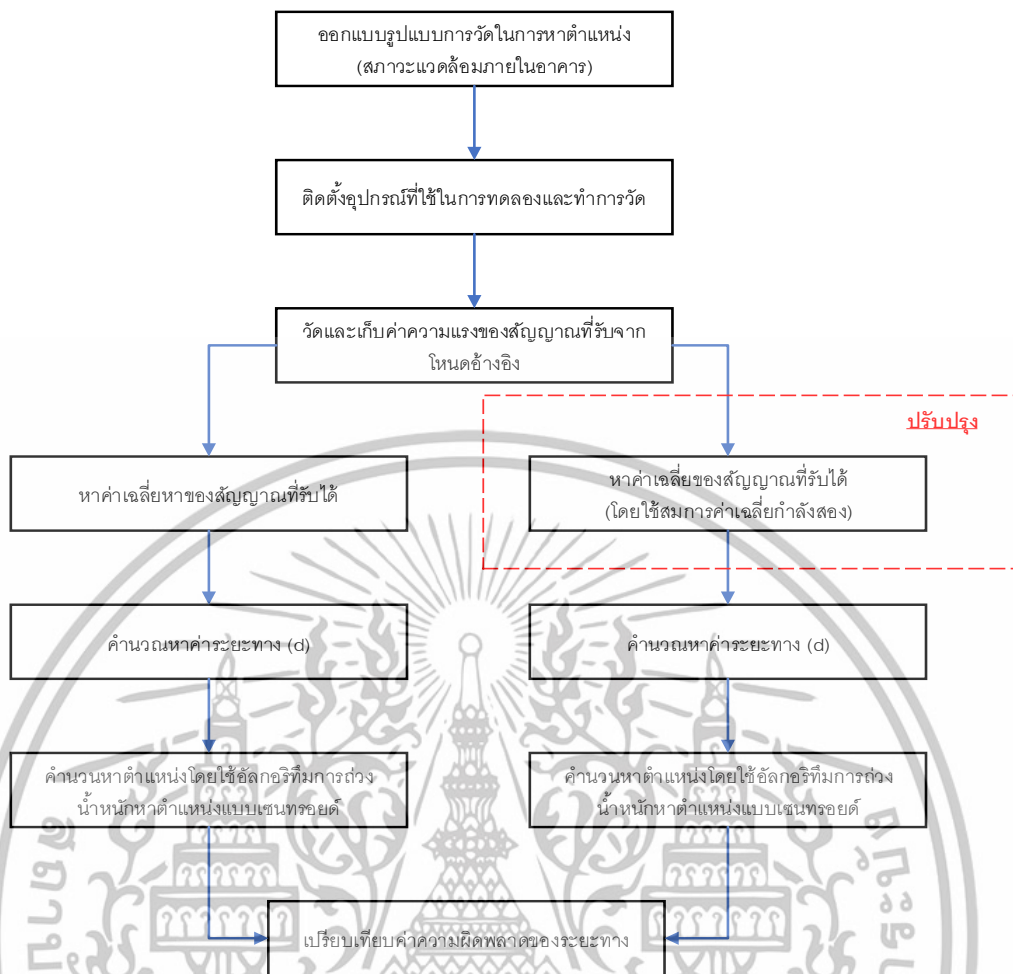
จากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูลของฟังก์ชันแจกแจงสะสม ที่จะถูกนำมาแสดง ข้อมูลผลการทดลอง โดยกำหนดค่าจำนวนจริงให้กับ g ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก และในแนวแกน x คือค่าของระยะทางความผิดพลาด E เมื่อเทียบกับ CDF

บทที่ 4

การทดลองวิจัย

4.1 บทนำ

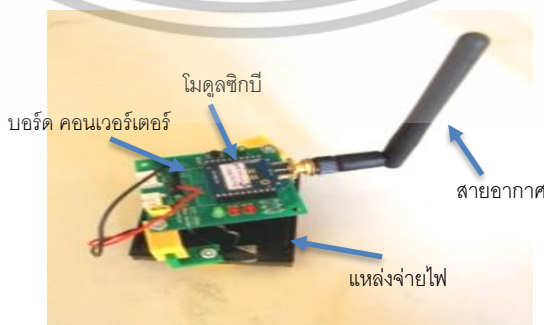
ในการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีที่ได้ทำการออกแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและแบบจำลองสำหรับการวัด แล้วนำมาวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองวัดโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีที่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการหาถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ เพื่อศึกษาการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตา ในแบบจำลองนี้จะใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัว เป็นอุปกรณ์สำหรับสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดย 4 ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงวางไว้ในพิกัดที่แน่นอนสำหรับส่งข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณกลับมาที่โหนดที่ต้องการหาตำแหน่งอีก 1 ตัวคือโหนดเป้าหมาย จะทำการติดตั้งไว้บนตำแหน่งที่กำหนดแล้วทำการร้องขอข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ต้องการจากโหนดอ้างอิงทุกโหนด แล้วส่งกลับมาที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลผู้จัดทำได้เลือกใช้โครงข่ายแบบดาวในการสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยโหนดอ้างอิงได้ตั้งค่าให้เป็นโคออดิเนเตอร์และโหนดเป้าหมายตั้งค่าเป็นเรพอร์เตอร์โดยติดตั้งให้อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในโครงข่ายเดียวกัน ขั้นตอนแรกจะทำการออกแบบการวัดในการหาตำแหน่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ที่ปราศจากสิ่งกีดขวางใด ขั้นตอนที่สองติดตั้งอุปกรณ์ซิกบีที่ใช้ในการวัดแบ่งออกเป็น ซิกบี (โหนดอ้างอิง) สำหรับส่งสัญญาณ 4 ตัว และซิกบี (โหนดเป้าหมาย) สำหรับรับและอ่านข้อมูล 1 ตัว ขั้นตอนที่สามวัดและเก็บค่าความแรงของสัญญาณระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายทั้งหมด 36 จุด ขั้นตอนที่สี่นำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปใช้ในการคำนวณหาระยะทาง โดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึมเพื่อเปรียบเทียบผลและขั้นตอนสุดท้ายแสดงผลการทดลอง ซึ่งแสดงเป็นค่าความผิดพลาดของระยะทางและสรุปผลขั้นตอนการทดลองวัดและการหาตำแหน่งตามที่แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

การสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายของระบบหาตำแหน่งจะมีการใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายชิปที่จำนวนทั้งหมด 5 ตัว โดยเป็นโหนดอ้างอิงจำนวน 4 ตัว และเป็นโหนดเป้าหมายจำนวน 1 ตัว โดยที่โหนดอ้างอิงจะได้รับไฟเลี้ยงแบตเตอรี่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ซึ่งอยู่ด้านบนบนของกระเบื้องและเสียบอยู่ด้านบนบนของบอร์ดแปลงไฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



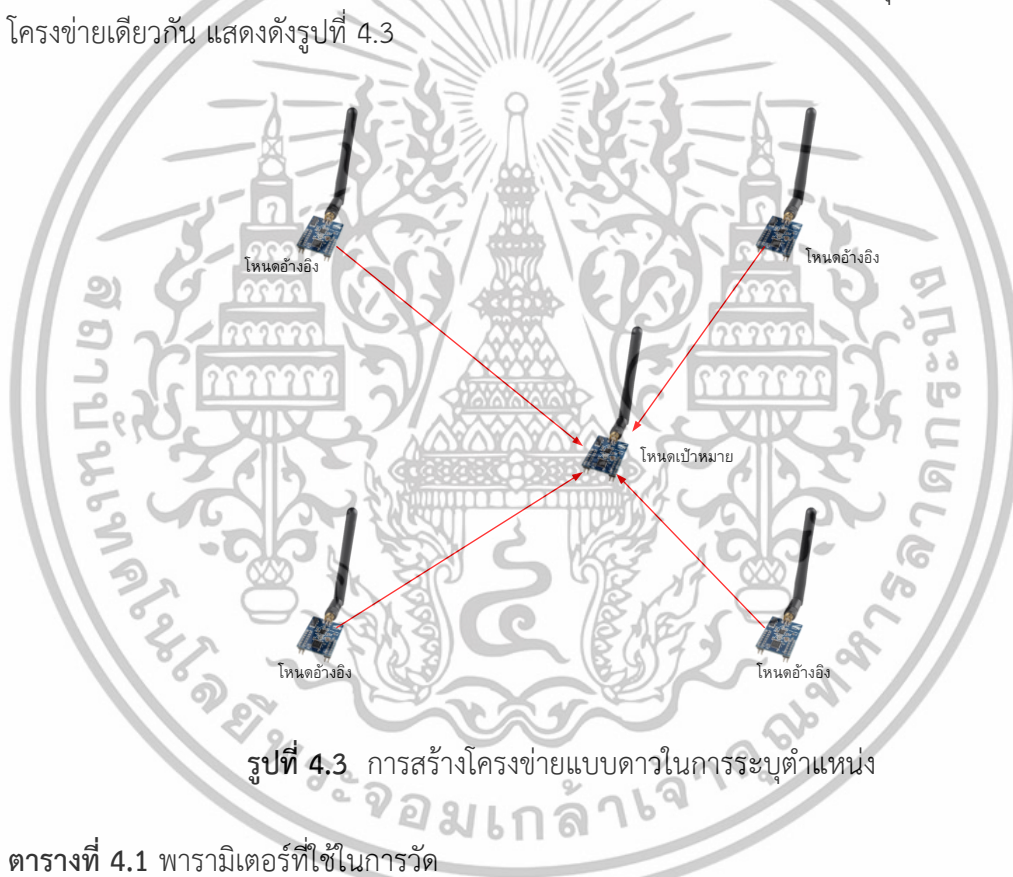
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายชิปบีและแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การตั้งค่าอุปกรณ์

การออกแบบระบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการระบุตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจะประกอบไปด้วยโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย โดยเริ่มออกแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้โหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายเป็นตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยจะใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัวเป็นอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดย 4 ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงวางไว้ในพิกัดที่แน่นอนสำหรับส่งข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณกลับมาที่โหนดเป้าหมายอีก 1 ตัว โหนดเป้าหมายจะทำการร้องขอข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ต้องการจากโหนดอ้างอิงทุกโหนด หลังจากนั้นโหนดอ้างอิงทุกโหนดก็จะส่งกลับมาที่โหนดเป้าหมาย สุดท้ายโหนดเป้าหมายจะส่งกลับมาที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล และได้เลือกใช้โครงข่ายแบบดาวในการสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยโหนดอ้างอิงได้ตั้งค่าให้เป็นโคออดิเนเตอร์และโหนดเป้าหมายตั้งค่าเป็นเรพอร์ทเตอร์โดยตั้งให้อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในโครงข่ายเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การสร้างโครงข่ายแบบดาวในการระบุตำแหน่ง

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในงานวิจัย
ความถี่	2.40 – 2.48 GHz
ชนิดของสายอากาศ	ลวดตัวนำ
ระยะห่างแต่ละจุดจากการวัด	1 เมตร
จำนวนครั้งในการวัด	10 ครั้ง
จำนวนจุด	36 จุด
พื้นที่การทดลอง	5 เมตร × 5 เมตร
การไหลเวียนของสายอากาศ	รอบทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

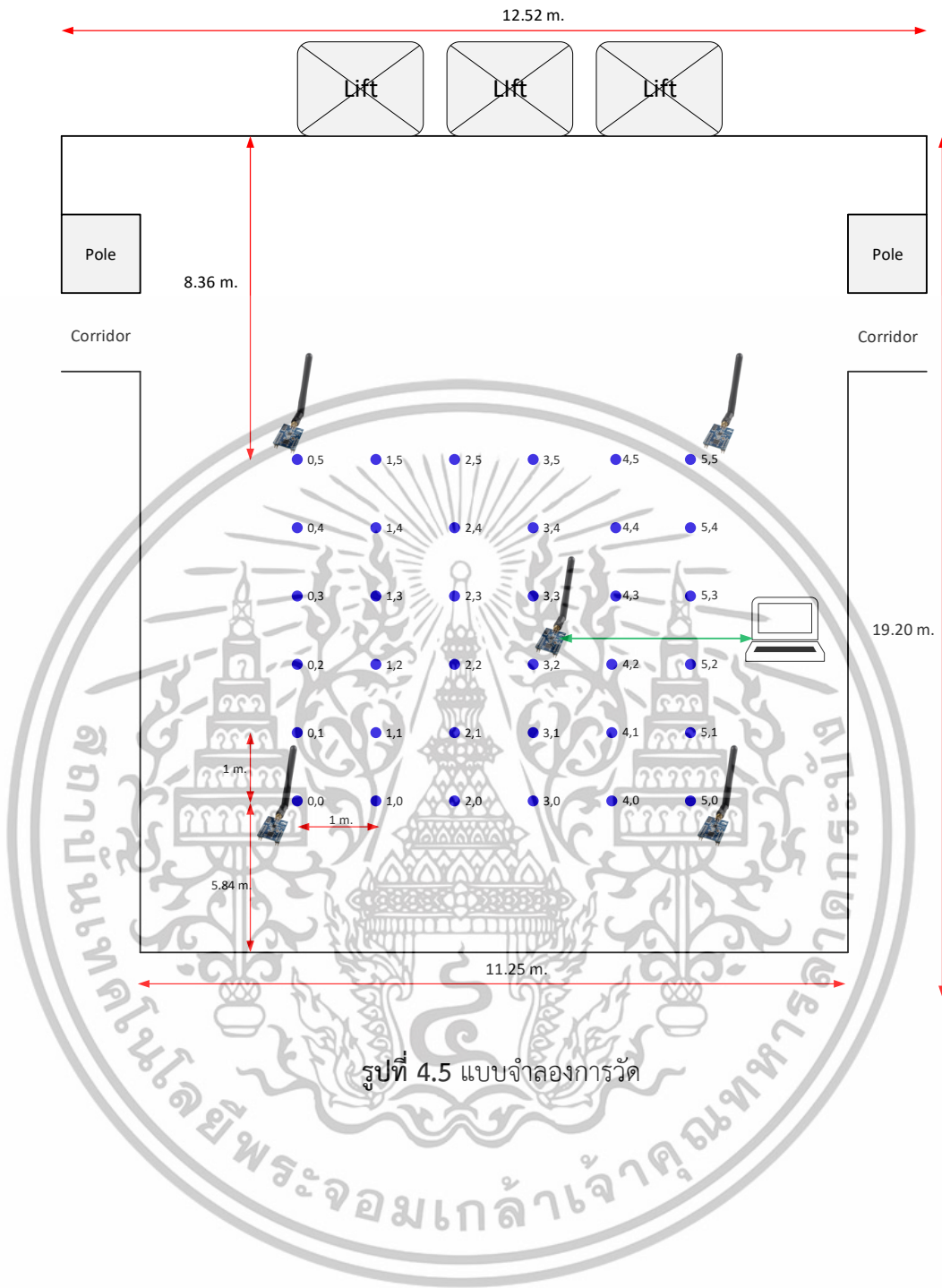
4.4 แบบจำลองการวัดสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร

ในขั้นตอนแรกเราได้กำหนดรูปแบบการวัดสำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสถานะแวดล้อมภายในอาคารที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง สำหรับการหาตำแหน่งที่ถูกต้อง การทดลองจะวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ใช้อุปกรณ์ในรูปแบบการส่งผ่านสัญญาณของความแรงของสัญญาณที่ความถี่ 2.4 GHz. โมเดลที่ใช้สำหรับการวัดประกอบไปด้วย 36 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตร สำหรับแกน x และแกน y บนพิกัด (0, 0), (5, 0), (0, 5) และ (5, 5) ถูกใช้เป็นโหนดอ้างอิง โดยทำการวัดที่อาคารเรียน E-12 ชั้นที่ 6 บริเวณลานหน้าลิฟท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รูปแบบการทดลองการวัดแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สถานะแวดล้อมของการระบุตำแหน่งในการวัดจริง

ระบบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการแลกเปลี่ยนข้อความระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิงแต่ละโหนด การสื่อสารในระดับที่ไม่ซับซ้อนระหว่างโหนดเป็นการดำเนินการโดยการให้บริการโดยโหนดเป้าหมายจะส่งไปยังโหนดอ้างอิงทั้งสี่โหนดเพื่อร้องขอการตอบกลับ จากนั้นแต่ละโหนดอ้างอิงตอบกลับด้วยข้อความที่มีระบุโหนดและระดับพลังงานที่ส่ง เมื่อโหนดเป้าหมายรับข้อความตอบกลับ การวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ และอ่านข้อมูลอื่นๆ ที่มีอยู่ในข้อความ การประมวลผลจะถูกทำซ้ำหลายๆ ครั้ง ข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้ ที่วัดได้ทั้งหมดถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ทำยที่สุดความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ถูกเก็บรวบรวมจะถูกประมวลผลและวิเคราะห์เพื่อแยกข้อมูลสถิติและประเมินผลลัพธ์ของวิธีการหาตำแหน่ง ขั้นตอนการตรวจวัดจะถูกทำซ้ำ 10 ครั้งสำหรับแต่ละ 36 ตำแหน่งจุดทดสอบ



รูปที่ 4.5 แบบจำลองการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัย

5.1 บทนำ

จากการทดลองในบทก่อนหน้าเป็นการทดลองวิจัยการหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ที่ถูกปรับปรุงด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่ใช้ค่าความแรงของสัญญาณจากซิกบี ที่กำหนดให้สัญญาณอยู่ในช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.485 GHz การหาตำแหน่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองวัดสัญญาณจากซิกบี ซึ่งส่งสัญญาณไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของเฟรมข้อมูลผ่านซิกบีที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator โดยตัวจับค่าความแรงของสัญญาณจากซิกบีที่ทำหน้าที่เป็น End device ส่งข้อมูลแบบเฟรมแบบต่อเนื่อง แล้วนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปคำนวณหาตำแหน่ง และปรับปรุงด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งวิทยานิพนธ์ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองวิจัยของการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากซิกบีที่ได้ทดลองวัดตามแบบจำลองการวัด ในส่วนแรกจะแสดงค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการรับสัญญาณของซิกบีตัวที่ 1, 2, 3, 4 และเป็นโหนดอ้างอิงไปยังโหนดเป้าหมาย จะนำมาใช้หาตำแหน่ง โดยในผลการทดลองนี้จะเปรียบเทียบการหาตำแหน่งระหว่างการหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์แบบดั้งเดิม กับการหาตำแหน่งอัลกอริทึมการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสมการค่าเฉลี่ยกำลังสอง จากนั้นจะแสดงผลเปรียบเทียบความถูกต้อง ความแม่นยำในการหาตำแหน่งในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทางตามแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัดและค่าความผิดพลาดของระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทาง

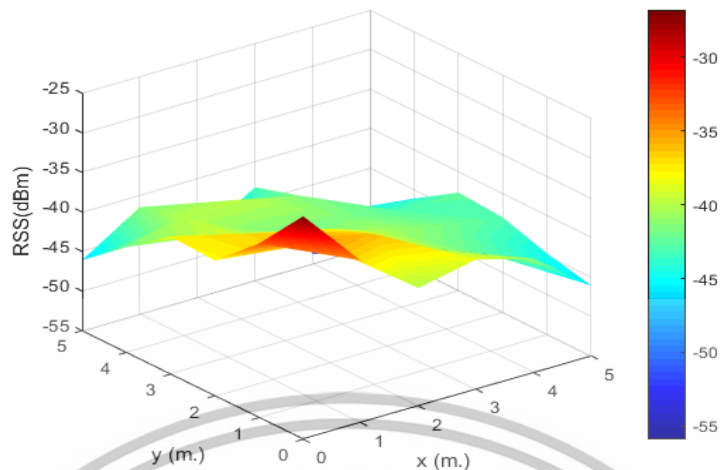
5.2 ผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการทดลองวัด

เมื่อทำการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณจากซิกบีแล้ว จะนำค่าความแรงของสัญญาณไปคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณ โดยจะแสดงค่าความแรงของสัญญาณที่เกิดจากซิกบีที่อยู่โหนดอ้างอิงที่ 1, 2, 3 และ 4 ในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด

5.2.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้

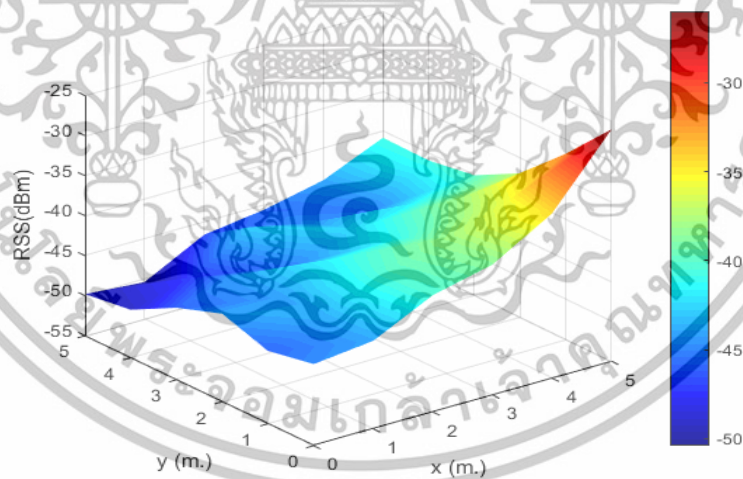
ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงในรูปแบบของค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ซึ่งจะแสดงในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด

ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากการรับสัญญาณจากซิกบีโหนดอ้างอิงที่ 1 ซึ่งวางไว้ที่พิกัด (0,0) ตามแบบจำลองการวัด จะแสดงในรูปแบบของค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.1 พบว่า มีค่าความแรงของสัญญาณมากที่สุดอยู่ที่พิกัด (0,0) น้อยที่สุดอยู่ที่พิกัด (5,5)



รูปที่ 5.1 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากชิปโมดอ้างอิงที่ 1 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0) – (5,5)

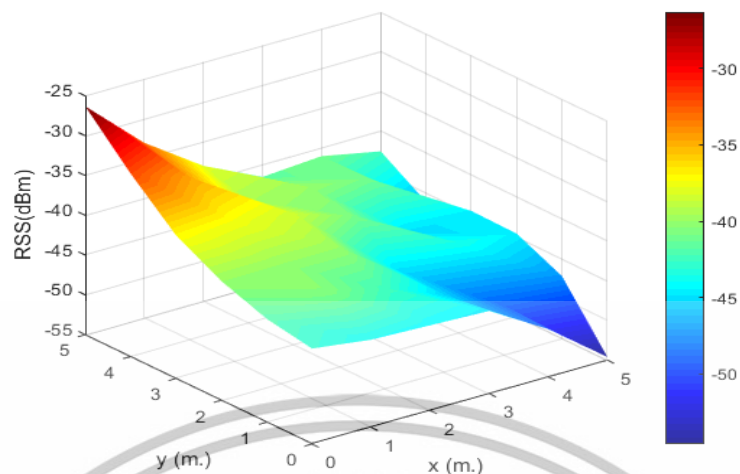
ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากการรับสัญญาณจากชิปโมดอ้างอิงที่ 2 ซึ่งวางไว้ที่พิกัด (5,0) ตามแบบจำลองการวัด จะแสดงในรูปของค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.2 พบว่า มีค่าความแรงของสัญญาณมากที่สุดอยู่ที่พิกัด (5,0) น้อยที่สุดอยู่ที่พิกัด (0,5)



รูปที่ 5.2 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากชิปโมดอ้างอิงที่ 2 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0) – (5,5)

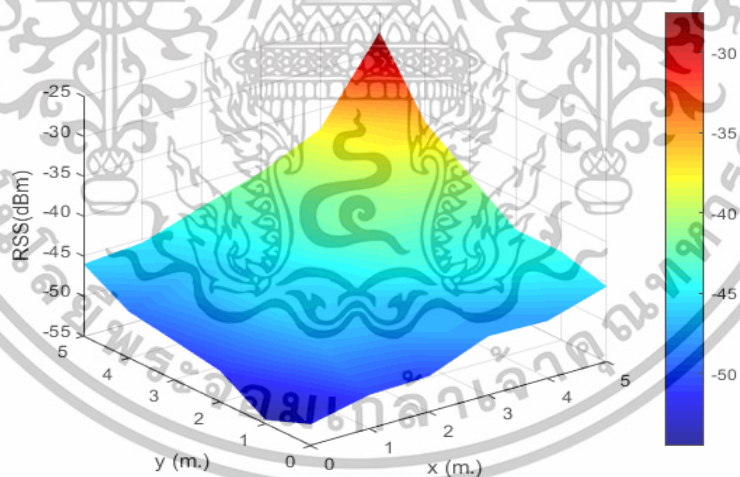
ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากการรับสัญญาณจากชิปโมดอ้างอิงที่ 3 ซึ่งวางไว้ที่พิกัด (0,5) ตามแบบจำลองการวัด จะแสดงในรูปของค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.3 พบว่า มีค่าความแรงของสัญญาณมากที่สุดอยู่ที่พิกัด (0,5) น้อยที่สุดอยู่ที่พิกัด (5,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากชิปปีไหนดอ้างอิงที่ 3 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0) – (5,5)

ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากการรับสัญญาณจากชิปปีไหนดอ้างอิงที่ 4 ซึ่งวางไว้ที่พิกัด (5,5) ตามแบบจำลองการวัด จะแสดงในรูปของค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 5.4 พบว่า มีค่าความแรงของสัญญาณมากที่สุดอยู่ที่พิกัด (5,5) น้อยที่สุดอยู่ที่พิกัด (0,0)



รูปที่ 5.4 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากชิปปีไหนดอ้างอิงที่ 4 เมื่อโหนดเป้าหมายอยู่ที่ (0,0) – (5,5)

5.3 ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งในวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของระยะทาง แสดงในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

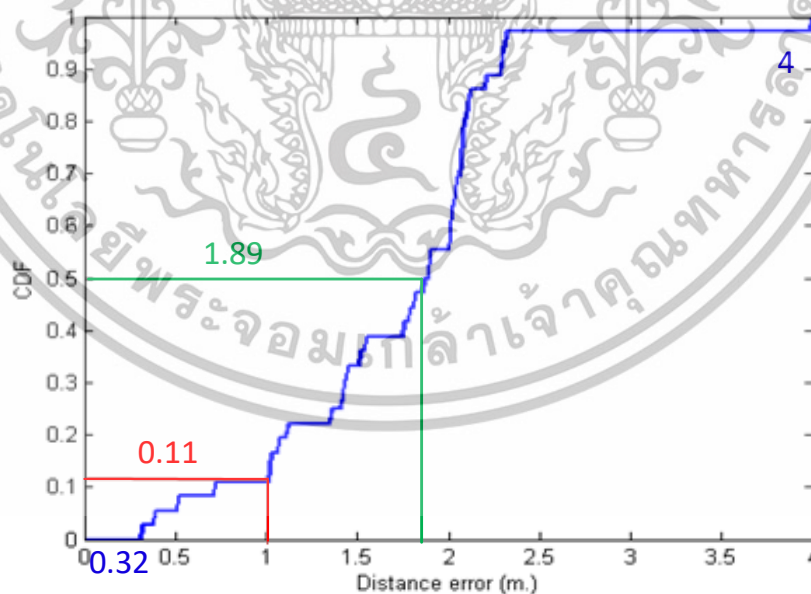
แบบจำลองการวัดด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ ซึ่งอาศัยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ดังนั้นผลการทดลองวิจัยจะแบ่งออกได้ 2 ส่วน ดังนี้ คืออัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ก่อนทำการพัฒนาและผลการทดลองหลังจากการพัฒนา จากนั้นจะแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ที่แสดงเป็นผลค่าความผิดพลาดของระยะทาง

5.3.1 เปรียบเทียบผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์

จากการทดลองใช้อุปกรณ์ซิกบีวัดค่า RSS เพื่อนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ ผลการทดลองจะแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางระหว่างผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์ ซึ่งค่าที่แสดงได้บ่งบอกถึง ค่าความผิดพลาดของระยะทางสูงสุด ค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยสุด ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะ 1 เมตร

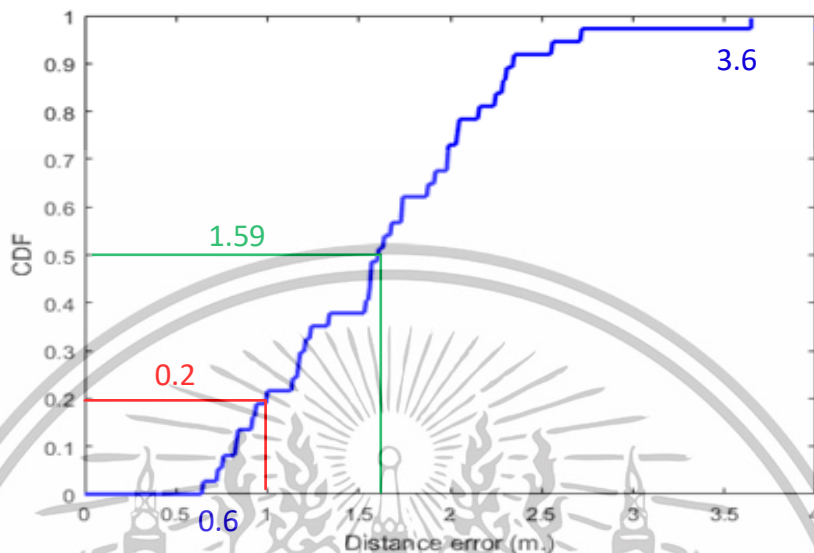
ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.5 และ 5.6 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์ เมื่อกำหนดแพกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 0.5$

ก่อนการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 1.89 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.32 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.11 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการออปติไมซ์ เมื่อ $g=0.5$

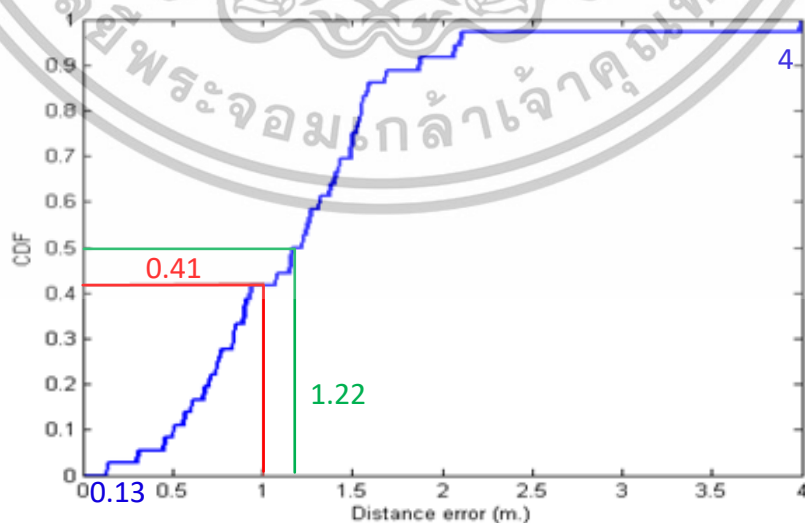
และหลังการอุปถัมภ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 1.59 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.6 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.6 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.2 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอุปถัมภ์ เมื่อ $g=0.5$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการอุปถัมภ์กับผลการทดลองหลังการอุปถัมภ์ เมื่อกำหนดแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 1$

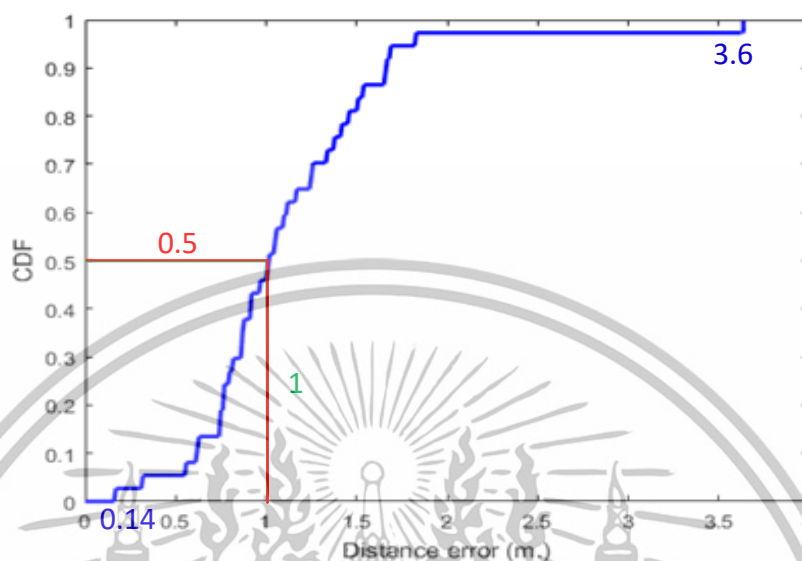
ก่อนการอุปถัมภ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 1.22 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.13 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.41 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอุปถัมภ์ เมื่อ $g=0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

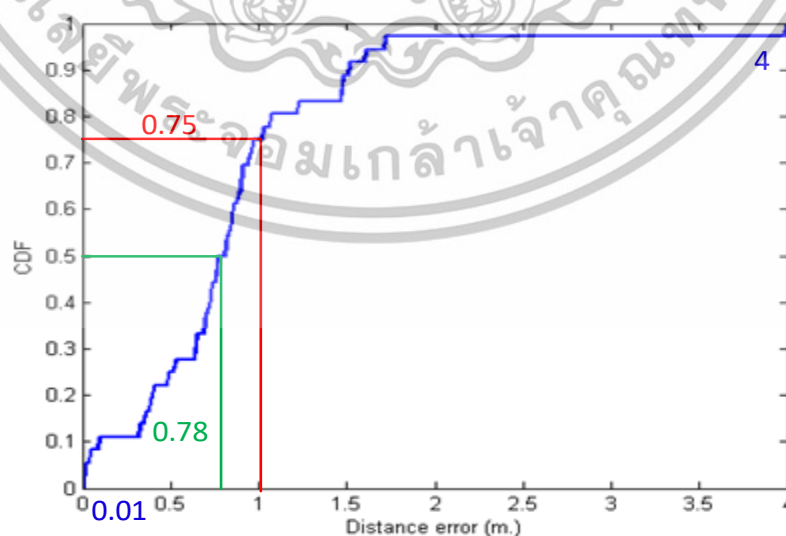
และหลังการอุปถัมภ์ไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 1 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.6 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.14 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.5 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอุปถัมภ์ไมซ์ เมื่อ $g=1$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.9 และ 5.10 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการอุปถัมภ์ไมซ์กับผลการทดลองหลังการอุปถัมภ์ไมซ์ เมื่อกำหนดแพ็คเกจรางวัลน้ำหนักร $g = 1.5$

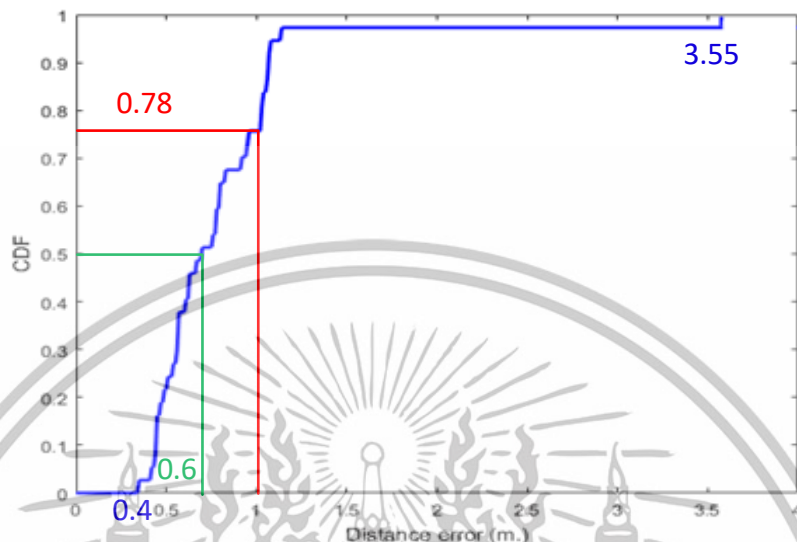
ก่อนการอุปถัมภ์ไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.78 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.75 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอุปถัมภ์ไมซ์ เมื่อ $g=1.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

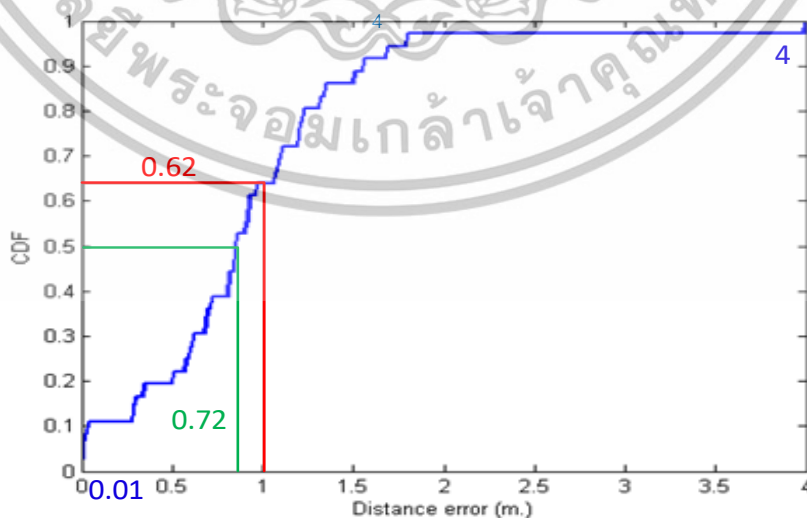
และหลังการปรับปรุงอัลกอริทึมมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.6 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.55 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.4 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.78 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปติไมซ์ เมื่อ $g=1.5$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการอปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการอปติไมซ์ เมื่อกำหนดแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 2$

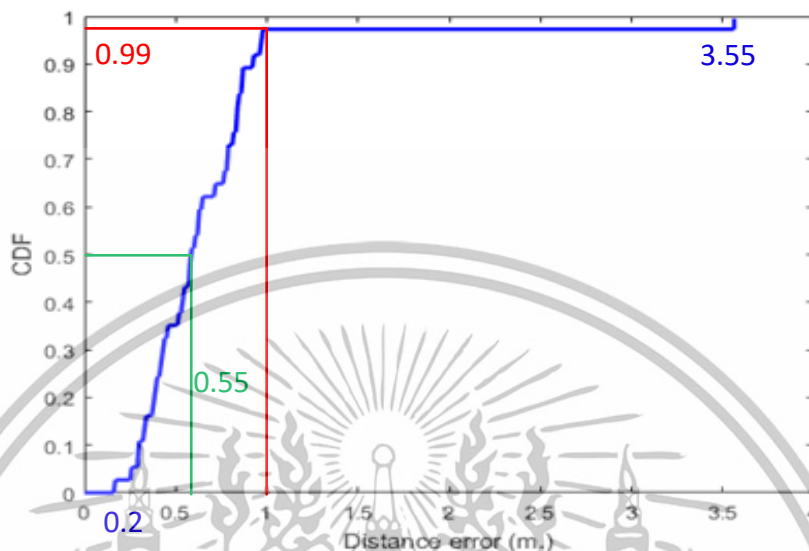
ก่อนการอปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.72 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.62 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอปติไมซ์ เมื่อ $g=2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

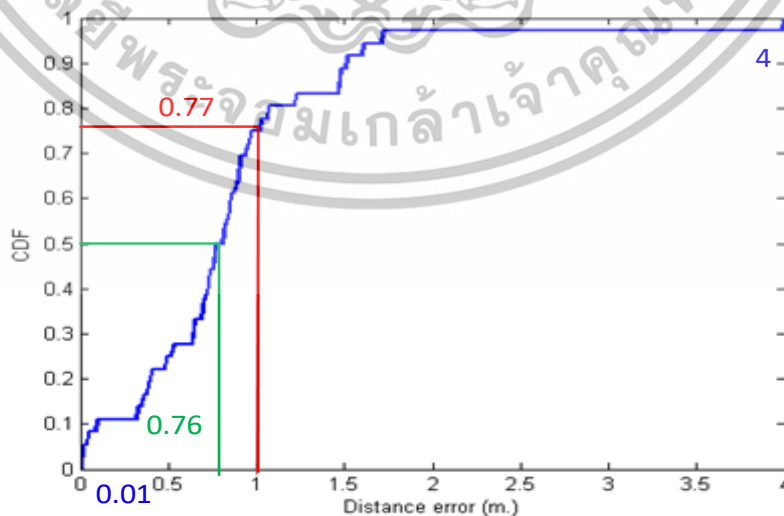
และหลังการปรับปรุงอัลกอริทึมมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.55 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.55 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.2 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.99 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการออปติไมซ์ เมื่อ $g=2$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.13 และ 5.14 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์ เมื่อกำหนดแพกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 2.5$

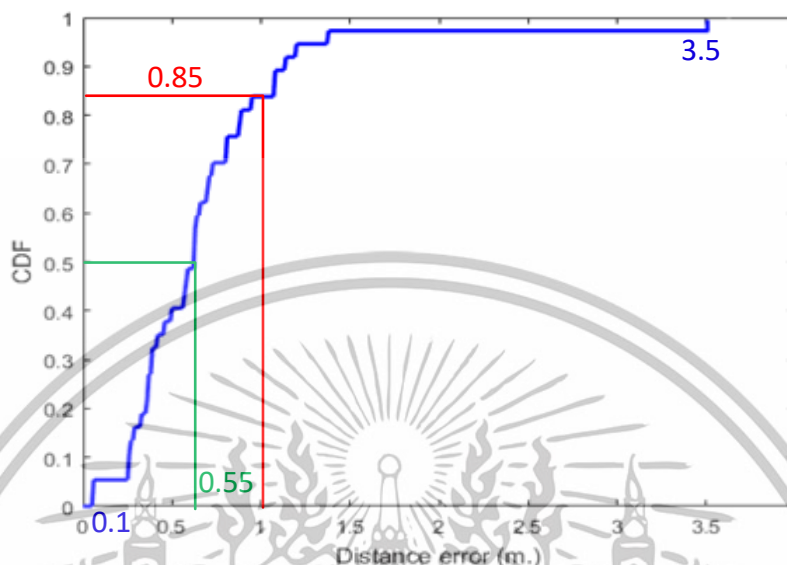
ก่อนการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.76 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.77 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการออปติไมซ์ เมื่อ $g=2.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

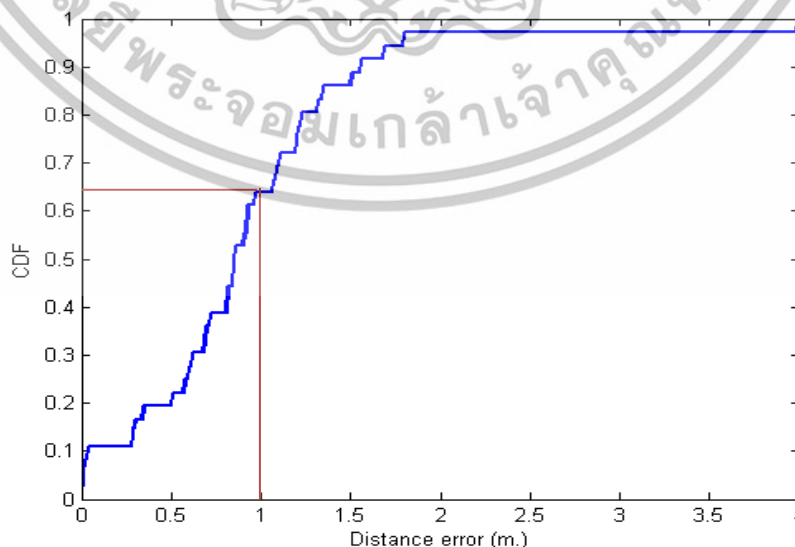
และหลังการปรับปรุงอัลกอริทึมมีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.55 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.5 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.1 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.85 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการออปติไมซ์ เมื่อ $g=2.5$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์ เมื่อกำหนดแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 3$

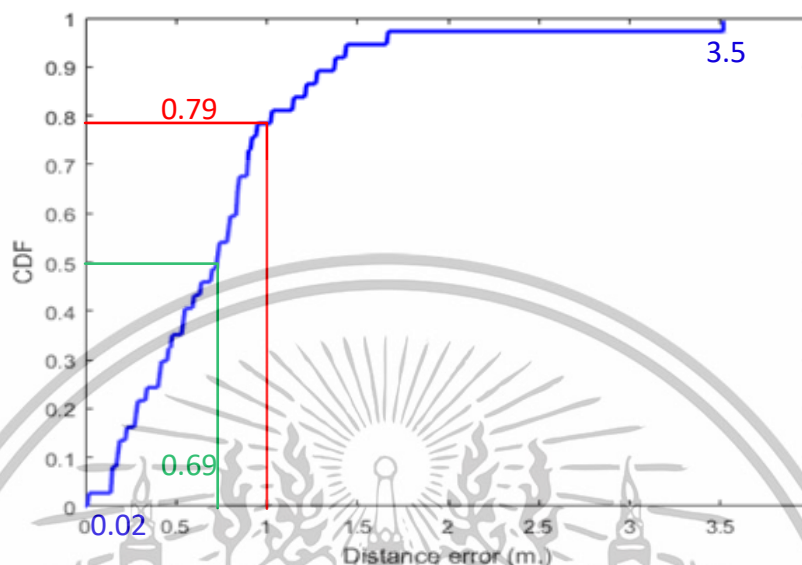
ก่อนการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.8 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.63 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการออปติไมซ์ เมื่อ $g=3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

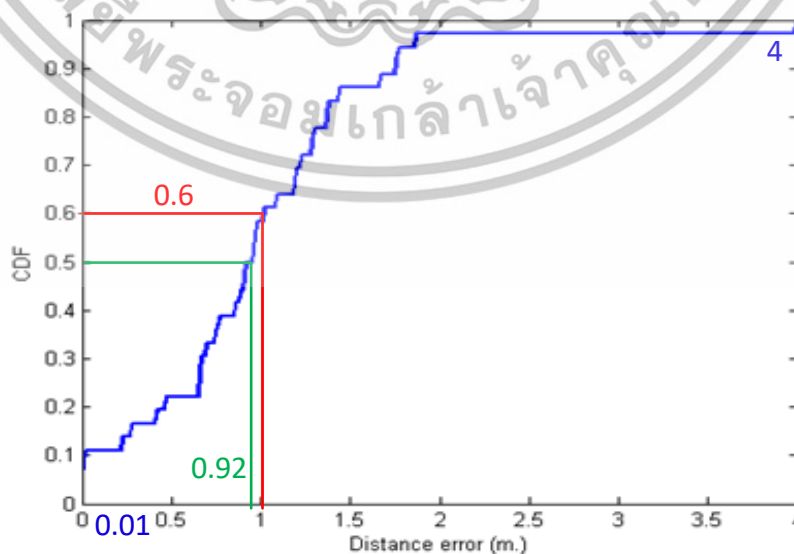
และหลังการออปติไมซ์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.69 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.55 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.02 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.79 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการออปติไมซ์ เมื่อ $g=3$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.17 และ 5.18 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์เมื่อกำหนดแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 3.5$

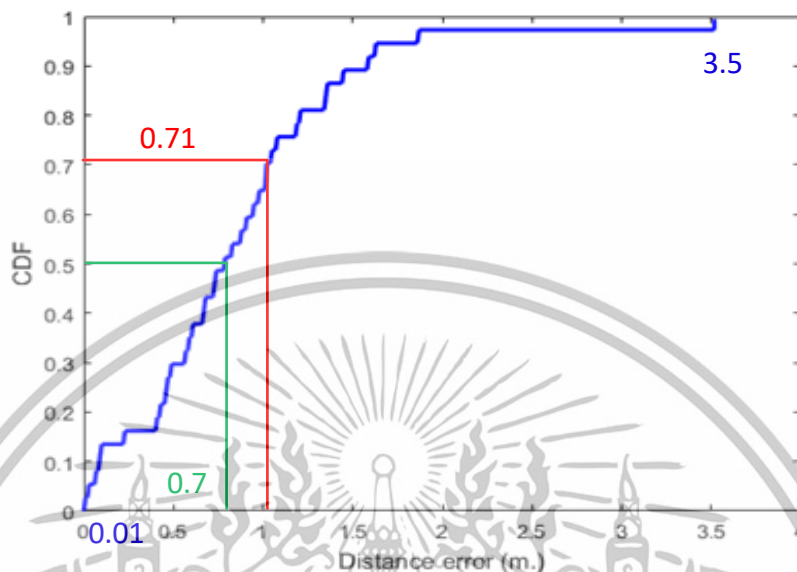
ก่อนการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.6 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.92 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการออปติไมซ์ เมื่อ $g=3.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

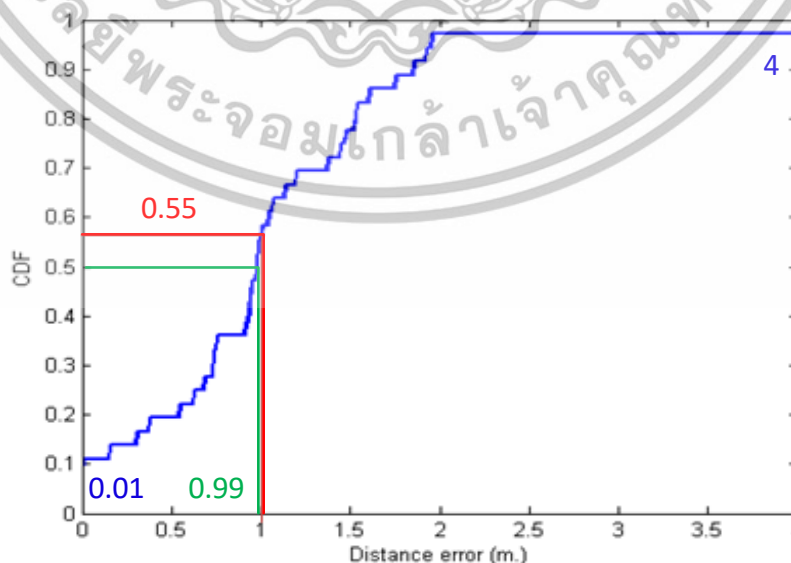
และหลังการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.7 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.5 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.71 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการออปติไมซ์ เมื่อ $g=3.5$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.19 และ 5.20 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการออปติไมซ์กับผลการทดลองหลังการออปติไมซ์เมื่อกำหนดแพกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 4$

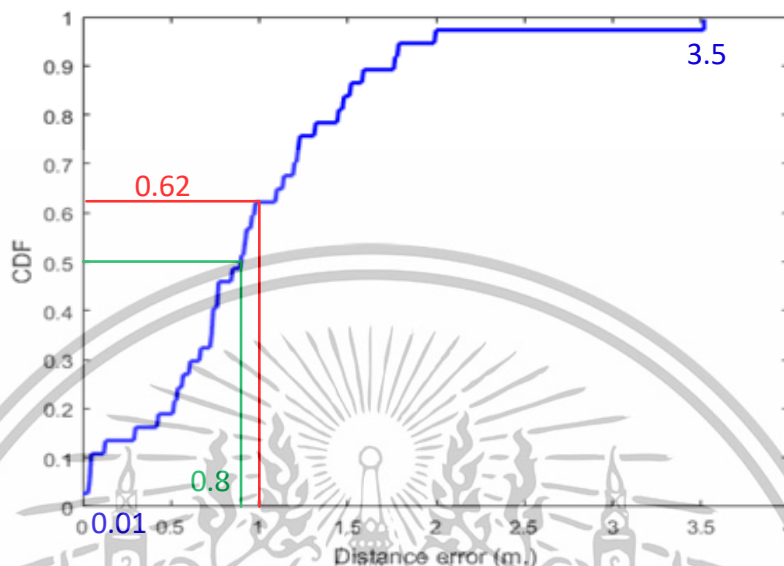
ก่อนการออปติไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.99 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.55 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการออปติไมซ์ เมื่อ $g=4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

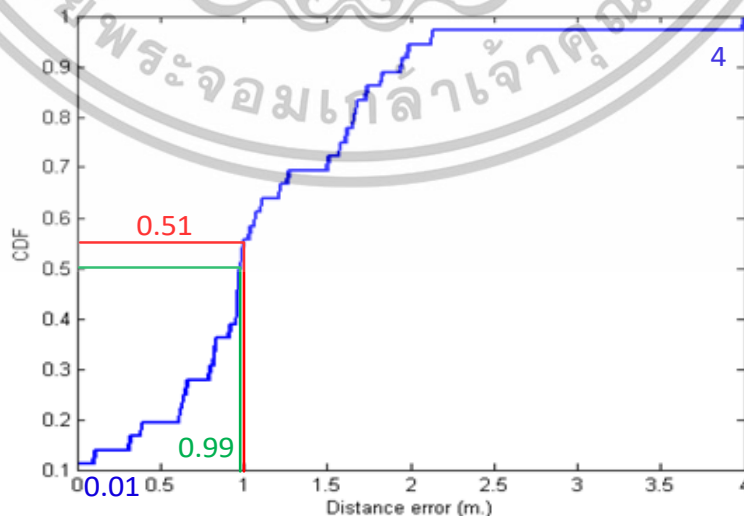
และหลังการอุปที่ไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.8 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.5 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.62 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอุปที่ไมซ์ เมื่อ $g=4$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.21 และ 5.22 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการอุปที่ไมซ์กับผลการทดลองหลังการอุปที่ไมซ์เมื่อกำหนดแพ็คเกจวงน้ำหนัก $g = 4.5$

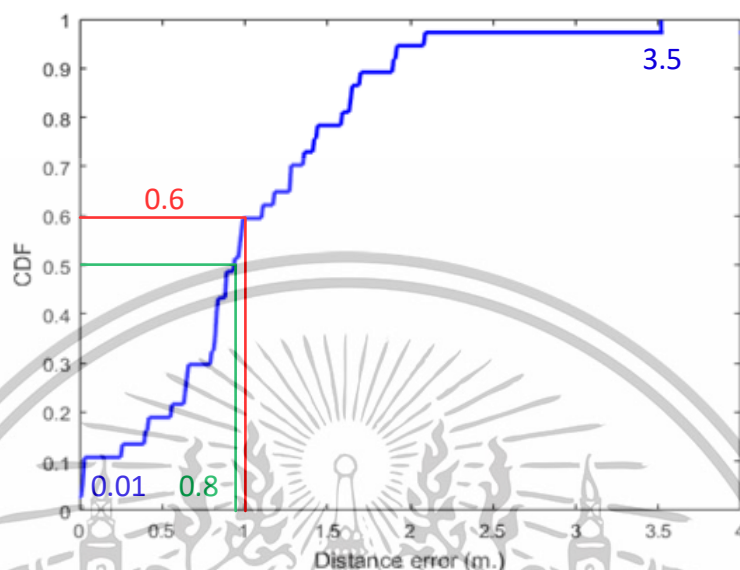
ก่อนการอุปที่ไมซ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.99 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.51 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอุปที่ไมซ์ เมื่อ $g=4.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

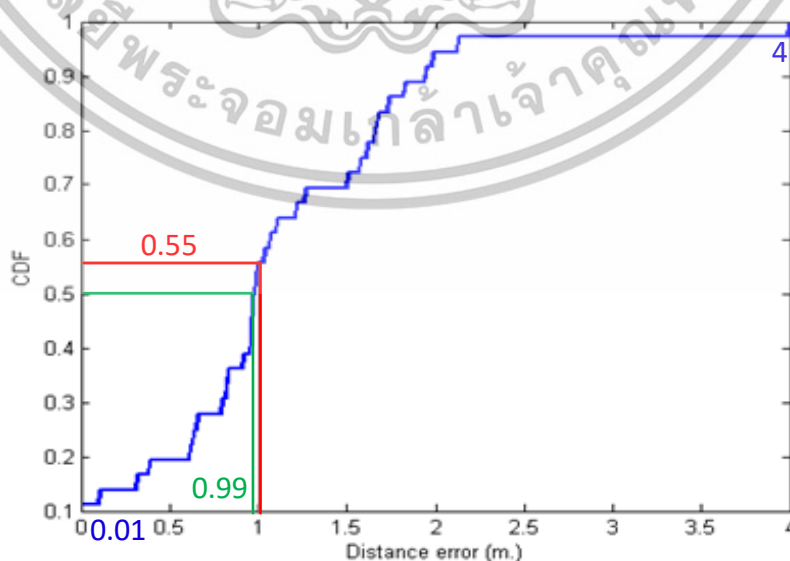
และหลังการอุปถัมภ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.8 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.5 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.6 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอุปถัมภ์ เมื่อ $g=4.5$

ผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.23 และ 5.24 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนการอุปถัมภ์กับผลการทดลองหลังการอุปถัมภ์ เมื่อกำหนดแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก $g = 5$

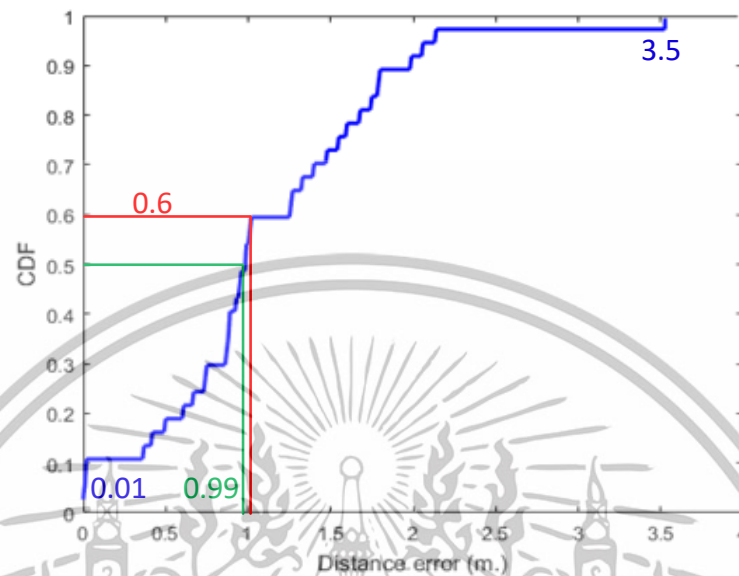
ก่อนการอุปถัมภ์มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.99 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 4 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.55 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางก่อนการอุปถัมภ์ เมื่อ $g=5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทช. สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหลังการอปทิมซ์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของระยะทางคือ 0.99 เมตร ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดคือ 3.5 เมตร ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.01 เมตร ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.6 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 ฟังก์ชัน CDF แสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางหลังการอปทิมซ์ เมื่อ $\sigma=5$

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีในช่วงความถี่ 2.4 GHz ถึง 2.48 GHz โดยนำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำ ในการหาตำแหน่งได้วิเคราะห์ด้วยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนและหลังปรับปรุง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองของระยะทางผิดพลาด จากพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการวัดภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาที่ปราศจากสิ่งกีดขวางใดๆ จากผลการทดลองวิจัยเมื่อนำอุปกรณ์มาใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร จะพิจารณาค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด ค่าน้อยที่สุด และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึม

ค่าการถ่วงน้ำหนัก (g)	อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์				ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร
	การปรับปรุง	ค่าเฉลี่ย	มากที่สุด	น้อยที่สุด	
$g=0.5$	ก่อน	1.89	4	0.32	0.11
	หลัง	1.59	3.6	0.6	0.2
$g=1$	ก่อน	1.22	4	0.13	0.41
	หลัง	1	3.6	0.14	0.5
$g=1.5$	ก่อน	0.78	4	0.21	0.75
	หลัง	0.7	3.55	0.4	0.78
$g=2$	ก่อน	0.72	4	0.05	0.62
	หลัง	0.55	3.55	0.2	0.99
$g=2.5$	ก่อน	0.76	4	0.01	0.77
	หลัง	0.55	3.55	0.1	0.85
$g=3$	ก่อน	0.86	4	0.01	0.63
	หลัง	0.69	3.55	0.02	0.79
$g=3.5$	ก่อน	0.92	4	0.01	0.60
	หลัง	0.7	3.55	0.01	0.71
$g=4$	ก่อน	0.99	4	0.01	0.55
	หลัง	0.8	3.55	0.01	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 (ต่อ)

$g = 4.5$	ก่อน	0.99	4	0.01	0.55
	หลัง	0.8	3.55	0.01	0.6
$g = 5$	ก่อน	0.99	4	0.01	0.55
	หลัง	0.99	3.5	0.01	0.6

จากตารางที่ 6.1 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาค่าตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยพิจารณาค่า g เป็นสำคัญ ที่เป็นค่าในการถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาค่าตำแหน่งและต้องเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลให้ความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด จากผลการทดลองได้กำหนดค่า g ทั้งหมด 10 ค่า จะเห็นได้ว่าผลการทดลองก่อนการปรับปรุง (26) พบว่าค่าเฉลี่ยและค่าน้อยที่สุดของความผิดพลาดระยะทางจะไม่คงที่ ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดจะอยู่ที่ระยะทาง 4 เมตร ซึ่งในตารางจะปรากฏอยู่ในทุกระดับของการถ่วงน้ำหนักหาค่าตำแหน่ง มิฉะนั้นจึงได้ค่าการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระดับที่ $g = 2$ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย 0.72 เมตร ค่ามากที่สุด 4 เมตร ค่าน้อยที่สุด 0.05 เมตร และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.75 ในทางกลับกันผลการทดลองหลังการปรับปรุงเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยระยะทางความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่าผลการทดลองก่อนการปรับปรุง ซึ่งค่า g ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดค่าระยะทางความผิดพลาดน้อยที่สุด อยู่ที่ $g = 2$ ที่มีค่าเฉลี่ยระยะทางความผิดพลาดอยู่ที่ 0.55 เมตร และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร คือ 0.99

6.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประเมินผลการหาค่าตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาหรือภายในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของใดๆ ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง ซึ่งจะเป็นแนวทางการวิจัยในอนาคตที่จะทำการทดลองประเมินผลประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาค่าตำแหน่งภายในอาคารด้วยสภาวะที่มองไม่เห็นด้วยระดับสายตา (Non line of sight) และในสภาวะแวดล้อมที่มีวัตถุหรือสิ่งของอยู่ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมในการหาค่าพิกัดตำแหน่งในปัจจุบันยังไม่สามารถให้ผลได้อย่างแม่นยำจนเป็นที่น่าพอใจได้มากนัก แต่ผลจากการนำอัลกอริทึมในการหาพิกัดตำแหน่งมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีทำให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน ซึ่งประเด็นหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการใช้งานก็คือการที่สามารถนำอุปกรณ์มาใช้งานได้สะดวกและสามารถออกแบบระบบได้อย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ได้มีการติดตั้งฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็นต่างๆ ภายใต้โปรโตคอลไว้เรียบร้อยแล้ว อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักทั้งสองอัลกอริทึมเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เพื่อการหาพิกัดตำแหน่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อันเนื่องมาจากความที่ไม่ซับซ้อนสามารถทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็วและใช้ทรัพยากรน้อย ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้ใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีจำนวนสี่อันซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในการหาค่าตำแหน่งด้วยอัลกอริทึมทั้งสองแบบ โดยหากเพิ่มจำนวนอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพในการหาค่าตำแหน่ง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] K. Pahlavan, X Li, and J. Makela, "Indoor Grolocation Science and Technology IEEE Communication Magazine, vol. 40 no. 2, pp. 112-118, Feb., 2002.
- [2] M. Suano and T. Kawzoe, "Indoor localization system using RSSI Measurement of wireless sensor network base on ZigBee standard," 6th LA STED International Conference on Wireless and Optical Communications Banff, pp. 503-508, Jul. 2006.
- [3] E. Evennou and E. Marx, "Advanced Integration of WIFI and Inertial Navigation Systems for Indoor Mobile Positioning," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2006, pp. 164-174, 2006.
- [4] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golatowski and D Timmermann, "Weighted Centroid Localization in ZigBee-base sensor network," International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP '07), pp. 1-6, Oct., 2007.
- [5] R. Want, A. Hopper, V. Falcao and J. Gibbons "The active badge location system," ACM Transactions on Information Systems. vol. 40, pp. 91-102, Jan., 1992.
- [6] J. Thohgkam, "Wireless Sensor Network Localization in an Indoor Environment," King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, Mar., 2014.
- [7] H. Liu, H. Darabi, P Banerjee, and E. Cayirci, "A survey of wireless indoor positioning techiques and systems," IEEE Transactions, voi. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov., 2007.
- [8] J. Blumenthal, F. Reichenbach and D. Timmermann, "Position Estimation in Ad-hoc Wireless Sensor Network with Low Complexity." In Joint 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication and 1st Ultra- Widedand Expert Talk, pp. 41-49, Mar., 2005.
- [9] P. Kristalina, W. Wirawan and G. Hendranto, "Improved Range-free Localization Methods for Wireless Sensor Netwirk," International Conference on Electrical Engineering and Information (ICEEI), pp. 15, Jul., 2011.
- [10] S. Schwarzer, M. Vossiek, M Pichler, A. Stelzer, "Precise Distance Measurement with IEEE 802.15.4 (Zigbee) Devices", Radio and Wireless Symposium IEEE, pp.779-782, Jan., 2008.
- [11] Y. Chen, Q. Pan, Y. Liag and Z. Hu, "Adaptive Weight Centroid Target Localization Algorrithm Based on RSSI in WAN," Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 3rd IEEE Internationnal Conference, pp.331-336. Jul., 2010.
- [12] P. Bahi and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," in Proc. 19th IEEE INFOCOM, vol. 2, pp775-784, 2000.
- [13] Y. Jie and C. Yingying, "In door Localization Using Improved RSS-Based Latertion Methodes," IEEE "GLOBECOM", 2009.

- [14] S. Schuhmann, K. Herrmann, K. Rothermel, J. Blumenthal and D. Timmermann, "Improved Weighted Centroid Localization in Smart Ubiquitous Environments," Ubiquitous intelligence and computing, pp. 20-34, 2008.
- [15] C. Laureneau and M. Barbeau, "Relative span weighted localization of uncooperative nodes in wireless network," International conference WASA, pp. 358-367, Aug., 2009.
- [16] J. Blumenthal, F. Reichenbach and D. Timmermann, "Position Estimation in Ad-hoc Wireless Sensor Networks with Low Complexity," In Joint 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication and 1st Ultra- Wideband Expert Talk, pp. 41-49, Mar., 2008.
- [17] K. Langendoen and N. Reijers, "Distributed localization in wireless sensor network: a quantitative comparison," Elsevier, 2003.
- [18] P. Bahi and V. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF- Based User Location and Tracking system," IEEE INFOCOM. Vol. 2. pp. 775-784, Mar., 2000.
- [19] K. Keamrungrasri and P. Krishnamurthy, "Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting," IEEE INFOCOM. vol. 2, pp. 1012-1022, Mar., 2004
- [20] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, Ultra-Wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, and Protocols, Cambridge Univ. Press, 2008.
- [21] L. Tan, F. Luo, K. Liu, "Weighted centroid localization algorithm in wireless sensor", IET International Communication Conference, 2011.
- [22] L. XUI, K. Wang, Y. Jiang, F. Yang, Y. Du, Q. Li "A Study on 2D and 3D Weighted Centroid Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks", 3rd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC 2011), 2011.
- [23] P. Pivato, L. Palopoli, D. Petri, "Accuracy of RSS-Based Centroid Localization Algorithms in an Indoor Environment," IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, VOL. 60, October., 2011.
- [24] J. Thongkarn, J. Sangthong, P. Supanakoon and S. Promwong, "Evaluation of Wireless Sensor Network with Weighted Centroid Localization Algorithm Based on Measurement Data," 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), Thailand Nov., 2012.
- [25] K. Torat and S. Promwong, "Extension of Quadratic Mean for Weighted Centroid Localization with ZigBee Technology," 2017 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Thailand, Nov., 2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานที่ได้นำเสนอการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] K. Torat and S. Promwong, "Extension of Quadratic Mean for Weighted Centroid Localization with ZigBee Technology," 2017 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Thailand, Nov, 2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลของหาตำแหน่งภายในอาคาร
โดยใช้อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี

1.ตารางแสดงการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัว

1.1 ตารางการเก็บแสดงข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงที่ 1

ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากโหนดอ้างอิงที่ 1 (ตั้งไว้ที่พิกัด 0,0) ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ตามแบบจำลองการวัด แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การวัดค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 1

ตำแหน่ง ที่	จำนวนครั้งในการวัด (dBm)										เฉลี่ย (dBm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,0	-27	-27	-26	-27	-27	-26	-27	-27	-26	-27	-26.7
0,1	-34	-34	-32	-32	-34	-33	-32	-34	-33	-32	-33.0
0,2	-38	-37	-38	-38	-38	-37	-38	-38	-37	-38	-37.7
0,3	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-37	-38	-37	-37	-37.6
0,4	-42	-41	-41	-42	-42	-42	-42	-41	-41	-42	-41.6
0,5	-47	-46	-46	-45	-46	-46	-46	-47	-46	-46	-46.1
1,0	-34	-34	-35	-35	-35	-34	-35	-35	-34	-35	-34.6
1,1	-34	-34	-35	-35	-35	-35	-34	-34	-35	-35	-34.6
1,2	-36	-36	-36	-37	-36	-37	-36	-36	-37	-37	-36.4
1,3	-40	-40	-38	-39	-38	-41	-40	-40	-41	-39	-39.6
1,4	-41	-40	-40	-40	-41	-40	-40	-39	-40	-40	-40.1
1,5	-42	-42	-42	-41	-41	-41	-42	-41	-41	-41	-41.4
2,0	-41	-40	-40	-40	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40.3
2,1	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35	-35	-35.6
2,2	-38	-37	-38	-39	-38	-39	-38	-38	-37	-38	-38.0
2,3	-42	-41	-42	-42	-41	-42	-41	-42	-42	-41	-41.6
2,4	-40	-40	-39	-41	-39	-41	-40	-39	-40	-41	-40.0
2,5	-47	-48	-47	-47	-47	-48	-48	-47	-47	-48	-47.4
3,0	-40	-39	-39	-38	-39	-38	-39	-39	-38	-39	-38.8
3,1	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-40	-40	-40	-40.4
3,2	-40	-41	-41	-40	-41	-41	-40	-41	-41	-41	-40.7
3,3	-43	-41	-40	-41	-43	-42	-42	-40	-43	-40	-41.5
3,4	-41	-40	-41	-41	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-40.7
3,5	-42	-41	-41	-42	-42	-45	-45	-44	-43	-44	-42.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4,0	-39	-40	-40	-40	-39	-41	-40	-42	-42	-41	-40.4
4,1	-41	-42	-42	-42	-43	-40	-42	-41	-42	-42	-41.7
4,2	-42	-41	-41	-42	-42	-41	-42	-42	-41	-42	-41.6
4,3	-42	-43	-43	-43	-43	-42	-43	-42	-43	-43	-42.7
4,4	-43	-43	-44	-46	-45	-44	-44	-47	-47	-47	-45.0
4,5	-51	-52	-52	-51	-51	-56	-55	-56	-56	-56	-53.6
5,0	-48	-46	-45	-45	-46	-45	-46	-47	-46	-46	-46.0
5,1	-44	-46	-45	-46	-45	-44	-45	-45	-46	-45	-45.1
5,2	-43	-44	-45	-44	-44	-44	-43	-43	-43	-43	-43.6
5,3	-44	-44	-45	-44	-44	-43	-42	-42	-42	-42	-43.2
5,4	-46	-47	-45	-46	-46	-46	-46	-45	-44	-46	-45.7
5,5	-56	-57	-55	-57	-55	-56	-57	-56	-55	-57	-56.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 2

ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากโหนดอ้างอิงที่ 2 (ตั้งไว้ที่พิกัด 5,0) ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ตามแบบจำลองการวัด แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 การวัดค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 2

ตำแหน่ง ที่	จำนวนครั้งในการวัด (dBm)										เฉลี่ย (dBm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,0	-46	-46	-46	-45	-45	-44	-44	-45	-44	-44	-44.9
0,1	-47	-47	-45	-45	-45	-47	-47	-47	-46	-47	-46.3
0,2	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-45	-44	-44.3
0,3	-45	-45	-46	-47	-46	-45	-46	-46	-46	-46	-45.8
0,4	-47	-48	-49	-47	-47	-51	-51	-51	-51	-51	-49.3
0,5	-50	-51	-51	-52	-52	-49	-48	-48	-49	-48	-49.8
1,0	-43	-43	-42	-43	-43	-44	-45	-45	-45	-45	-43.8
1,1	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-43	-44	-43	-43	-43.9
1,2	-44	-44	-44	-43	-44	-44	-44	-43	-45	-44	-43.9
1,3	-44	-44	-44	-43	-44	-43	-44	-45	-44	-44	-43.9
1,4	-49	-50	-49	-48	-48	-45	-45	-45	-45	-45	-46.9
1,5	-50	-51	-51	-51	-51	-51	-50	-50	-50	-51	-50.6
2,0	-41	-40	-41	-43	-41	-41	-40	-41	-40	-40	-40.8
2,1	-41	-40	-41	-41	-40	-41	-40	-41	-41	-41	-40.7
2,2	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-42	-42	-42	-41.4
2,3	-46	-45	-45	-44	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44.6
2,4	-43	-43	-43	-43	-44	-43	-43	-43	-43	-43	-43.1
2,5	-48	-47	-47	-47	-48	-47	-47	-47	-46	-46	-47.0
3,0	-38	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-39	-39	-38.7
3,1	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-38	-39	-38	-38.4
3,2	-41	-40	-41	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-40.6
3,3	-42	-42	-43	-42	-43	-43	-43	-43	-40	-43	-42.4
3,4	-43	-43	-41	-41	-43	-45	-46	-46	-46	-46	-44.0
3,5	-46	-46	-46	-46	-45	-44	-45	-46	-45	-45	-45.4
4,0	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-33	-35	-34	-34	-34.0
4,1	-35	-35	-35	-35	-36	-36	-35	-35	-36	-36	-35.4
4,2	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38.3
4,3	-42	-41	-41	-41	-42	-41	-42	-41	-41	-41	-41.3
4,4	-45	-46	-46	-45	-46	-44	-45	-45	-44	-44	-45.0
4,5	-44	-44	-44	-45	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5,0	-26	-26	-26	-26	-27	-27	-25	-25	-26	-26	-26.0
5,1	-32	-31	-32	-32	-32	-32	-32	-33	-33	-33	-32.2
5,2	-36	-36	-36	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-36.7
5,3	-40	-40	-40	-41	-41	-40	-41	-40	-40	-40	-40.3
5,4	-40	-41	-40	-40	-40	-41	-40	-41	-41	-41	-40.5
5,5	-42	-42	-42	-42	-41	-42	-40	-41	-40	-40	-41.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 3

ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากโหนดอ้างอิงที่ 3 (ตั้งไว้ที่พิกัด 0,5) ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ตามแบบจำลองการวัด แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 การวัดค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 3

ตำแหน่ง ที่	จำนวนครั้งในการวัด (dBm)										เฉลี่ย (dBm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,0	-42	-42	-42	-43	-43	-43	-43	-43	-42	-43	-42.6
0,1	-42	-41	-42	-42	-42	-41	-42	-41	-41	-42	-41.6
0,2	-40	-42	-42	-41	-40	-40	-40	-41	-40	-40	-40.6
0,3	-37	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-38	-37	-37.4
0,4	-31	-31	-32	-32	-32	-32	-31	-32	-32	-32	-31.7
0,5	-26	-26	-27	-27	-26	-26	-27	-26	-27	-27	-26.5
1,0	-46	-45	-45	-46	-46	-42	-42	-42	-42	-42	-34.6
1,1	-40	-40	-41	-41	-40	-41	-42	-41	-41	-41	-40.8
1,2	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-40.4
1,3	-37	-37	-37	-38	-38	-37	-38	-38	-37	-38	-37.5
1,4	-35	-35	-35	-33	-33	-34	-33	-35	-35	-34	-34.2
1,5	-35	-35	-34	-34	-33	-33	-35	-32	-33	-33	-33.7
2,0	-44	-45	-44	-45	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44.4
2,1	-41	-42	-42	-42	-43	-42	-42	-43	-43	-43	-42.3
2,2	-42	-42	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41	-40	-40.6
2,3	-39	-38	-38	-38	-39	-38	-38	-39	-38	-38	-38.3
2,4	-40	-40	-40	-39	-39	-40	-40	-39	-40	-40	-39.7
2,5	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-38.4
3,0	-44	-45	-44	-45	-44	-45	-46	-45	-46	-45	-44.9
3,1	-46	-45	-45	-45	-46	-45	-45	-44	-44	-45	-45
3,2	-46	-45	-45	-45	-46	-44	-44	-44	-44	-44	-44.7
3,3	-41	-40	-41	-42	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-40.7
3,4	-40	-40	-41	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-40.5
3,5	-41	-41	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-41.8
4,0	-45	-50	-46	-45	-50	-53	-52	-52	-53	-53	-49.9
4,1	-49	-49	-49	-48	-49	-49	-48	-48	-48	-49	-48.6
4,2	-43	-44	-44	-43	-43	-44	-44	-43	-44	-43	-43.5
4,3	-46	-45	-46	-46	-46	-45	-45	-45	-45	-45	-45.4
4,4	-40	-40	-42	-42	-42	-42	-41	-42	-42	-42	-41.5
4,5	-41	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-41	-41	-40	-40.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5,0	-55	-55	-53	-53	-53	-56	-55	-55	-55	-55	-54.5
5,1	-47	-48	-47	-48	-48	-48	-47	-47	-48	-47	-47.5
5,2	-45	-45	-44	-44	-44	-45	-44	-44	-44	-44	-44.3
5,3	-46	-46	-45	-45	-46	-45	-43	-45	-43	-43	-44.7
5,4	-47	-46	-45	-45	-46	-45	-46	-46	-46	-46	-45.8
5,5	-43	-42	-43	-43	-42	-42	-42	-43	-43	-42	-42.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 4

ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากโหนดอ้างอิงที่ 4 (ตั้งไว้ที่พิกัด 5,5) ทั้งหมด 36 ตำแหน่ง ตามแบบจำลองการวัด แสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 การวัดค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 4

ตำแหน่ง ที่	จำนวนครั้งในการวัด (dBm)										เฉลี่ย (dBm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,0	-52	-52	-52	-53	-53	-52	-51	-51	-51	-51	-51.8
0,1	-55	-55	-54	-55	-54	-56	-55	-55	-55	-55	-54.9
0,2	-52	-52	-51	-52	-51	-51	-52	-51	-51	-51	-51.4
0,3	-50	-51	-51	-51	-50	-50	-50	-50	-51	-50	-50.4
0,4	-49	-50	-49	-49	-49	-50	-50	-50	-49	-49	-49.4
0,5	-45	-45	-46	-46	-46	-46	-45	-45	-45	-45	-45.4
1,0	-53	-52	-51	-51	-52	-49	-50	-49	-50	-50	-50.7
1,1	-47	-47	-47	-47	-48	-47	-47	-47	-47	-48	-47.2
1,2	-46	-46	-45	-45	-45	-46	-46	-46	-46	-46	-45.7
1,3	-46	-46	-46	-46	-46	-45	-45	-46	-46	-45	-45.7
1,4	-45	-46	-47	-47	-46	-47	-46	-46	-46	-47	-46.3
1,5	-45	-45	-45	-46	-46	-44	-45	-45	-45	-45	-45.1
2,0	-48	-48	-49	-49	-49	-52	-51	-51	-52	-52	-50.1
2,1	-45	-46	-47	-47	-47	-48	-47	-48	-48	-48	-47.1
2,2	-46	-45	-46	-45	-46	-47	-45	-45	-45	-46	-45.6
2,3	-45	-47	-47	-47	-45	-45	-46	-45	-45	-45	-45.7
2,4	-45	-45	-45	-45	-44	-44	-44	-45	-45	-45	-44.7
2,5	-42	-42	-43	-43	-43	-44	-43	-44	-42	-44	-43
3,0	-48	-47	-48	-48	-48	-47	-47	-48	-47	-47	-47.5
3,1	-49	-49	-48	-48	-48	-46	-46	-46	-46	-45	-47.1
3,2	-44	-47	-44	-40	-44	-44	-41	-44	-43	-43	-43.4
3,3	-41	-41	-41	-42	-41	-42	-42	-41	-41	-42	-41.4
3,4	-42	-41	-41	-43	-43	-41	-42	-41	-42	-42	-41.8
3,5	-41	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-42	-42	-41	-41
4,0	-49	-48	-48	-48	-49	-46	-47	-48	-49	-47	-47.9
4,1	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-44	-44	-44.8
4,2	-44	-43	-44	-43	-44	-44	-43	-44	-44	-44	-43.7
4,3	-41	-41	-41	-41	-42	-41	-42	-41	-41	-41	-51.8
4,4	-38	-39	-38	-39	-3	-38	-38	-38	-38	-38	-34.7
4,5	-38	-38	-39	-38	-38	-37	-39	-37	-39	-37	-38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5,0	-46	-46	-47	-45	-45	-45	-46	-47	-46	-46	-45.9
5,1	-44	-44	-48	-44	-48	-44	-44	-48	-44	-44	-45.2
5,2	-44	-45	-44	-44	-45	-44	-44	-45	-44	-44	-44.3
5,3	-41	-40	-40	-40	-40	-41	-40	-40	-40	-41	-40.3
5,4	-36	-37	-36	-36	-36	-35	-36	-36	-35	-36	-35.9
5,5	-28	-27	-27	-28	-28	-27	-27	-27	-28	-27	-27.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายกันตภณ ไตรรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด 18 มกราคม 2528
ที่อยู่ บ้านเลขที่ 57 หมู่ที่ 9 บ้านห้วยคา ตำบลในเมือง อำเภอพิชัย
จังหวัดอุตรดิตถ์ 53120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2553-2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
พ.ศ. 2557-2561 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรซ่อมบำรุง สายงานซ่อมบำรุงระบบคอมพิวเตอร์และเสกาด้า รถไฟฟ้าสายสีม่วง
บริษัท เอสที อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด
เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2559-2560 ตำแหน่งวิศวกรโครงการ สายงานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
บริษัท หัวเหว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2558-2559 ตำแหน่งวิศวกร สายงานระบบออกอากาศวิทยุและโทรทัศน์
บริษัท สปริงนิวส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2550-2558 ตำแหน่งช่างซ่อมบำรุง สายงานซ่อมบำรุงอาคารสูง
บริษัท น้ำมันปิโตรเลียมไทย จำกัด
เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้