

การจำลองและการวัดของการหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
5.8 GHz สภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

MEASUREMENT AND MODELING OF 5.8 GHz WLAN LOCALIZATION
IN AN INDOOR ENVIRONMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-029-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MEASUREMENT AND MODELING OF 5.8 GHz WLAN LOCALIZATION
IN AN INDOOR ENVIRONMENT



THANADON MANKONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-029-040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองและการวัดของหาตำแหน่งโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 5.8 GHz ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
นักศึกษา	นายธนดนัย มั่นคง
รหัสนักศึกษา	62601096
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

การสื่อสารแบบไร้สายมีบทบาทสำคัญอย่างมากในปัจจุบันนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายถูกนำมาประยุกต์ในรูปแบบต่าง ๆ อย่างเช่นการประยุกต์ใช้สำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารอย่างไรก็ตามปัจจัยของสภาวะแวดล้อมภายในอาคารส่งผลต่อความแม่นยำที่จะลดลงและความผิดพลาดของระยะทางที่สูงขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาและประเมินผลด้วยเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 5.8 GHz สำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยได้นำเสนอวิธีการลดความผิดพลาดของระยะทางให้น้อยที่สุดซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้งานจริง สำหรับการศึกษาทดลองวิจัยได้ทำการประเมินผลการหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดยได้พิจารณาหลักการวิเคราะห์ของการสูญเสียเชิงวิถีและความแรงของสัญญาณที่รับได้และได้เปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์สามารถทำการลดค่าความผิดพลาดของระยะทางได้ดีกว่าและเพิ่มความแม่นยำมากกว่า 10% เมื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ เพราะฉะนั้นวิธีการที่ได้นำเสนอของวิทยานิพนธ์นี้มีประโยชน์และเป็นแนวทางในการเพิ่มความแม่นยำของการหาตำแหน่งและลดปัญหาการผิดพลาดของระยะทางที่มีผลมาจากแบบรูปของสายอากาศ และเปลี่ยนแปลงทางเวลาในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Measurement and Modeling of 5.8 GHz Wireless Local Area Network in an Indoor Environment
Student	Mr. Thanadon Mankong
Student ID.	62601096
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst.Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

The wireless communications very important in the role of the short-range wireless communication systems, especially for, an indoor localization. However, the factors of the indoor environment are to be caused to reduce the precision and also increase the error of distance. Therefore, this dissertation studies an evaluation of the wireless local area network (WLAN) at 5.8 GHz for the indoor localization. The proposed methods are significant to reduce the error of distance and easy to analyze in an implementation. In the experiment, the evaluated of wireless local area network in an indoor localization has been verified under theoretical and analytical of a path loss, and the received signal strength (RSS) are parameters. This dissertation proposes weighted centroid localization algorithm and relative span weighted exponentially localization algorithm. The contributions found that the proposed of relative span weighted exponentially localization algorithm can be reduced the error of distance as the best and given more accuracy 10% 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 antenna pattern the time-varying within indoor environment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ เนื่องจากการอนุเคราะห์ อบรมสั่งสอน ชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับงานวิจัย ตลอดจนความห่วงใยที่คอยสอบถามปัญหาของงานวิจัย ผู้เขียนมีความซาบซึ้งใจต่ออาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาการสอบวิทยานิพนธ์ และได้แนะนำสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

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

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของ บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้ที่สนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีเหล่านั้นขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธนตย์ มั่นคง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 แบบแผนของการศึกษาวิจัย.....	5
บทที่ 2 โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและเทคนิคการหาตำแหน่ง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย	6
2.2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	6
2.2.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่เลือกใช้.....	9
2.2.3 การทำงานของชั้นกายภาพ (Physical layer) และชั้นควบคุมการเข้าถึง (MAC layers).....	10
2.2.4 โทโปโลยีของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN Topology).....	10
2.2.5 ชั้นโครงข่าย (Network layer)	11
2.3 รูปแบบของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	12
2.3.1 ลักษณะของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	13
2.3.2 หน่วยร่วมโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	13
2.3.3 การพิจารณาระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	14
2.4 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง.....	15
2.4.2 ประเภทของระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร.....	19
บทที่ 3 การวิเคราะห์ระยะทางความผิดพลาดของหาตำแหน่ง.....	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	20
3.2.1 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ (Received signal strength: RSS).....	20
3.3 หลักการวิเคราะห์ความแม่นยำของการหาตำแหน่ง	21
3.3.1 อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Weighted centroid localization algorithm: WCL).....	22
3.3.2 อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ (Relative span exponential weighted localization algorithm: REWL).....	23
3.4 การประเมินผลความผิดพลาดของระยะทาง.....	24
บทที่ 4 การศึกษาทดลองวิจัย.....	26
4.1 บทนำ.....	26
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด.....	26
4.3 การตั้งค่าอุปกรณ์.....	27
4.4 แบบจำลองการวัดสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร.....	29
บทที่ 5 ผลการศึกษาทดลองวิจัย.....	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ผลการทดลองวัดจริง.....	34
5.3 ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	36
5.3.1 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์.....	36
5.3.2 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 ผลการเปรียบเทียบของความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ของความผิดพลาดของระยะทาง.....	40
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	50
ภาคผนวก ข. ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลของหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz.....	56
ประวัติผู้เขียน.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีแบบไร้สายชนิดต่าง ๆ.....	7
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดในการหาตำแหน่ง.....	29
5.1 ตัวอย่างความผิดพลาดระยะทางโดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งจากการประมาณค่ารูปแบบ สำหรับ 4 โหนด.....	41
5.2 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz สำหรับ 4 โหนด.....	41
6.1 ผลจากการประมาณค่าสำหรับทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซน ทรอยด์.....	44
6.2 ผลจากประมาณค่าสำหรับการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลัง ขอบเขตสัมพัทธ์.....	43
6.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองวิจัยความผิดพลาดของระยะทางโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ความถี่ 5.8 GHz สำหรับ 4 โหนดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การประยุกต์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการหาตำแหน่งสถานะแวดล้อมภายในอาคาร.....	4
1.2	แบบแผนของการวิจัย.....	4
2.1	ความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	7
2.2	รูปแบบของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	8
2.3	ตัวอย่างอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	9
2.4	ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบดาวในโครงข่ายไร้สาย.....	10
2.5	รูปแบบการเชื่อมโยงระดับเดียวไร้สาย.....	11
2.6	รายละเอียดของของแพ็คเกจขนาด.....	11
2.7	แบบจำลองโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	12
2.8	ส่วนประกอบของหน่วยรวมเซ็นเซอร์.....	13
2.9	ระดับชั้นโปรโตคอลของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	14
2.10	เทคนิคการระบุตำแหน่ง.....	
	(a) การระบุตำแหน่งโดยตรง.....	16
	(b) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน.....	16
2.11	การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ.....	17
2.12	การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ.....	17
2.13	การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดทิศทางการมาถึงของสัญญาณ.....	18
2.14	การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ.....	19
3.1	การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (WCL).....	23
3.2	การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังสัมพัทธ์ (REWL).....	24
4.1	ขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	27
4.2	อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	27
4.3	คอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมโยงอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	28
4.4	โครงข่ายแบบดาวในการระบุตำแหน่ง.....	29
4.5	การวัดจริงของการหาตำแหน่งสถานะแวดล้อมภายในอาคาร.....	30
4.6	แบบจำลองการวัด และการเตรียมการวัด.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1	ขั้นตอนการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทาง..... 33
5.2	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 1 (Tx1)..... 34
5.3	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 2 (Tx2)..... 34
5.4	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 3 (Tx3)..... 35
5.5	ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 4 (Tx4)..... 35
5.6	ตัวอย่างในการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทางในรูปกราฟคอนทัวร์ของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....
	(a) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ..... 36
	(b) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ..... 37
5.7	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์..... 37
5.8	ตัวอย่างในการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทางในรูปกราฟคอนทัวร์ของความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....
	(a) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ..... 38
	(b) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ..... 39
5.9	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ..... 39
5.10	การเปรียบเทียบ CDF ของความผิดพลาดระยะทางระหว่างการหาตำแหน่งด้วยการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ และการหาตำแหน่งด้วยการถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์..... 40
6.1	โครงข่ายการสื่อสารไร้สายภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง LOS และ NLOS..... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารไร้สายระยะใกล้ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและได้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตมนุษย์มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายต่างๆ ให้มีความหลากหลายในการใช้งานในหลายย่านความถี่ โดยในปัจจุบันความถี่ 5.8 GHz [1] ISM-band เป็นย่านความถี่นิยมใช้ในระบบโครงข่ายไร้สาย (Wireless local area network: WLAN) ซึ่งในช่วงความถี่ดังกล่าวเป็นที่นิยมในการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ในระบบโครงข่ายไร้สาย ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่นี้ได้แก่ อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบี [2] เครือข่ายส่วนบุคคล [3] บลูทูธ (Bluetooth) โทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Phones) เป็นต้น โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน วิวัฒนาการของชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ส่งผลให้อุปกรณ์ขนาดเล็กตัวรับรู้มีขนาดเล็ก ราคาถูก [4] และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยที่ในอดีตเหล่านี้ประกอบไปด้วย ส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือเซ็นเซอร์ ตัวขับเร้าหรือส่วนที่ทำหน้าที่กำเนิดพลังงาน ส่วนประมวลผลพร้อมหน่วย ความจำขนาดเล็กและส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร โหนดเหล่านี้จะตรวจวัดทำการคำนวณเบื้องต้นและส่งข้อมูลที่ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์กลาง เมื่อนำอุปกรณ์โหนดนับพันชิ้นมาประกอบกันจะได้เป็นใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ขนาดใหญ่ที่สามารถใช้เพื่อการตรวจสอบในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ [5]-[7] โดยปกติเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์ไร้สายในปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีคุณภาพสูงขึ้นและราคาถูกลง เพื่อตอบสนองผู้ใช้ที่มีความต้องการเทคโนโลยีที่สนับสนุนความสะดวกสบายในการเคลื่อนย้ายและการทำงานด้านอื่นๆ

ในระบบการหาตำแหน่งที่ใช้อุปกรณ์ในปัจจุบันนั้นได้ใช้เทคนิคต่างๆ เช่น พิจารณาจากเวลาของสัญญาณมาถึง (Time of arrival: TOA) ความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Received signal strength: RSS) และมุมของสัญญาณที่มาถึง (Angle of arrival: AOA) โดยแต่ละวิธีจะเป็นการคำนวณพารามิเตอร์ของสัญญาณในวิถีตรงเพื่อพิจารณาหาตำแหน่งที่ถูกต้อง แต่ถ้าวอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เกิดการจางหายหลายวิธีมากจะทำให้วิธีเหล่านี้มีความผิดพลาดมาก โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์กับงานหลากหลายด้าน การนำโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz มาใช้ในการระบุตำแหน่งโดยอาศัยการวัดค่าความแรงของสัญญาณ (Receive signal strength indicator: RSSI) [8] ในการค้นหาเป้าหมายโดยกำหนดพิกัดที่แน่นอนของกลุ่มโหนดอ้างอิงอย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์โหนดต่าง ๆ จำเป็นต้องมีขนาดเล็ก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการคำนวณรวมถึงพลังงานสำหรับใช้ภายในโหนดนั้นต้องถูกจำกัดตามไปด้วย จึงเป็นไปได้ที่จะออกแบบให้โหนดเหล่านี้มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารรวมถึงมีการคำนวณที่ซับซ้อน อัลกอริทึมนำมาใช้สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz เหล่านี้จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่ต้องลดจำนวนหน่วยความจำที่ใช้การติดต่อสื่อสารและเวลาในการคำนวณให้น้อยที่สุด

โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ได้กลายเป็นนัยสำคัญในแนวทางของงานวิจัยในการหาตำแหน่งสำหรับการวัดค่าความแรงของสัญญาณระหว่างโหนดอ้างอิงไปยังโหนดเป้าหมายในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผล อัลกอริทึมการหาตำแหน่งโดยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz สามารถแบ่งออกเป็นอัลกอริทึมการหาตำแหน่งโดยไม่อาศัยช่วงของระยะทางและอัลกอริทึมการหาตำแหน่งอาศัยช่วงของระยะทาง [9]-[11] อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพควรเป็นอัลกอริทึมที่สามารถคำนวณหาตำแหน่งที่ถูกต้องได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ในขณะที่ต้องสามารถทนต่อการรบกวนของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งการใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพันธ์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการข้างต้นได้เป็นอย่างดี

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้พิจารณาอัลกอริทึม สำหรับวิธีการหาตำแหน่งภายในอาคาร คณะผู้วิจัยได้ประเมินผลของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ด้วยการประเมินผลของตำแหน่งถูกพิจารณาในรูปของความผิดพลาดระยะทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz บนมาตรฐาน IEEE 802.15 และการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร
2. เพื่อนำเสนอแบบแผนและหลักการหาตำแหน่งที่แม่นยำโดยใช้พารามิเตอร์จากการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ
3. เพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการหาตำแหน่งระหว่างอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพันธ์สำหรับการใช้งานจริงภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร
4. เพื่อนำเสนอการประเมินผลประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบสะสมเทียบกับระยะทาง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารในลักษณะโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ได้เข้ามามีบทบาทในการประยุกต์หาตำแหน่งเป็นอย่างมาก ในการลดค่าความผิดพลาดของระยะทางและความแม่นยำในการถือได้ว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดในการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ในการประเมินผลสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารจริง เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็ก ง่ายต่อการติดตั้ง ประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถติดตั้งและใช้งานได้ยาวนาน และสามารถรองรับการทำงานสร้างเป็นโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 5.8 GHz ได้หลาย ๆ ตัวด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นจึงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถตอบโจทย์เหล่านั้นได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีความแปรปรวนสูงจะเกิดผลกระทบต่อความแม่นยำน้อยลง เป้าหมายของการศึกษาวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับ ได้แบบแผนการลดค่าความผิดพลาดของระยะทางโดยนำเสนอวิธีการประมวลผลสัญญาณด้วยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพันธ์

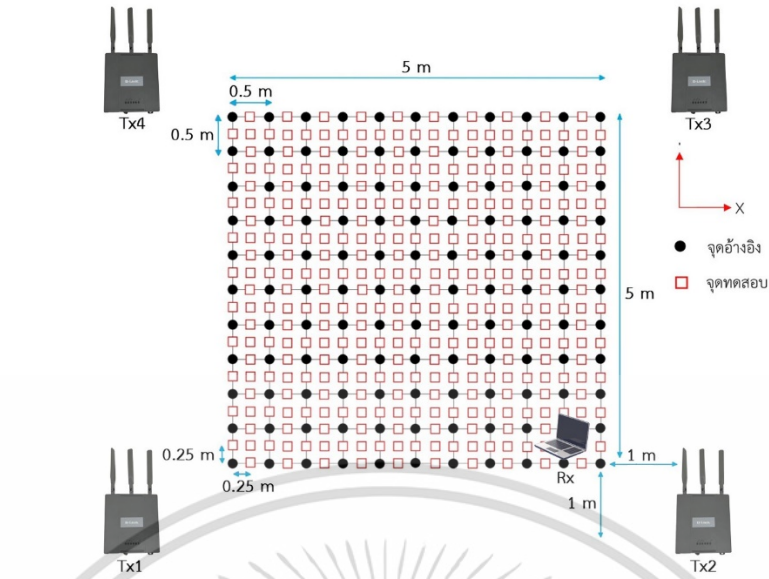
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

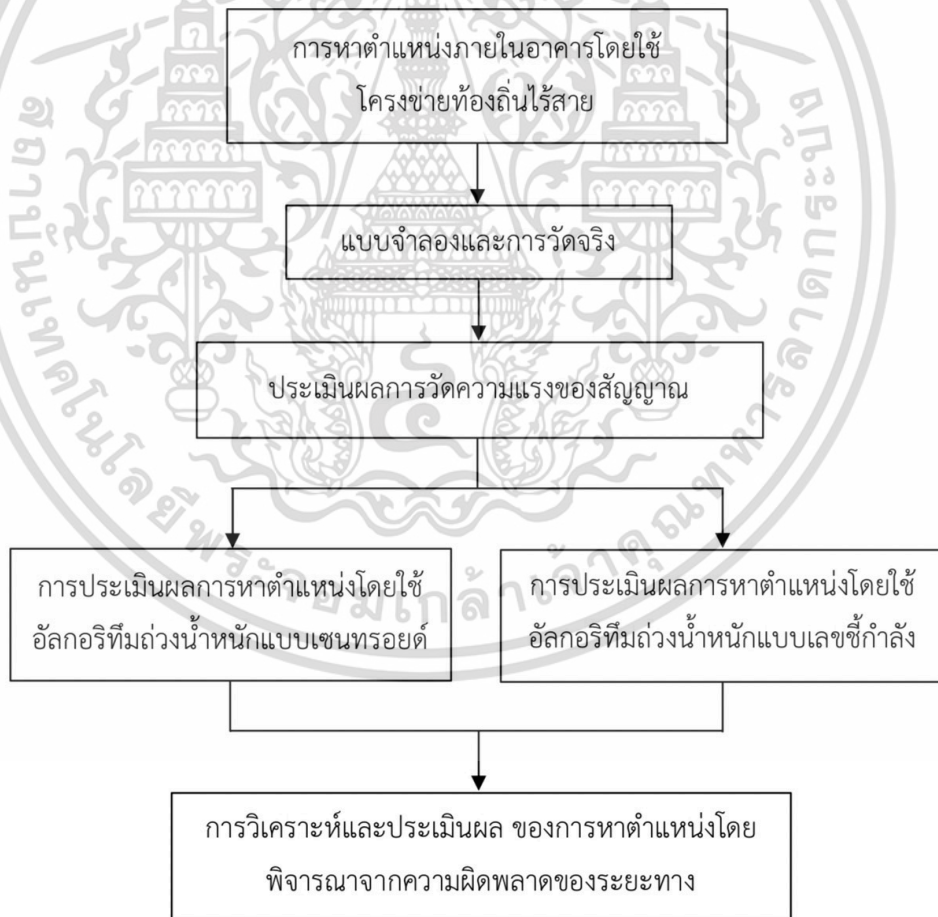
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำในการหาตำแหน่ง ได้ทำการทดสอบในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในการวัดความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยการวัดช่องสัญญาณในย่านความถี่ 5.8 GHz ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานที่ต่ำ เป็นการสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณสูงจึงมีความเหมาะสมในการสร้างเป็นใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในการหาตำแหน่ง [12]-[14] ผู้วิจัยได้ทดลองการหาตำแหน่งใช้อุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่โหนดอ้างอิง 4 ตัว และเป็นโหนดเป้าหมายหรือโหนดที่ต้องการหาตำแหน่งอีก 1 ตัว แบบจำลองในการวัดประกอบไปด้วย 441 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 เมตร ดังได้แสดงแบบจำลองในรูปที่ 1.1 ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้แต่ละตำแหน่ง แล้วนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มาวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ จะพบว่าค่าความแรงของสัญญาณลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น และได้นำทฤษฎีทางคณิตศาสตร์สองทฤษฎีมาทำการวิเคราะห์ความแม่นยำในการหาตำแหน่ง คือ อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ [15]-[17]

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้จำลองและวัดของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ได้ทำการออกแบบจำลองการวัดสำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร การทดลองจะวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใช้อุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในรูปแบบการส่งผ่านค่าความแรงของสัญญาณที่ความถี่ 5.8 GHz โมเดลที่ใช้สำหรับการวัดประกอบไปด้วย 441 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 เมตร สำหรับแกน x และแกน y จากนั้นนำความแรงสัญญาณที่รับได้มาวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นประเมินผลของการหาตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้อัลกอริทึม แล้วนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มาทำการคำนวณหาระยะทางโดยใช้ใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์มาใช้ในการหาตำแหน่ง ส่วนอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์จะไม่ใช้พารามิเตอร์ในการหาตำแหน่ง ซึ่งจะวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทาง ซึ่งจะแสดงผลการทดลองเป็นค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัดและแสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function: CDF) ของค่าความผิดพลาดของระยะทาง และสุดท้ายจะสรุปผลการทดลองวิจัย



รูปที่ 1.1 แบบจำลองการวัดโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร



รูปที่ 1.2 แบบแผนของการศึกษาวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แบบแผนของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ลำดับแบบแผนของการศึกษาวิจัยดังได้แสดงในรูปที่ 1.2 และมีเนื้อหาการศึกษาแบ่งได้ทั้งหมด 6 บท ซึ่งรายละเอียดแต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงอุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย และในส่วนสุดท้ายได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง หลักการวิเคราะห์การหาตำแหน่ง และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการคำนวณค่าความผิดพลาดของระยะทาง

บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด การตั้งค่าอุปกรณ์ และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงแบบจำลองการวัดสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการทดลองวัด ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ประกอบไปด้วยผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและเทคนิคการหาตำแหน่ง

2.1 บทนำ

การสื่อสารด้วยโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้รับความสนใจเป็นอย่างมากและถูกนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวาง และมีการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายแบบต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากได้กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE802.15.4 ไว้ 3 ย่านความถี่ คือ การสื่อสารใช้คลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz แบ่งออกเป็น 16 ช่องสัญญาณๆ ละ 5 MHz สำหรับความถี่ 900 MHz แบ่งออกเป็น 10 ช่องสัญญาณ ๆ และความถี่ 5.8 GHz มาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 kbps [1] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้ โดยเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่น คือ มีราคาที่ถูก ใช้พลังงานน้อยทำให้สามารถติดตั้งไว้ได้นาน และสามารถสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้ มีการเชื่อมต่ออย่างซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับโครงข่ายขนาดใหญ่ การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจากพลังงานแบตเตอรี่ สามารถสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10 เมตร ถึง 100 เมตร

จะเห็นได้ว่าใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้พลังงานต่ำ อุปกรณ์ในการรับส่งข้อมูลมีขนาดเล็ก จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลซึ่งเป็นการสื่อสารระยะใกล้จะทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจะพบว่าปัจจุบันมีการนำมาประยุกต์ใช้งานมากมายหลากหลายด้าน

ในบทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงวิธีการพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

2.2 โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

2.2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

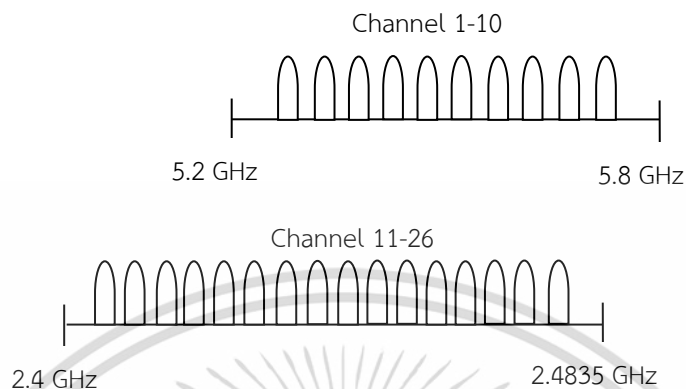
ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นการสื่อสารที่นิยมออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในสำนักงาน ละบ้านพักอาศัย โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับและส่งข้อมูลกลุ่ม IEEE 802.11 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำและมีราคาถูก การสื่อสารลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง โดยการสื่อสารระยะใกล้แบบอุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายมีจุดเด่นดังนี้

- 1) มีการเชื่อมต่ออย่างง่ายไม่ซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับโครงข่ายขนาดใหญ่
- 2) การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจากพลังงานแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10 เมตร ถึง 100 เมตร
- 4) เน้นการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็ว 125 kbps ถึง 250 kbps



รูปที่ 2.1 ความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐานของอุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [18]

ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 125 kbps

ย่านความถี่ 5.8 GHz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 kbps

อุปกรณ์ใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่น ๆ กล่าวคือ ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย จึงสามารถติดตั้งไว้ได้นานและสามารถสร้างโครงข่ายได้ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านเซนเซอร์ไร้สายตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุและตรวจสอบสภาพแวดล้อม โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่น ๆ ในด้านต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีแบบไร้สายชนิดต่าง ๆ [18]

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	ควบคุมและการหา ตำแหน่ง	เว็บ อีเมลล์ วีดีโอ	ใช้รับ-ส่งข้อมูล ระยะใกล้
อัตราการส่งผ่านข้อมูล	20-250 (kb/s)	11,000 (kb/s)	720 (kb/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายนำชั้นกายภาพ (Physical layer) และชั้นควบคุมการเข้าถึง (MAC layer) ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network: WPAN) มาทำงานในระดับชั้นที่ต่ำกว่า (2 ระดับชั้นล่างสุด) เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพ การควบคุม ความปลอดภัย ฯลฯ แต่ในระดับชั้นถัดไปจะเป็นรูปแบบของรูปแบบของ Wi-Fi ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [18]

อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายจะสามารถสร้างเป็นโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้เพราะอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และมีการจัดการในระดับชั้นถัดไป ทั้งนี้ IEEE 802.11 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในโครงข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม (Full function device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในโครงข่ายและอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถลดลง (Reduce function device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในโครงข่าย

อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

1. โคออดิเนเตอร์ (Coordinator) มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงโครงข่ายระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง (End device) กับเราท์เตอร์ (Router) หรือโคออดิเนเตอร์กับโคออดิเนเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกัน หรือโคออดิเนเตอร์กับเร้าเตอร์ กำหนดที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงโครงข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการเลือกเส้นทางซึ่งเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม

2. อุปกรณ์ปลายทาง เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะรับสัญญาณจากโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถลดลง หรืออุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็มบางกรณีขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้

3. เร้าเตอร์ มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่าง ๆ ของโครงข่าย ซึ่งเทียบได้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็ม

2.2.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่เลือกใช้

อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ Series 3 (WF) มีคุณสมบัติดังนี้

1. ใช้น้ำหนักในการรับส่งข้อมูล 5.8 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูล 250 kbps
2. มีการเข้าถึงช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA – CA)
3. สามารถรองรับ Address ได้ถึง 64 bit 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 2.3

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [18]

สามารถสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรม เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำเฟิร์มแวร์ (Firmware) ที่จะโหลดเข้าไปในระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายให้สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ผ่านตัวประสานโปรแกรม (Software interface) คือ X-CTU โดยเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตั้งค่าเอ็กซ์บีให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแล้ว เราจะเรียกอุปกรณ์แต่ละตัวว่าเป็นโหนด (Node) และอุปกรณ์แต่ละตัวก็จะทำหน้าที่ตามที่เราได้ตั้งค่าไว้

2.2.3 การทำงานของชั้นกายภาพ (Physical layer) และชั้นควบคุมการเข้าถึง (MAC layers)

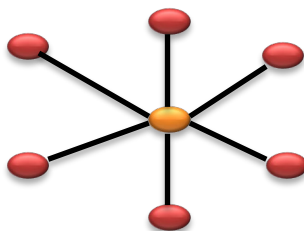
โหลชั้นทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz แต่เฉพาะที่อเมริกาเหนือทำงานที่ย่านความถี่ 915 MHz และที่ยุโรปทำงานที่ย่านความถี่ 868 MHz และที่ย่านความถี่ 5.8 GHz เป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ฟรี ดังนั้นผลิตภัณฑ์จึงอาจจะสามารถใช้ได้ทั่วโลก ผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันทั้งหมดจะใช้งานได้ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ในทุกย่านความถี่ใช้ DSSS (Direct sequence spread spectrum) ที่ย่านความถี่ 868 MHz และ 915 MHz ใช้วิธี Binary phase shift keying และที่ย่านความถี่ 5.8 GHz ใช้วิธี QPSK (Quadrature phase shift keying) ที่ย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ฟรีเริ่มมีการใช้กันมากและมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น มาตรฐาน IEEE802.11 มีคุณสมบัติมากมายที่จะทำให้แน่ใจว่ามีขั้นตอนการทำงานที่เชื่อถือได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เลวร้ายที่สุด โดยมีคีย์เวิร์ด 3 ตัว คือ ทำให้ช่องสัญญาณว่าง (Clear channel assesment) ประเมินคุณภาพ (Quality assesment) และการตรวจจับตัวรับพลังงาน (Receiver energy detection) เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นด้วยเทคนิคที่เรียกว่า CSMA (Carrier sense multiple access) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลซึ่งแน่ใจว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาการชนกันข้อมูลที่ถูกส่งอยู่ในรูปแบบแพคเกจ (packet) และแพคเกจมีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ ซึ่งรวมโอเวอร์เฮดของโพรโตคอลด้วย มีที่ว่างได้สูงสุด 104 ไบต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอินเทอร์เน็ตแล้วค่อนข้างเล็กกว่าแต่แอปพลิเคชันมากมายสามารถใช้เนื้อที่เท่านี้ได้อย่างเพียงพอคุณสมบัติที่เป็นลักษณะเรียลไทม์และสามารถกำหนดให้ข้อความมีลำดับความสำคัญสูงสุดได้โดยใช้กลไกการแบ่งช่วงเวลา ดังนั้นข้อความที่มีลำดับความสำคัญสูงจะสามารถถูกส่งไปได้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้บนอินเทอร์เน็ต

2.2.4 โทโปโลยีของอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN Topology)

การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายกำหนดโดยมาตรฐานมีอยู่สองรูปแบบ ได้แก่ แบบดาว และแบบระดับเดียว

2.2.4.1 แบบดาว

การเชื่อมต่อแบบดาวแสดงในรูปที่ 2.4 ในการเชื่อมต่อแบบดาว การสื่อสารเป็นที่ยอมรับกันระหว่างอุปกรณ์เซ็นเซอร์และการควบคุมส่วนกลางเดี่ยว ที่เป็นตัวขับเคลื่อนหลักจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็มจำนวนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ไร้สาย

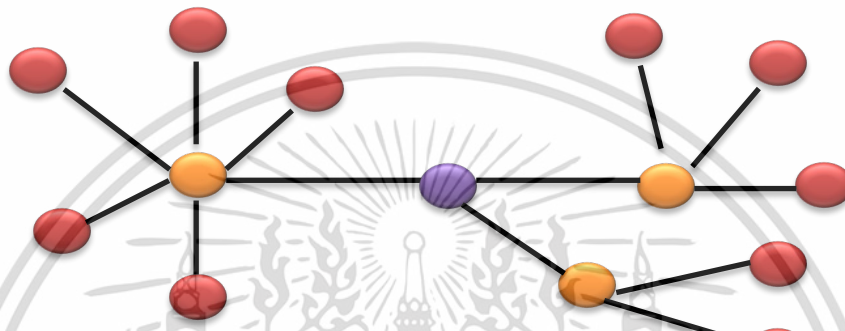


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบดาวในโครงข่ายไร้สาย [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 แบบระดับเดียว

สำหรับการเชื่อมต่อแบบระดับเดียวเป็นการเชื่อมต่อเพื่อขยายโครงข่ายให้กว้างออกไปดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยในการเชื่อมต่อนั้นจะต้องมีการควบคุมส่วนกลางเดี่ยวซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถเต็มในการหาเส้นทาง และอุปกรณ์เซ็นเซอร์แบบที่มีความสามารถลดลงจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มอีกทีหนึ่ง ซึ่งอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มเทียบเท่ากับอุปกรณ์บลูทูธแบบหัวหน้า (Master) ที่มีหน้าที่เชื่อมต่อกับหัวหน้าตัวอื่นๆ เพื่อให้เกิดเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.5 รูปแบบการเชื่อมโยงระดับเดียวไร้สาย [18]

2.2.5 ชั้นโครงข่าย (Network layer)

ชั้นเครือข่ายถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การส่งข้อมูลในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายใช้พลังงานไม่มาก สามารถจัดการกับโครงข่ายที่มีจำนวนโหนดมากๆ ได้ ทำหน้าที่ดังนี้

1. สามารถสร้างโครงข่ายไร้สายขึ้นใหม่ได้
2. สามารถเข้าร่วมและออกจากโครงข่ายไร้สายได้
3. สามารถกำหนดที่อยู่ให้กับอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายแต่ละตัวได้
4. ทำให้เฟรมรับส่งมีความปลอดภัย
5. มีการกำหนดเส้นทางของเฟรม

Header	Frame Length	Frame ID	Data Depend on	Checksum
1 Bytes	2 Bytes	1 Bytes	Frame type	1 Byte

รูปที่ 2.6 รายละเอียดของของแพ็คเก็ตขนาด [19]

รูปแบบเฟรมที่ใช้ในการสื่อสารในชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์แสดงดังรูปที่ 2.6 มีรายละเอียดดังนี้

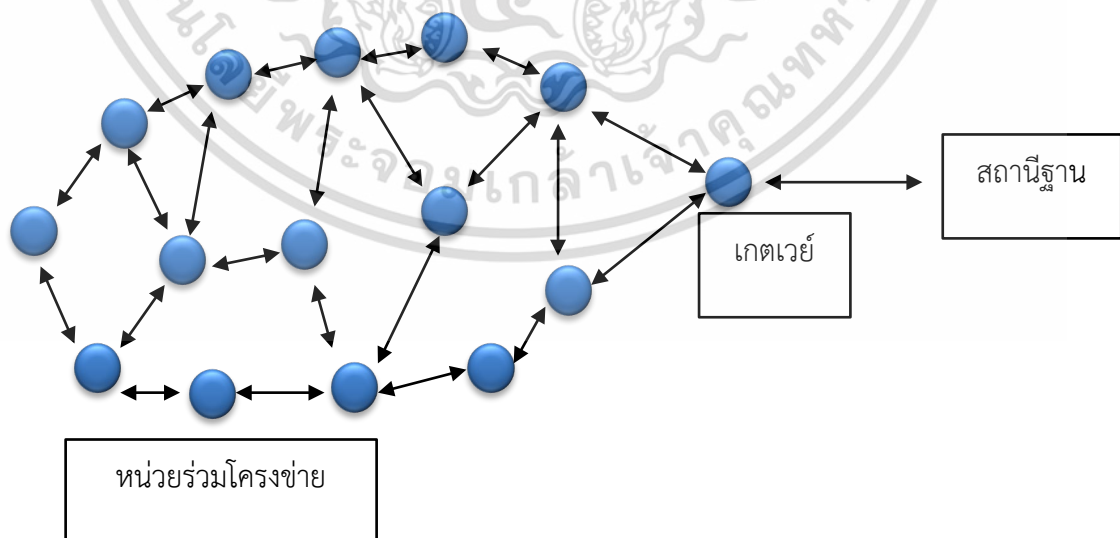
- Header ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับการทำ Byte Stuffing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Frame length ขนาด 2 Byte ใช้สำหรับระบุขนาดของเฟรม
- Frame type ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับระบุประเภทของเฟรม
- Frame ID ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับระบุหมายเลขของเฟรม
- DATA ขึ้นอยู่กับประเภทของเฟรม
- Checksum ขนาด 1 Byte ใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล

2.3 รูปแบบของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

โครงสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ หน่วยร่วมโครงข่าย เกตเวย์ และสถานีฐาน (Base station) ดังรูปที่ 2.7 หน่วยร่วมโครงข่ายจำนวนมากฝังตัวในสภาพ แวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูล โดยแต่ละหน่วยร่วมโครงข่ายเชื่อมโยงสื่อสารแบบไร้สายกับหน่วยร่วมโครงข่ายข้างเคียง ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับส่งแบบไร้สาย แต่ละหน่วยร่วมโครงข่ายจะควบคุมและจัดการทำงานของตัวเอง ทุกหน่วยร่วมโครงข่ายที่ติดต่อถึงกันทำงานร่วมกันเป็นโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทำให้แต่ละหน่วยร่วมโครงข่ายสามารถส่งข้อมูลไปหากันได้ แม้ว่าหน่วยร่วมโครงข่ายปลายทางไม่สามารถติดต่อกับหน่วยร่วมโครงข่ายต้นทางได้โดยตรง โดยให้หน่วยร่วมโครงข่ายระหว่างทางช่วยส่งข้อมูลต่อกันตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง วิธีการส่งแบบนี้เรียกว่าการส่งแบบมัลติฮอป (Multi-hop) เกตเวย์ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยเกตเวย์อาจเป็นหน่วยร่วมโครงข่ายธรรมดาหรือเป็นหน่วยร่วมโครงข่ายที่มีความสามารถพิเศษในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สถานีฐานทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งานหรืออาจติดต่อกับโครงข่ายอื่น ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต



รูปที่ 2.7 แบบจำลองโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [19]

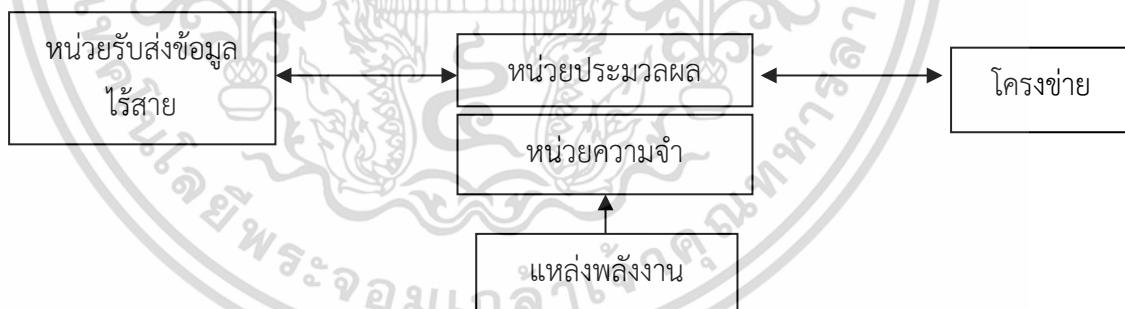
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ลักษณะของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- 1) หน่วยร่วมมีราคาต่ำเพื่อการสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ต้องใช้หน่วยร่วมจำนวนมาก
- 2) หน่วยร่วมมีขนาดเล็กเพื่อฝังตัวในสภาพแวดล้อม
- 3) หน่วยร่วมมีแหล่งพลังงานและความสามารถในการประมวลผลจำกัด
- 4) หน่วยร่วมและโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถจัดการตัวเองได้ โดยไม่ต้องมีมนุษย์เข้าไปควบคุมหรือช่วยเหลือ
- 5) หน่วยร่วมจำนวนมาก กระจายตัวครอบคลุมบริเวณทำการของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อเก็บข้อมูล
- 6) โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายทนทานต่อความเสียหายเมื่อหน่วยร่วมเซ็นเซอร์บางส่วนทำงานไม่ได้
- 7) โครงสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นโครงสร้างที่ไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงได้อยู่ตลอดเวลา

2.3.2 หน่วยร่วมโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

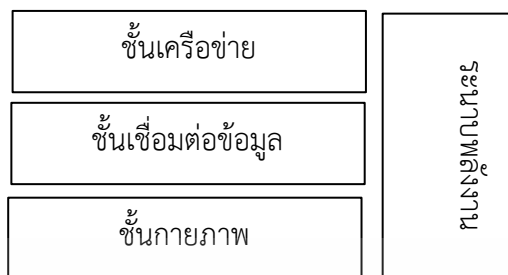
การทำงานของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ คือการวัดและเก็บข้อมูลที่ได้จากสภาพแวดล้อม นำข้อมูลไปประมวลผล สร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและส่งข้อมูล ทำให้หน่วยร่วมเซ็นเซอร์มีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ [19]

โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายให้ความสำคัญกับพลังงานมาก เพราะระบบไร้สายมักมีแหล่งพลังงานที่จำกัด ทำให้พลังงานมีผลมากกับระบบไร้สายและโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในด้านการออกแบบจึงปรับปรุงโปรโตคอลตลกของแบบจำลอง Open systems interconnection model (OSI) โดยแบ่งเป็นสามชั้นและหนึ่งระนาบแต่ละชั้นจะทำหน้าที่เฉพาะของตัวเอง คอยให้ความช่วยเหลือชั้นบน และขอความช่วยเหลือจากชั้นล่างที่ติดกับชั้นตัวเอง ส่วนระนาบซึ่งเชื่อมโยงกับทุกชั้นจะควบคุมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริหารจัดการในทุกๆชั้นให้ทำงานตามวัตถุประสงค์ของระบบนั้นๆ อย่างไรก็ตามการใช้งานที่แตกต่างกันก็ส่งผลถึงรูปแบบโปรโตคอลตกที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.9 ระดับชั้นโปรโตคอลของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [19]

2.3.2.1 ชั้นกายภาพ รับผิดชอบการรับและส่งสัญญาณไร้สายในด้านกายภาพ เช่น ช่วงความถี่สัญญาณ การมอดูเลต การเข้ารหัสระดับช่องสัญญาณชั้นกายภาพ

2.3.2.2 ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล รับผิดชอบการรับและส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์ข้างเคียง การเข้าใช้ช่องสัญญาณ การควบคุมข้อผิดพลาดของข้อมูล เพื่อให้การสื่อสารระหว่างหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ถูกต้องและเชื่อถือได้ ปัจจุบันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์จะเป็นแบบสุ่มเข้าใช้งาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้งานโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบไปด้วยหน่วยร่วมเซ็นเซอร์อยู่เป็นจำนวนมากและไม่มีโครงสร้างที่แน่นอนทำให้การควบคุมแบบรวมศูนย์ทำได้ยาก และการใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

2.3.2.3 ชั้นเครือข่าย รับผิดชอบการรับและส่งข้อมูลระดับเครือข่าย เนื่องจากระบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปเพื่อส่งข้อมูลจากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ไปยังสถานีฐาน การคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลเป็นหน้าที่หลักของชั้นนี้

2.3.2.4 ระบบพลังงาน รับผิดชอบควบคุมการใช้พลังงานในชั้นต่างๆ ของหน่วยร่วมเซ็นเซอร์และโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้มีประสิทธิภาพโดยอาจประสานงานข้ามชั้น เช่น หน่วยร่วมเซ็นเซอร์ที่เหลือพลังงานน้อยอาจจะลดพลังงานในการส่งข้อมูลในชั้นกายภาพ โดยประสานงานกับชั้นโครงข่ายเพื่อเลือกเส้นทางที่ควรส่งข้อมูล ในกรณีที่ระยะส่งข้อมูลลดลงเนื่องการลดพลังงานในการส่งข้อมูล

2.3.3 การพิจารณาระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากหน่วยร่วมระบบมีพลังงานอยู่จำกัด ซึ่งพลังงานที่มีเก็บสะสมอยู่เป็นตัวแปรหนึ่งของอายุการใช้งานหน่วยร่วมระบบและอายุของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

2) ความล่าช้าของข้อมูล การใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายในบางประเภทต้องการให้ได้ข้อมูลเร็วที่สุด หรือมีระดับความล่าช้าของข้อมูลไม่เกินค่าที่กำหนดหลังจากหน่วยร่วมระบบเก็บเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลได้ เช่น ในงานสัญญาณเตือนภัยสึนามิ ไฟป่า หรือในงานควบคุมที่ความล่าช้าของข้อมูลมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม เป็นต้น

3) ความถูกต้องของข้อมูล โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายควรจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับความแม่นยำของระบบและการประมวลผลข้อมูลในหน่วยร่วมระบบหรือในโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด

4) ความทนทานต่อความเสียหาย เหตุการณ์ที่หน่วยร่วมท้องถิ่นไม่สามารถทำงานได้มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ดังนั้นโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อให้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยังคงทำงานต่อไปได้ เช่น การมีเส้นทางสำรองในการเชื่อมต่อโครงข่ายและในการส่งข้อมูล

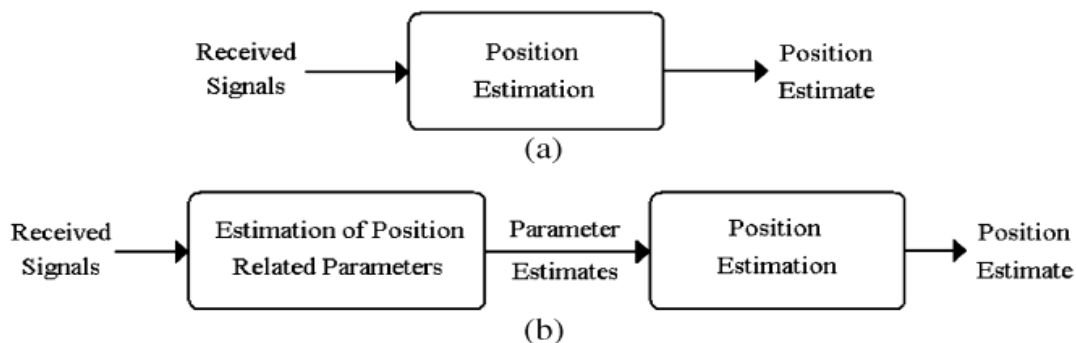
5) ความสามารถในการส่งข้อมูล แบ่งออกเป็นความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ และความสามารถในการส่งข้อมูลของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในกรณีที่ส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ความสามารถในการส่งข้อมูลของแต่ละหน่วยร่วมระบบเป็นสิ่งสำคัญ แต่ในกรณีที่ส่งข้อมูลพร้อมๆ กันจำนวนมาก ความสามารถในการส่งข้อมูลของโครงข่ายเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

เมื่อกล่าวถึงระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร ในปัจจุบันนี้นับว่ามีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งมากมาย โดยตัวอย่างของการนำเอาระบบการหาตำแหน่งมาใช้ในปัจจุบันนี้ตัวอย่าง เช่น การหาตำแหน่งของผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล การหาตำแหน่งของนักดับเพลิงที่เข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยภายในอาคาร และการหาตำแหน่งของสิ่งของภายในโกดังสินค้า เป็นต้น

2.4.1 เทคนิคการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่ง

มีเทคนิคการประมาณตำแหน่งจำนวนมากที่ถูกเสนอ ซึ่งเทคนิคการประมาณตำแหน่งเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่รับได้ ทิศทางที่สัญญาณเดินทาง เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงและความต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง [20] เพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถในการระบุตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงของโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เทคนิคการประมาณตำแหน่งควรจะมีการตรวจสอบเป็นอันดับแรก การประมาณตำแหน่งของโหนดในโครงข่ายไร้สายที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนสัญญาณระหว่างโหนดนั้นและจำนวนของโหนดที่ใช้อ้างอิง ตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจะสามารถประมาณได้ด้วยโหนดเป้าหมายเองหรือประมาณได้ด้วยศูนย์กลาง



รูปที่ 2.10 เทคนิคการระบุตำแหน่ง [21]

(a) การระบุตำแหน่งโดยตรง และ (b) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน

ดังที่แสดงในรูปที่ 2.10 (b) ขั้นตอนแรกของอัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอนนั้น จะเกี่ยวกับพารามิเตอร์ในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย พารามิเตอร์เหล่านั้นมักจะเกี่ยวกับพลังงาน เวลา และทิศทางของสัญญาณที่เดินทางระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง ถึงแม้ว่าจะเป็นเรื่องปกติในการประมาณพารามิเตอร์เดี่ยวของแต่ละสัญญาณ ระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง เช่น เวลาในการเดินทางมาถึงของสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะประมาณได้หลายตำแหน่งที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในแต่ละสัญญาณ เพื่อที่จะปรับปรุงให้การระบุตำแหน่งมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

2.4.1.1 เทคนิคการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ

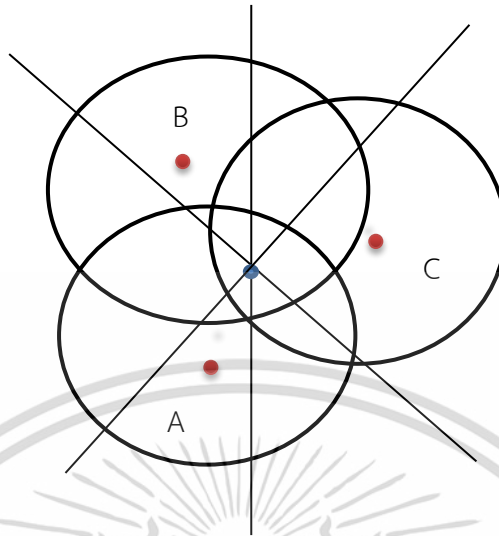
การวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณจะมีลักษณะการพิจารณาพารามิเตอร์ที่เป็นเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน เป็นการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน โดยสามารถจะหาระยะทางได้โดยการคำนวณจากเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน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

2.4.1.2 เทคนิคการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ

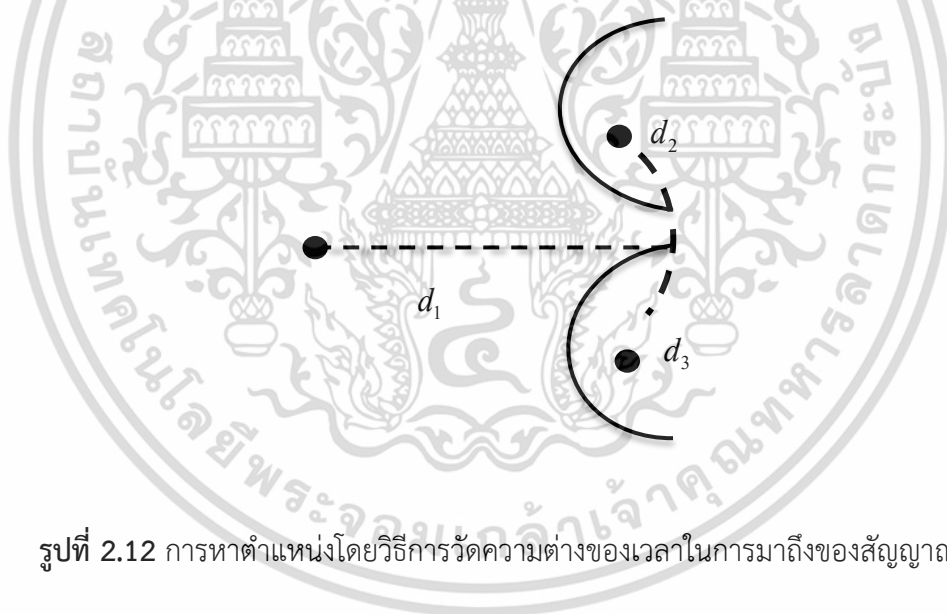
วิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณมีลักษณะคล้ายกับวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ เนื่องจากวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณพิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางของแต่ละสถานีฐาน ส่วนวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณจะวัดความต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐานแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟของไฮเปอร์โบลิก ซึ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการจึงต้องใช้เส้นกราฟอย่างน้อย 2 เส้นมาตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานี สิ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือแต่ละสถานีฐานต้องมีการประสานงานกัน ซึ่งในการทดลองสำหรับการหาตำแหน่งด้วยวิธีการนี้ต้องใช้วิธีการใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมาย

การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่อยู่ยากเมื่อเทียบกับวิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ



รูปที่ 2.11 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดเวลาการมาถึงของสัญญาณ [21]



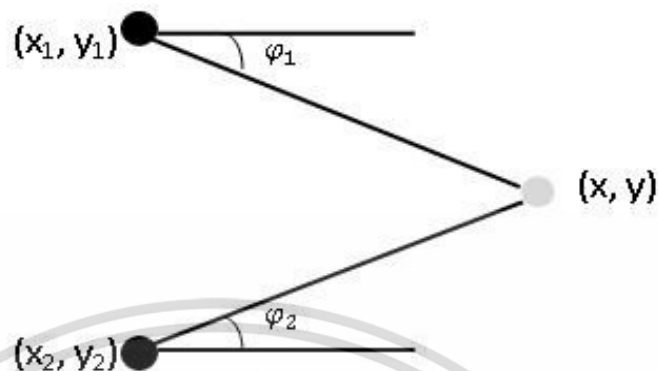
รูปที่ 2.12 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณ [21]

2.4.1.3 เทคนิคการวัดทิศทางทางการมาถึงของสัญญาณ

การวัดทิศทางทางการมาถึงของสัญญาณเป็นการหาตำแหน่งโดยดูทิศทางของสัญญาณ โดยการคำนวณความแตกต่างของเฟสของสัญญาณที่ไปถึงสายอากาศแต่ละตัวที่ใช้อยู่ในชุดรับสัญญาณ โดยในการหาตำแหน่งนั้นต้องมีชุดสายอากาศที่ทำงานเหมือนกันทุกประการจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า สายอากาศแบบเฟสอาร์เรย์ (Phase array antenna) อย่างน้อย 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าการหาตำแหน่งด้วยวิธีการวัดทิศทางทางการมาถึงของสัญญาณทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

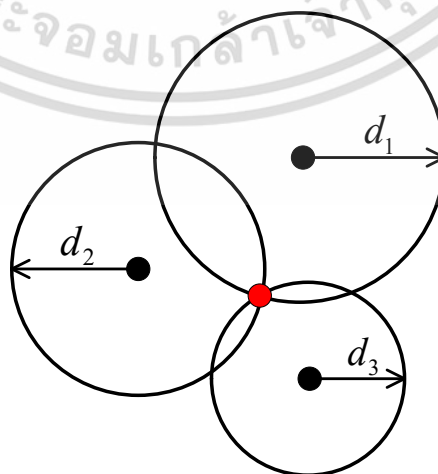
อีกทั้งยังต้องเจอปัญหาความผิดพลาดจากปรากฏการณ์การกระเจิงของคลื่นวิทยุอีกด้วย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งมากนัก



รูปที่ 2.13 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดทิศทางมาถึงของสัญญาณ [21]

2.4.1.4 เทคนิคการวัดค่าความแรงของสัญญาณ

การวัดค่าความแรงของสัญญาณเป็นวิธีการพิจารณาตำแหน่งโดยพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณซึ่งถูกลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในวิถี (Path loss attenuation) โดยใช้การตัดกันของวงกลมซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน เราสามารถหา ระยะทางโดยการคำนวณจากความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ด้วยวิธีการนี้จึงต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.14 อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยวัดค่า ความแรงของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์การจางหายจากการแพร่กระจายคลื่น หลายวิถี (Multipath fading) และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (Shadowing) ซึ่ง จะมีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณทำให้การหาตำแหน่งโดยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 2.14 การหาตำแหน่งโดยวิธีการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับคือ อินฟราเรด ความถี่วิทยุ และอัลตราซาวด์ โดยแต่ละประเภทจะมีรายละเอียดดังนี้

2.4.2.1 อินฟราเรด (Infrared)

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

2.4.2.2 ความถี่วิทยุ (Radio frequency: RF)

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

2.4.2.3 อัลตราซาวด์ (Ultrasound)

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

บทที่ 3

การวิเคราะห์ระยะทางความผิดพลาดของตำแหน่ง

3.1 บทนำ

บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ความผิดพลาดการหาตำแหน่งด้วยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ซึ่งได้คำนวณหาตำแหน่งเป้าหมายจากค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ในหัวข้อแรกจะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่ง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ จากนั้นจะอธิบายถึงทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่ง ในหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการหาตำแหน่ง ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์หาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีขั้นตอนดังนี้ ทำการสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการวัด แล้วทำการวัดหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายแต่ละตำแหน่งโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ หลังจากนั้นคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมระหว่างอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ สุดท้ายจะทำการหาค่าความผิดพลาดของระยะทางของแต่ละตำแหน่งตามแบบจำลองการวัด

3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งสำหรับอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ โดยจะนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีซึ่งติดตั้งเป็นโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัว แล้วส่งมายังโหนดเป้าหมายมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย และนำไปคำนวณความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ต่อไป

3.2.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS)

พื้นฐานการจำลองความแรงของสัญญาณสำหรับการหาตำแหน่ง ด้วยการเปลี่ยนแปลงระยะทาง (d) จากความเข้มของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกมาจากตำแหน่งอ้างอิง แล้วส่งไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ดังที่แสดงในสมการที่ (3.1)

สำหรับการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดจากการสะท้อนหลายวิถีซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณที่แปรไปตามสภาวะแวดล้อมและระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศ

ด้านรับสัญญาณโดยการเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะห่างระหว่าง

สายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ ส่วน n เป็นค่าคงที่มีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แวลลุ่มของบริเวณพื้นที่จากสัญญาณการส่งผ่านแบบไร้สายสามารถพิจารณาได้จากของค่า n ที่ใช้ในการคำนวณค่าของการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่าง ๆ โดยจะสังเกตได้ว่าอัตราการลดทอนของสัญญาณการส่งผ่านแบบไร้สายจะมีขนาดที่สูงในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางเมื่อเทียบกับบริเวณพื้นที่ว่าง เพราะว่าในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางจะเป็นปัญหาในการบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากโครงสร้างอาคาร สำนักงาน และสภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกัน

$$PL(dBm) = PL_0(dBm) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (3.1)$$

จากนั้นการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งอ้างอิงและตำแหน่งเป้าหมาย วิเคราะห์ได้ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.2)

$$d = d_0 \cdot 10^{\left[\frac{PL(dBm) - PL_0(dBm)}{10n}\right]} \quad (3.2)$$

เมื่อ PL คือค่าความแรงของสัญญาณ (dBm)

PL_0 คือค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่ตำแหน่งอ้างอิง (dBm)

n คือค่าการสูญเสียเชิงวิถีในสถานที่ต่างๆ

d คือระยะทางระหว่างตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งอ้างอิง (เมตร)

d_0 คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งของแต่ละตำแหน่ง 1 เมตร

3.3 หลักการวิเคราะห์ความแม่นยำของการหาตำแหน่ง

ปัญหาการหาตำแหน่งสามารถทำให้เป็นรูปแบบที่เข้าใจง่ายดังตัวอย่างต่อไปนี้ เมื่อพิจารณากลุ่มของโหนด $N = \{A1, A2, \dots, An\}$ 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_i แทนการวัดความเข้มของความแรงของสัญญาณจากจุดยึด a_i ไปยังจุดเป้าหมายของอัลกอริทึม ในการหาตำแหน่งบนพื้นฐานสัญญาณที่รับได้เป็นการประมาณ $\hat{p} = \hat{x}, \hat{y}$ ของตำแหน่ง p

รูปแบบของอัลกอริทึมการหาตำแหน่งบนพื้นฐานความแรงของสัญญาณที่รับได้ คืออัลกอริทึมการประมาณระยะทางได้มาจากการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ใช้จุดทดสอบจำนวนมากหรือโหนดเป้าหมายไปยังโหนดอ้างอิง และกระบวนการที่ไม่ต้องใช้ระยะทางในการคำนวณหาตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในต่อไปนี้จะทำการวิเคราะห์ความแตกต่างกันทั้งสองวิธี คืออัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ วิธีการทั้งสองนี้จะมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและมีการส่งพลังงานที่ต่ำช่วยให้มีการจำกัดการใช้พลังงานของแต่ละโหนด

3.3.1 อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Weighted Centroid Localization Algorithm: WCL)

ในปัจจุบันการหาพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าวิจัยเป็นจำนวนมาก รวมทั้งมีการนำเสนอหลากหลายวิธีการในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง

การหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (Centroid localization : CL) เป็นวิธีการหาพิกัดตำแหน่งโดยการหาค่าเฉลี่ยจากจุดอ้างอิงที่ทราบตำแหน่งแน่นอน และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกนัลที่วางโหนดที่ทราบพิกัดตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ไว้แล้ว คำนวณได้ดังสมการ (3.3)

$$P(x, y) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_i(x_i, y_i) \quad (3.3)$$

ในขบวนการขั้นตอนสมมติฐานสำหรับการหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ส่วนใหญ่ที่ได้ศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแล้วยังไม่เพียงพอและยังไม่สามารถทำให้เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติและได้ศึกษาวิจัยกันมาเป็น Weighted Centroid Localization Algorithm (WCL) ด้วยการพัฒนาและปรับปรุงมาจากวิธีการแบบเซนทรอยด์ โดยเพิ่มการถ่วงน้ำหนักเข้าไปในสมการ โดยค่าน้ำหนักที่เพิ่มให้กับโหนดอ้างอิงที่อยู่ใกล้กับโหนดเป้าหมายจะมากกว่าโหนดอ้างอิงที่อยู่ไกล [26] สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.4)

$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m (w_i \cdot a_i(x_i, y_i))}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (3.4)$$

ค่าของตัวแปรของการถ่วงน้ำหนัก หรือ w_i ถูกกำหนดโดยใช้ระยะห่างจากโหนดอ้างอิงแต่ละตัวที่โหนดเป้าหมายคำนวณได้เป็นหลัก ทำให้ w_i แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิง และใช้เลขยกกำลัง g เพื่อเพิ่มการถ่วงน้ำหนักให้กับระยะทาง d คำนวณได้ดังสมการ (3.5)

$$w_i = \frac{1}{(d_i)^g} \quad (3.5)$$

$P(x, y)$ คือการประมาณตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ของตำแหน่งเป้าหมาย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

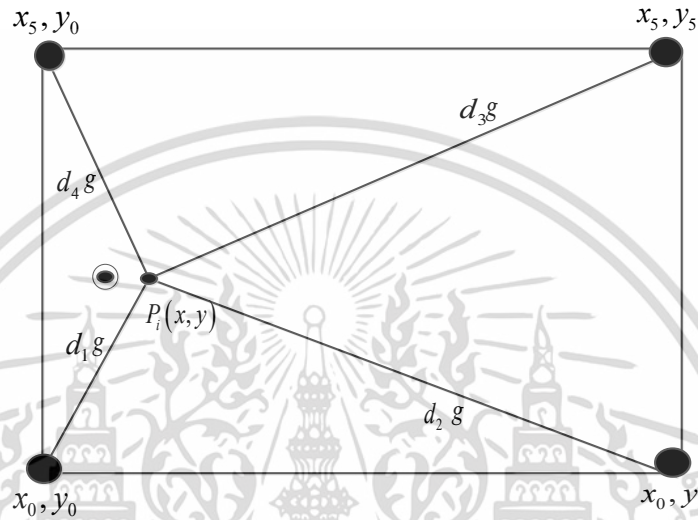
m คือจำนวนของตำแหน่งอ้างอิง

a_i คือตำแหน่งอ้างอิงที่แกน x และแกน y

w_i คือระดับการถ่วงน้ำหนัก

d_i คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งอ้างอิงและตำแหน่งเป้าหมาย

g คือแฟกเตอร์ของการถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 3.1 การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ (WCL) [26]

3.3.2 อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ (Relative-Span Exponential Weighted Localization Algorithm: REWL)

แนวความคิดพื้นฐานของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์มาจากอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบขอบเขตสัมพัทธ์แสดงในสมการที่ (3.6) โดยใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [27]

$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m [RSS_{ref_m} - RSS_m \times a_i]}{\sum_{i=1}^m [RSS_{ref_m} - RSS_m]} \quad (3.6)$$

สำหรับอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบขอบเขตสัมพัทธ์จะเป็นการหาค่าเฉลี่ยพิกัดอุปกรณ์ของโหนดอ้างอิงเท่านั้น ส่วนอัลกอริทึมเป็นอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์เป็นการเพิ่มความแน่นอนในการปรับปรุงการหาตำแหน่งให้ดีขึ้น อัลกอริทึมนี้เป็นวิธีการหาตำแหน่งบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณโดยไม่อาศัยช่วงของระยะทาง ได้รับแรงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระตุ้นโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ถูกวัดโดย โหนดเป้าหมาย การประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายของอัลกอริทึมนี้จึงเพิ่มการถ่วงน้ำหนัก (λ) สมการสำหรับการกำหนดตำแหน่งด้วยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขต สัมพัทธ์ [27] แสดงดังสมการที่ (3.7)

$$P(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^m \left[(1 - \lambda)^{RSS_{ref_m} - RSS_m} \times a_i \right]}{\sum_{i=1}^m \left[(1 - \lambda)^{RSS_{ref_m} - RSS_m} \right]} \quad (3.7)$$

เมื่อ P คือการประมาณค่าตำแหน่งของตำแหน่งเป้าหมาย

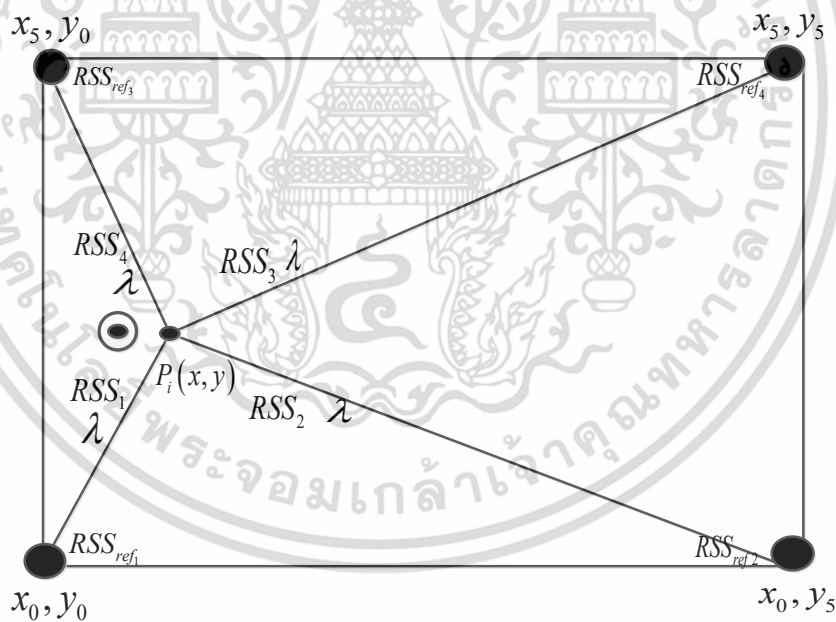
m คือจำนวนของโหนดอ้างอิง

$a_i(x, y)$ คือโหนดอ้างอิงที่แกน x และแกน y

RSS_{ref_m} คือค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ที่โหนดอ้างอิง

RSS_i คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่โหนดเป้าหมาย

λ คือแฟคเตอร์ระดับการถ่วงน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 การหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนัก

หาตำแหน่งเลขชี้กำลังสัมพัทธ์ (REWL) [27]

3.4 การประเมินผลความผิดพลาดของระยะทาง

ในความผิดพลาดระยะทางของตำแหน่งนี้จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง โดยหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งจริงและตำแหน่งจากการทดลอง ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณค่ากำลังงานเฉลี่ยผิดพลาด ซึ่งจะมีความแม่นยำมากเมื่อค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย [26] และ [27] สามารถหาค่าความผิดพลาดดังกล่าวคือ e_1 ได้จากสมการที่ (3.8)

$$e_1 = \sqrt{(x_{\text{real}} - x_z)^2 + (y_{\text{real}} - y_z)^2} \quad (3.8)$$

เมื่อ $x_{\text{real}}, y_{\text{real}}$ คือ ตำแหน่งในพิกัด (x, y) ที่ถูกต้อง

x_z, y_z คือ ตำแหน่งในพิกัด (x, y) ที่ได้จากการวัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การศึกษาทดลองวิจัย

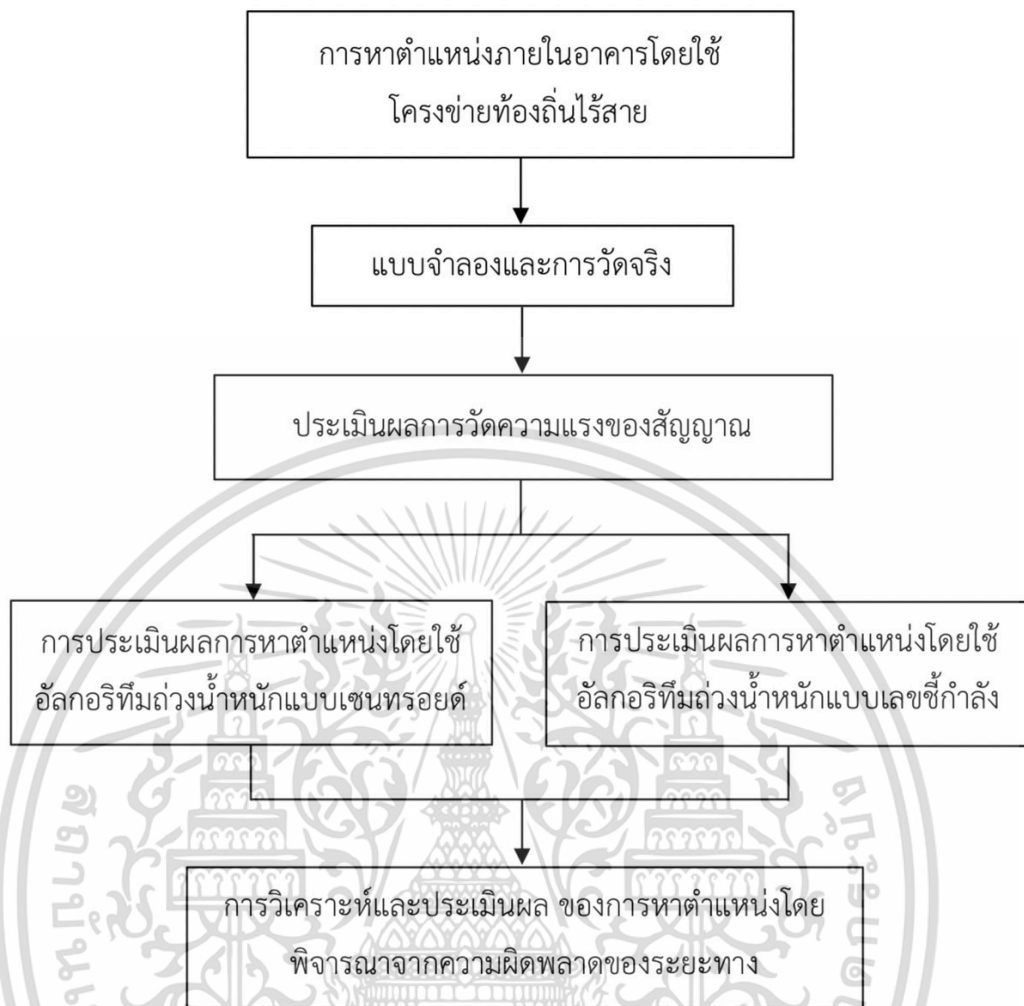
4.1 บทนำ

การประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้ทำการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายและแบบจำลองสำหรับการวัด แล้วนำมาวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองวัดโดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมการหาถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ เพื่อศึกษาการหาตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตา ในแบบจำลองนี้จะใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัว เป็นอุปกรณ์สำหรับสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดย 4 ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงวางไว้ในพิกัดที่แน่นอนสำหรับส่งข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณกลับมาที่โหนดที่ต้องการหาตำแหน่งอีก 1 ตัว คือโหนดเป้าหมาย จะทำการติดตั้งไว้บนตำแหน่งที่กำหนดแล้วทำการร้องขอข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ต้องการจากโหนดอ้างอิงทุกโหนด แล้วส่งกลับมาที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล ผู้จัดทำได้เลือกใช้โครงข่ายแบบดาวในการสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยโหนดอ้างอิงได้ตั้งค่าให้เป็นโคออดิเนเตอร์และโหนดเป้าหมายตั้งค่าเป็นเรฟเตอร์โดยติดตั้งให้อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในโครงข่ายเดียวกัน ขั้นตอนแรกจะเป็นการออกแบบจำลองการวัดในการหาตำแหน่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ขั้นตอนที่สองจะเป็นการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ขั้นตอนที่สามจะทำการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย ขั้นตอนสี่จะนำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้นำไปใช้หาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้เพื่อทำการคำนวณหาระยะทางโดยใช้ใช้อัลกอริทึมการหาถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์มา ส่วนอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์จะไม่ใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้มาทำการหาตำแหน่ง และขั้นตอนสุดท้ายจะแสดงผลการทดลองซึ่งจะแสดงเป็นค่าความผิดพลาดของระยะทางและสรุปผล ซึ่งขั้นตอนการทดลองวัดและการหาตำแหน่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

การสร้างโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายของระบบหาตำแหน่งจะมีการใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่จำนวนทั้งหมด 5 ตัว โดยเป็นโหนดอ้างอิงจำนวน 4 ตัว และเป็นโหนดเป้าหมายจำนวน 1 ตัว โดยที่โหนดอ้างอิงจะได้รับไฟเลี้ยงแบตเตอรี่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ซึ่งอยู่ด้านบนของกระเบาะถ่านและเสียบอยู่ด้านบนของบอร์ดแปลงไฟ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทดลองวิจัย



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้และการตั้งค่าอุปกรณ์จำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



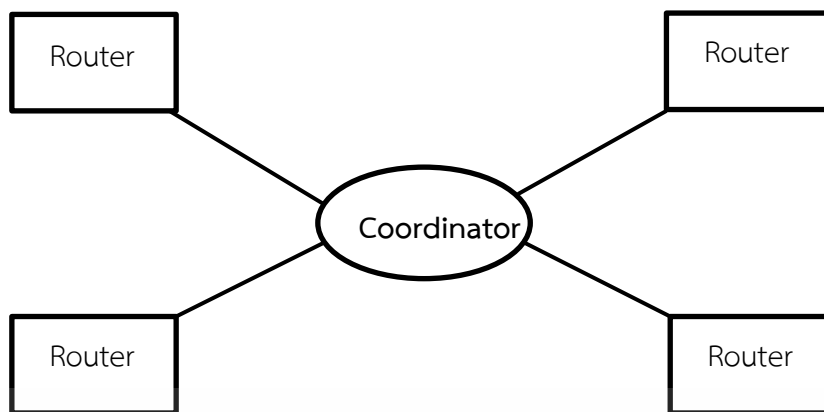
รูปที่ 4.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมโยงอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

4.3 การตั้งค่าอุปกรณ์

การออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายสำหรับการระบุตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารจะประกอบไปด้วยโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย โดยเริ่มออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้โหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายเป็นตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยจะใช้อุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัวเป็นอุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายโดย 4 ตัวแรกจะทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงวางไว้ในพิกัดที่แน่นอนสำหรับส่งข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณกลับมาที่โหนดเป้าหมายอีก 1 ตัว โหนดเป้าหมายจะทำการร้องขอข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ต้องการจากโหนดอ้างอิงทุกโหนด หลังจากนั้นโหนดอ้างอิงทุกโหนดก็จะส่งกลับมาที่โหนดเป้าหมาย สุดท้ายโหนดเป้าหมายจะส่งกลับมาที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล และได้เลือกใช้โครงข่ายแบบดาวในการสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยโหนดอ้างอิงได้ตั้งค่าให้เป็นโคออดิเนเตอร์และโหนดเป้าหมายตั้งค่าเป็นเรพอร์ทเตอร์โดยตั้งให้อุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ในโครงข่ายเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าหน้าที่ของโคออดิเนเตอร์จะเลือกช่องสัญญาณและโครงข่ายเพื่อเริ่มต้นอนุญาตให้เรพอร์ทเตอร์เข้าร่วมโครงข่ายได้ ส่วนหน้าที่ของเรพอร์ทเตอร์จะต้องเข้าร่วมโครงข่ายก่อนที่จะทำหน้าที่รับและส่งข้อมูล หลังจากเข้าร่วมโครงข่ายแล้วสามารถกำหนดเส้นทางของข้อมูลได้



รูปที่ 4.4 โครงข่ายแบบดาวในการระบุตำแหน่ง

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดในการหาตำแหน่ง

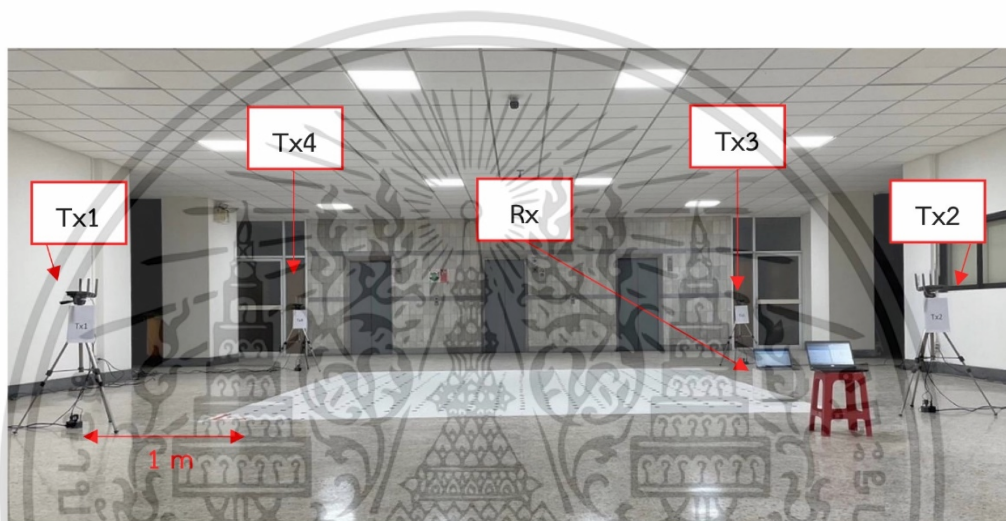
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในงานวิจัย
ความถี่	5.8 GHz
ชนิดของสายอากาศ	ไดโพล
ระยะห่างแต่ละจุดจากการวัด	0.5 เมตร
จำนวนครั้งในการวัด	10 ครั้ง
จำนวนจุด	441 จุด
พื้นที่การทดลอง	5 เมตร × 5 เมตร
การโพลาไรซ์ของสายอากาศ	รอบทิศทาง

4.4 แบบจำลองการวัดสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร

ในขั้นตอนแรกเราได้ออกแบบจำลองการวัดสำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับการหาตำแหน่งที่ต้องการทดลองจะวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ใช้อุปกรณ์ในรูปแบบการส่งผ่านสัญญาณของความแรงของสัญญาณที่ความถี่ 5.8 GHz. โมเดลที่ใช้สำหรับการวัดประกอบไปด้วย 441 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 เมตร สำหรับแกน x และแกน y บนพิกัด (0, 0), (20, 0), (0, 20) และ (20, 20) ถูกใช้เป็นโหนดอ้างอิง โดยทำการวัดที่อาคารเรียน E-12 ชั้นที่ 6 บริเวณลานหน้าลิฟท์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแบบจำลองของการวัดจะแสดงในรูปที่ 4.6

ระบบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการแลกเปลี่ยนข้อความระหว่างโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิงแต่ละโหนด การสื่อสารในระดับที่ไม่ซับซ้อนระหว่างโหนดเป็นการดำเนินการโดยการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการโดยโหนดเป้าหมายจะส่งปิงไปยังโหนดอ้างอิงทั้งสี่โหนดเพื่อร้องขอการตอบกลับ จากนั้นแต่ละโหนดอ้างอิงตอบกลับด้วยข้อความที่มีระบุโหนดและระดับพลังงานที่ส่ง เมื่อโหนดเป้าหมายรับข้อความตอบกลับ การวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ผ่านภายในตัวบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่รับได้และอ่านข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอยู่ในข้อความ การประมวลผลจะถูกทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่วัดทั้งหมดถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ทำยที่สุดความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ถูกเก็บรวบรวมจะถูกประมวลผลและวิเคราะห์เพื่อแยกข้อมูลสถิติและประเมินผลลัพธ์ของวิธีการหาตำแหน่ง ขั้นตอนการตรวจวัดจะถูกทำซ้ำ 10 ครั้งสำหรับแต่ละ 441 ตำแหน่งจุดทดสอบ



รูปที่ 4.5 การวัดจริงของการหาตำแหน่งสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการศึกษาดทดลองวิจัย

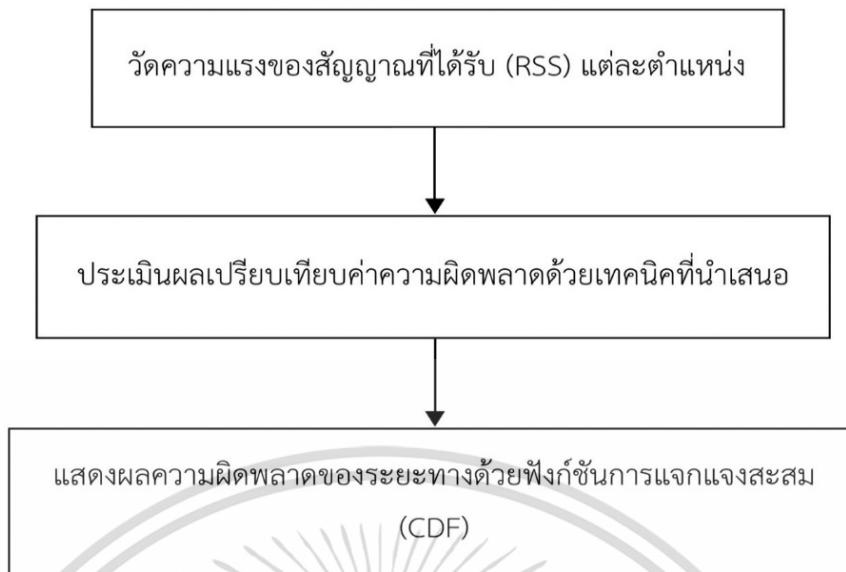
5.1 บทนำ

ผลการศึกษาดทดลองวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาการหาตำแหน่งภายในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้ขบวนการประเมินผลเปรียบเทียบกับวิธีการของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ซึ่งได้ใช้ค่าความแรงของสัญญาณจากโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายกำหนดให้สัญญาณที่ความถี่ 5.8 GHz การหาตำแหน่งด้วยการวัดสัญญาณการส่งผ่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายไปยังแล็บที่อปคอมพิวเตอร์ในรูปแบบสี่เหลี่ยมของสัญญาณส่ง นำผลที่ได้จากการวัดมาประเมินผลความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปพิจารณาความผิดพลาดของตำแหน่ง วิทยานิพนธ์ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองวิจัยของการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศทั้งสี่โหมดที่ได้ทดลองวัดตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนความแรงของสัญญาณที่รับได้จากโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายตัวที่ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งเป็นโหนดอ้างอิงไปยังโหนดเป้าหมายซึ่งจะนำมาใช้ในการหาตำแหน่ง จากนั้น ผลความแม่นยำในการหาตำแหน่งในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทางตามแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด และแสดงผลเปรียบเทียบของความผิดพลาดด้านระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

5.2 ผลการทดลองวัดจริง

การทดลองวัดของความแรงของสัญญาณจากโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยได้พิจารณานำเอาความแรงของสัญญาณสูงสุดไปคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายโดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณ โดยได้แสดงค่าความแรงของสัญญาณที่เกิดจากโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่อยู่โหนดอ้างอิงที่ 1, 2, 3 และ 4 ในแนวแกน x และแกน y ตามที่ได้ออกแบบจำลองการวัดที่ได้แสดงรูปขั้นตอนไว้ในรูปที่ 5.1

ผลการทดลองการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้พารามิเตอร์ความแรงสัญญาณที่รับได้มาใช้ในการหาตำแหน่งที่ได้ จากการทดลองวัดความแรงสัญญาณของสายอากาศส่งทั้ง 4 โหนด จากนั้น จะแสดงผลความแม่นยำในการหาตำแหน่งในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทางตามแกน x และแกน y ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ และค่าความผิดพลาดของระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทาง

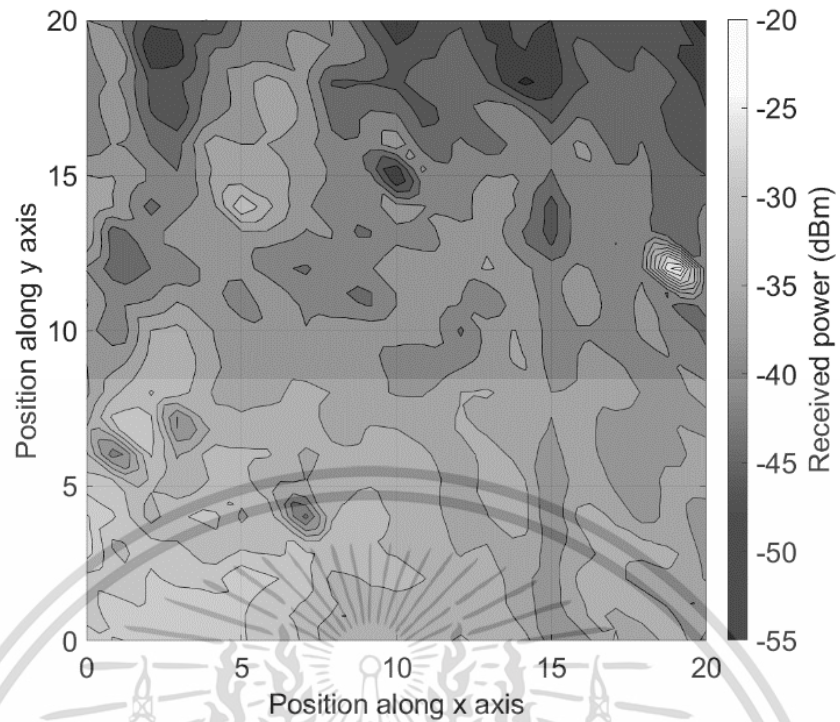
ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงค่ากำลังงานของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล ซึ่งจะแสดงในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้

จากรูปที่ 5.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 1 (Tx1) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 1 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -19.75 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (19, 12) และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -48.20 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (20, 20)

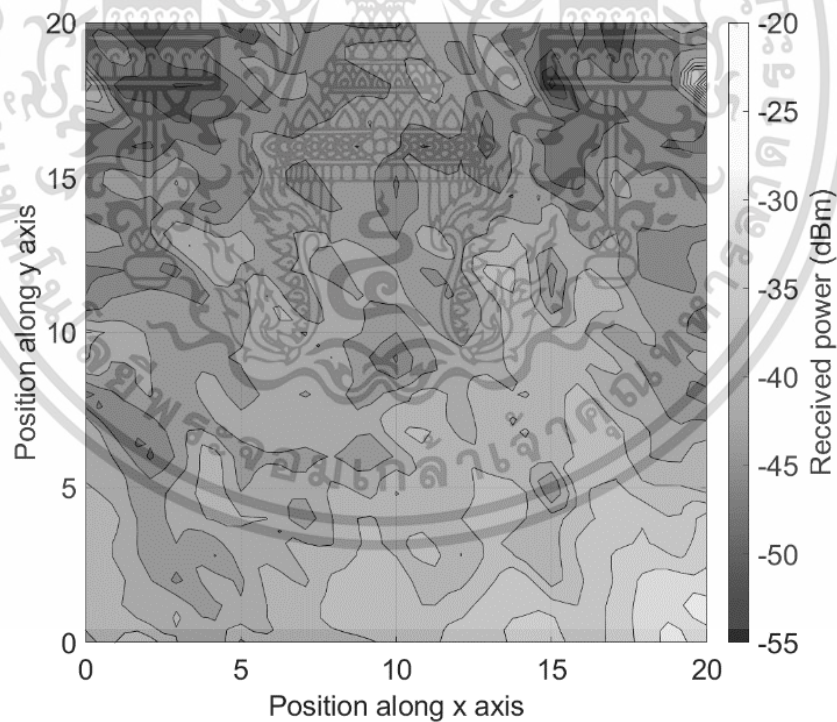
จากรูปที่ 5.3 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 2 (Tx2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 2 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -26.40 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (20, 18) และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -53.00 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (15, 18)

จากรูปที่ 5.4 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 3 (Tx3) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 3 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -26.00 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (19, 3) และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -49.60 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (20, 4)

จากรูปที่ 5.5 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 4 (Tx4) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 4 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -25.60 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (1, 19) และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -42.40 dBm เกิดขึ้นที่พิกัด (16, 12)

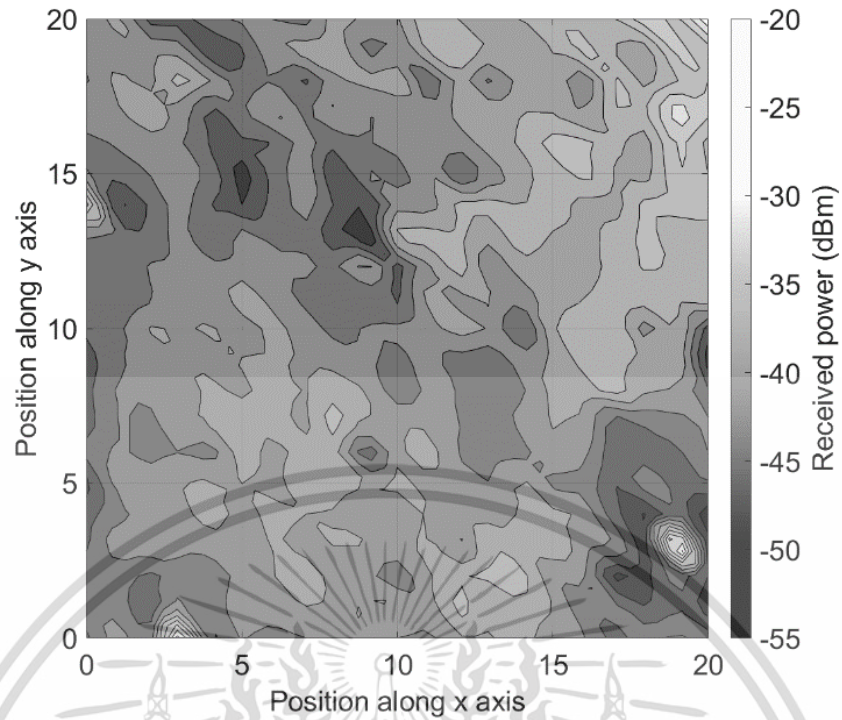


รูปที่ 5.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 1 (Tx1)

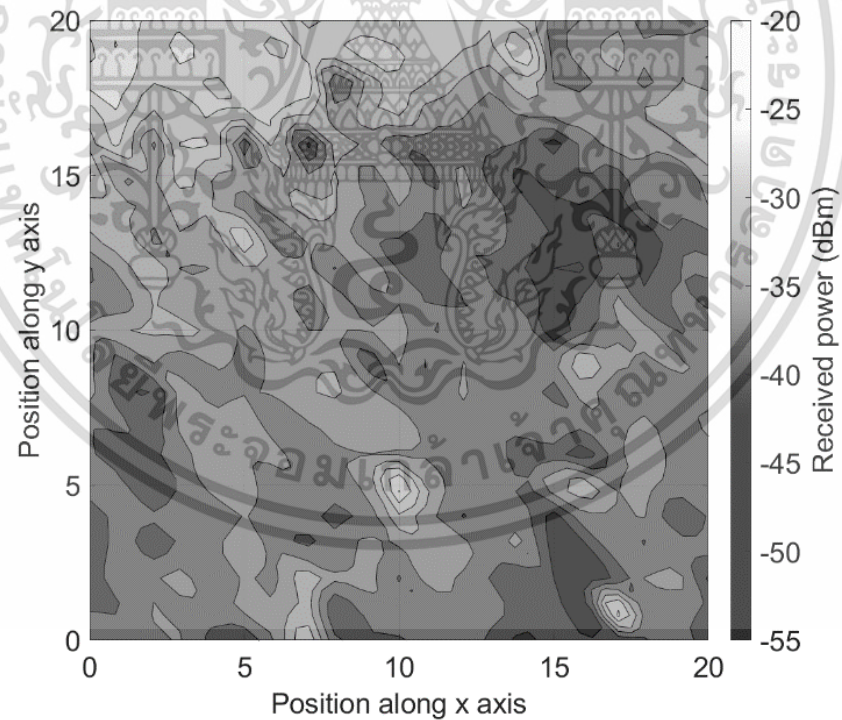


รูปที่ 5.3 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหนดที่ 2 (Tx2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 3 (Tx3)



รูปที่ 5.5 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งโหมดที่ 4 (Tx4)

การเปรียบเทียบความแรงสัญญาณที่รับได้ระหว่างสายอากาศส่งทั้ง 4 แสดงดังรูปที่ 4.5

สำหรับสายอากาศส่งโหมดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยคือ -37.37 dBm, สายอากาศส่งโหมดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยคือ -
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

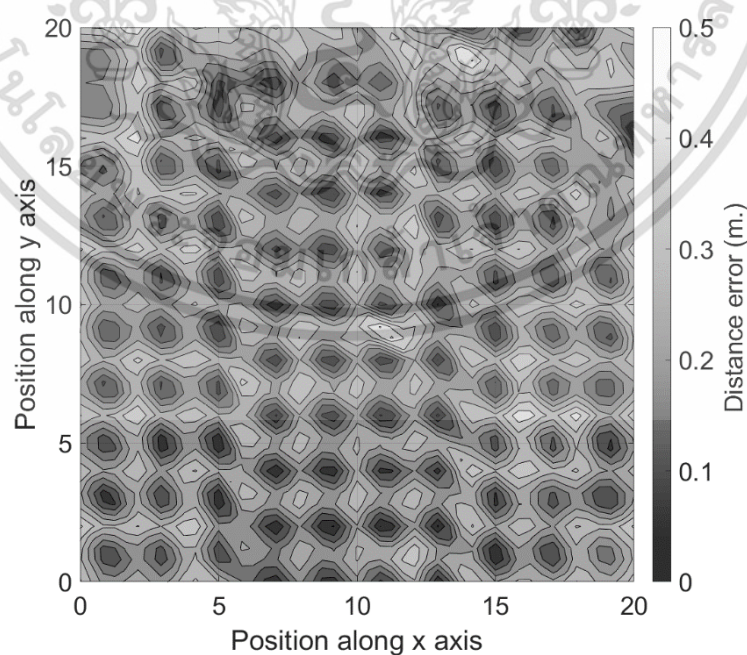
41.60 dBm, สายอากาศส่งโหนดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยคือ -40.68 dBm และสายอากาศส่งโหนดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยคือ -36.52 dBm สายอากาศส่งโหนดที่ 4 มีความแรงสัญญาณที่รับได้เป็นค่าสูงสุด แต่สายอากาศส่งโหนดที่ 2 จะมีความแรงสัญญาณที่รับได้เป็นค่าต่ำสุด.

5.3 ผลการทดลองวิจัยแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

การประเมินผลความแม่นยำในการหาตำแหน่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของระยะทาง ดังสมการที่ (3.8) ได้แสดงในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัดด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ซึ่งอาศัยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพันธ์ และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ ดังนั้นผลการทดลองวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ คืออาศัยอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพันธ์โดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์โดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งขั้นตอนการแสดงผลค่าความผิดพลาดของระยะทาง

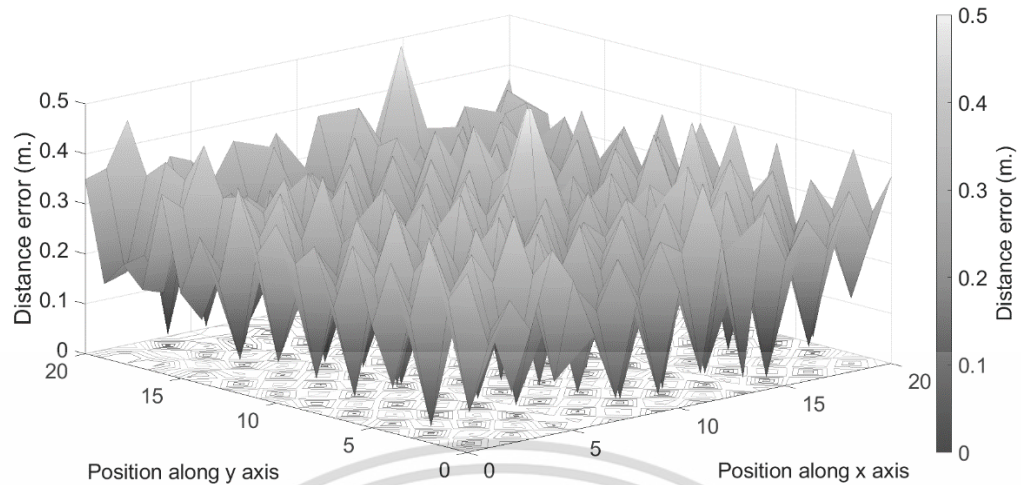
5.3.1 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์

จากผลการทดลองได้แสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองการวัด ดังรูปที่ 5.6 พบว่าผลการทดลองวิจัยนี้ ถ้ากำหนดแฟคเตอร์การถ่วงน้ำหนัก λ และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

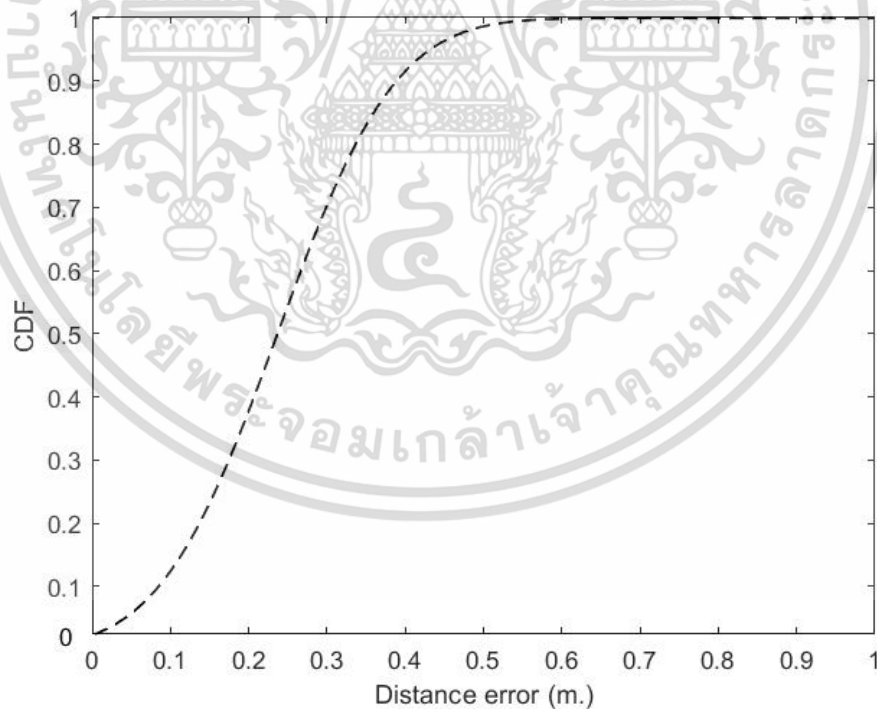


(ข)

รูปที่ 5.6 ตัวอย่างในการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทางในรูปกราฟคอนทัวร์ของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

(ก) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(ข) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ



รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดของระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาดของระยะทางนี้ คือประมาณ 0.11839 เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.23679 เมตร และค่าความแปรปรวนอยู่ที่ 0.014015 จากผลของค่าความผิดพลาดของระยะทาง

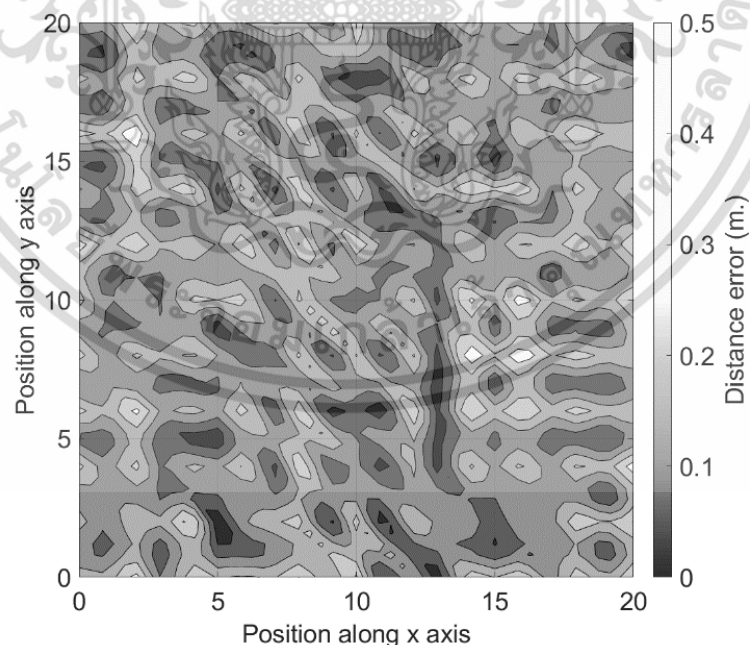
5.3.2 ผลการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์

เมื่อนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปผ่านการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์แล้ว จะเห็นได้ว่าค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นหรือสัญญาณที่รับได้มีความแรงขึ้นนั่นเอง เนื่องจากการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์

ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร

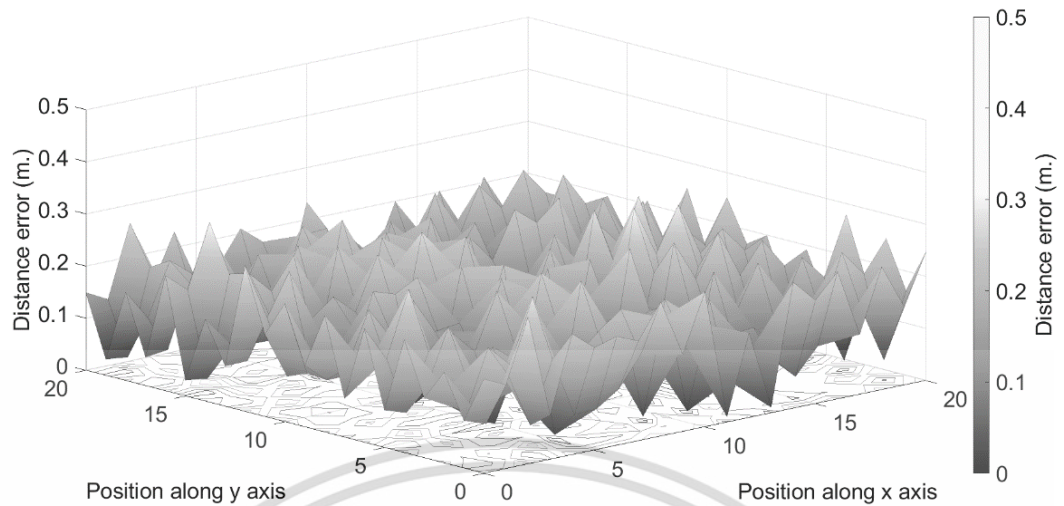
ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงค่ากำลังงานของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล ซึ่งจะแสดงในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้

จากรูปที่ 5.9 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดของระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาดของระยะทางนี้ คือประมาณ 0.07109 เมตร มีค่าเฉลี่ย 0.13652 เมตร และค่าความแปรปรวนอยู่ที่ 0.00505 จากผลของค่าความผิดพลาดของระยะทาง จุดสูงสุดของการวัดหาตำแหน่งเกิดขึ้นที่พิกัด (14, 8) ของแกน และค่าต่ำสุดเกิดขึ้นที่พิกัด (20, 19) ของแกน



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

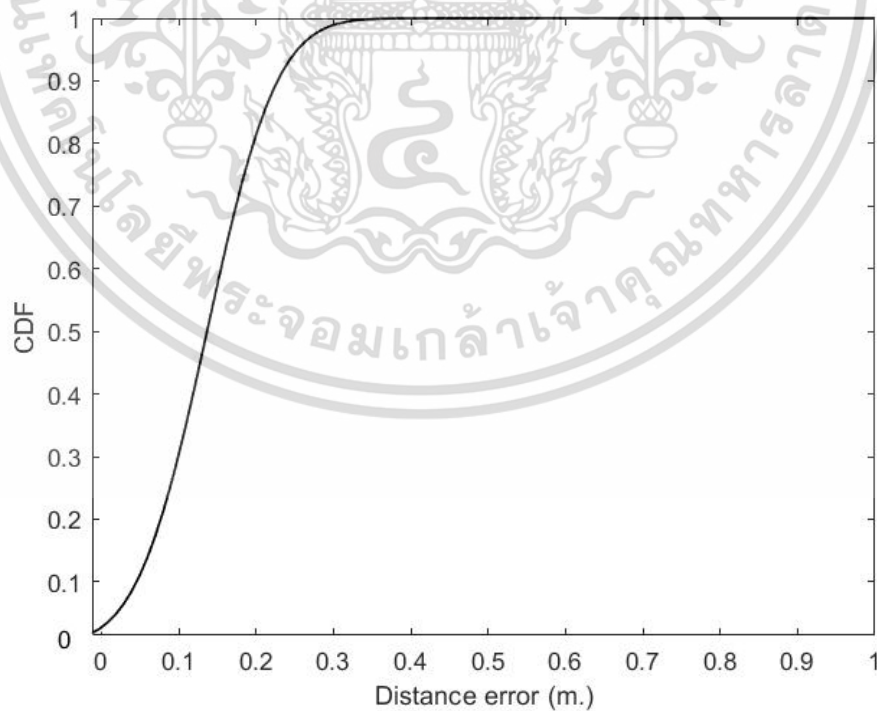


(ข)

รูปที่ 5.8 ตัวอย่างในการพิจารณาความผิดพลาดของระยะทางในรูปกราฟคอนทัวร์ของความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

(ก) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(ข) ความผิดพลาดของระยะทางที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ

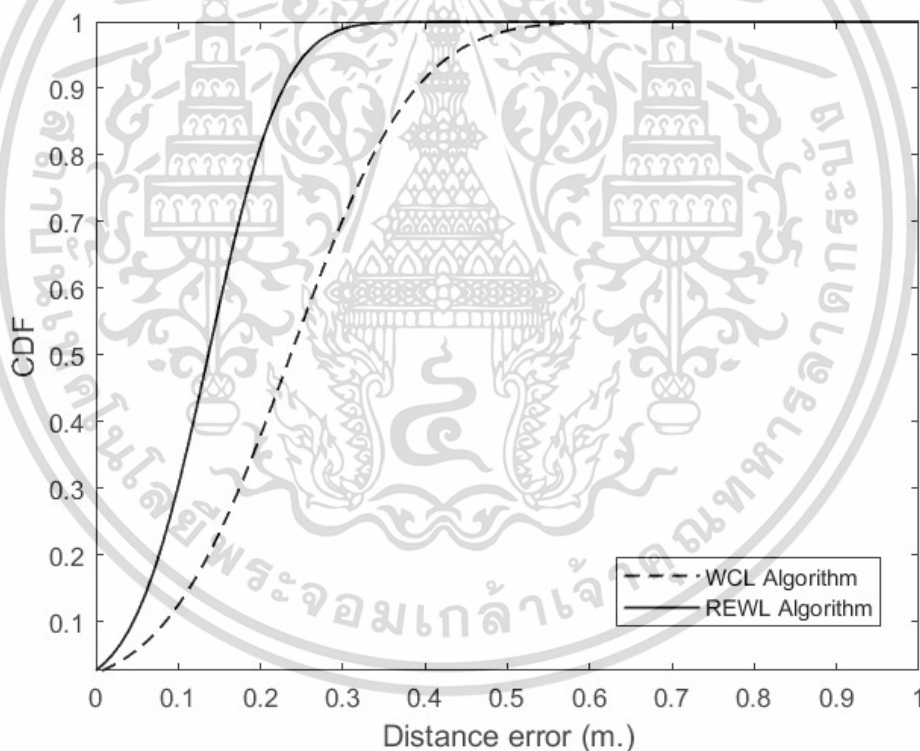


รูปที่ 5.9 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมความผิดพลาดระยะทางของการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการเปรียบเทียบของความผิดพลาดของระยะทางด้วยฟังก์ชันการแจกแจง สะสมของความผิดพลาดของระยะทาง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพของความแม่นยำในการหาตำแหน่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาจากค่าความผิดพลาดของระยะทางโดยแสดงในรูปทางสถิติ CDF และส่วนใหญ่การพิจารณาความผิดพลาดของระยะทางด้วยการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุได้แสดงผลในทางสถิติตั้งนั้นจากการคำนวณดังสมการที่ (2.18) ผลการทดลองแสดงค่าความผิดพลาดของระยะทางในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ในผลของการทดลองวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางระหว่างการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบการถ่วงน้ำหนักเซนทรอยด์ และการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 5.10 และจากตารางที่ 5.2 เห็นได้ว่าการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ให้ประสิทธิภาพของความแม่นยำในการหาตำแหน่งได้มากกว่าการหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์กว่า 10% จากการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบ CDF ของความผิดพลาดระยะทางระหว่างการหาตำแหน่งด้วยการถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์ และการหาตำแหน่งด้วยการถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างความผิดพลาดระยะทางโดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งจากการประมาณค่ารูปแบบสำหรับ 4 โหนด [26-27]

ตำแหน่งที่ต้องการ		การหาตำแหน่งแบบใช้โครงข่ายส่งสัญญาณ 4 โหนด		ประสิทธิภาพการหาตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น
x	y	การถ่วงน้ำหนักแบบเซนทรอยด์	การถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์	
0	0	0.3580	0.1806	17.74%
0	20	0.3483	0.1491	19.92%
10	10	0.3160	0.0825	23.35%
20	0	0.3683	0.2463	12.20%
20	20	0.3716	0.1671	20.45%

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz สำหรับ 4 โหนด

เทคนิคการหาตำแหน่งแบบโครงข่ายส่งสัญญาณ 4 โหนด	ค่าน้อยที่สุด (เมตร)	ค่ามากที่สุด (เมตร)	ค่าเฉลี่ย (เมตร)
กรณีแบบเซนทรอยด์	0.0025	0.5140	0.2368
กรณีแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์	0	0.3050	0.1365
ประสิทธิภาพการหาตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น		10.03%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและประเมินผลการหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 5.8 GHz โดยนำเสนอการประเมินผลของการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาโดยการเปรียบเทียบความแม่นยำในการหาตำแหน่งได้วิเคราะห้ด้วยใช้อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์และอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ ซึ่งพิจารณาจากพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้มาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบจำลองการภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร ในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาผลการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่งภายในอาคารพิจารณาความผิดพลาดที่ได้เมื่อเทียบในทางสถิติกับ CDF

ตารางที่ 6.1 ผลจากการประมาณค่าสำหรับทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์ [27]

อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์				
ค่าการถ่วงน้ำหนัก (g)	ความผิดพลาดของระยะทาง (เมตร)			ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร
	ค่าเฉลี่ย	มากที่สุด	น้อยที่สุด	
$g = 0.5$	1.89	4	0.32	0.11
$g = 1$	1.22	4	0.13	0.41
$g = 1.5$	0.78	4	0.21	0.75
$g = 2$	0.72	4	0.05	0.62
$g = 2.5$	0.76	4	0.01	0.77
$g = 3$	0.85	4	0.01	0.63
$g = 3.5$	0.92	4	0.01	0.60
$g = 4$	0.99	4	0.01	0.55
$g = 4.5$	0.99	4	0.01	0.55
$g = 5$	0.99	4	0.01	0.55

จากตารางที่ 6.1 ผลการประมาณค่าของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งแบบเซนทรอยด์จะพิจารณาค่า g เป็นสำคัญ ซึ่งเป็นค่าในการถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งและต้องเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลให้ความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด จากผลการการประมาณที่ได้กำหนดค่า g ทั้งหมด 10 ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดของความผิดพลาดระยะทางจะไม่คงที่ ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดจะอยู่ที่ระยะทาง 5 เมตร ในตารางปรากฏการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งได้ค่าการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระดับที่ $g=2$

ตารางที่ 6.2 ผลจากประมาณค่าสำหรับการทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ [27]

อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์				
ค่าการถ่วงน้ำหนัก (λ)	ความผิดพลาดของระยะทาง (เมตร)			ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับ CDF ในระยะทาง 1 เมตร
	ค่าเฉลี่ย	มากที่สุด	น้อยที่สุด	
$\lambda = 0.1$	1.24	1.7	0.090	0.50
$\lambda = 0.15$	0.9	4.7	0.095	0.51
$\lambda = 0.2$	0.65	1.72	0.012	0.85
$\lambda = 0.25$	0.75	1.65	0.092	0.78
$\lambda = 0.3$	0.85	2.15	0.01	0.70

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองวิจัยความผิดพลาดของระยะทางโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ความถี่ 5.8 GHz สำหรับ 4 โหนดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เทคนิคการหาตำแหน่ง	ค่าน้อยที่สุด (เมตร)	ค่ามากที่สุด (เมตร)	ค่าเฉลี่ย (เมตร)
แบบโครงข่ายส่งสัญญาณ 4 โหนด			
กรณีแบบเซนทรอยด์	0.0025	0.5140	0.2368
กรณีแบบเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์	0	0.3050	0.1365
ประสิทธิภาพการหาตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น	10.03%		

จากตารางที่ 6.2 ผลการประมาณค่าสำหรับใช้ในทดลองของอัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักหาตำแหน่งเลขชี้กำลังขอบเขตสัมพัทธ์ พิจารณาค่า λ เป็นสำคัญ ซึ่งเป็นค่าในการถ่วงน้ำหนักสำหรับการหาตำแหน่งและต้องเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะส่งผลให้ความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด จากผลการทดลองได้กำหนดค่า λ ทั้งหมด 5 ค่า จะพบว่าค่าเฉลี่ยและค่าน้อยที่สุดของความผิดพลาด

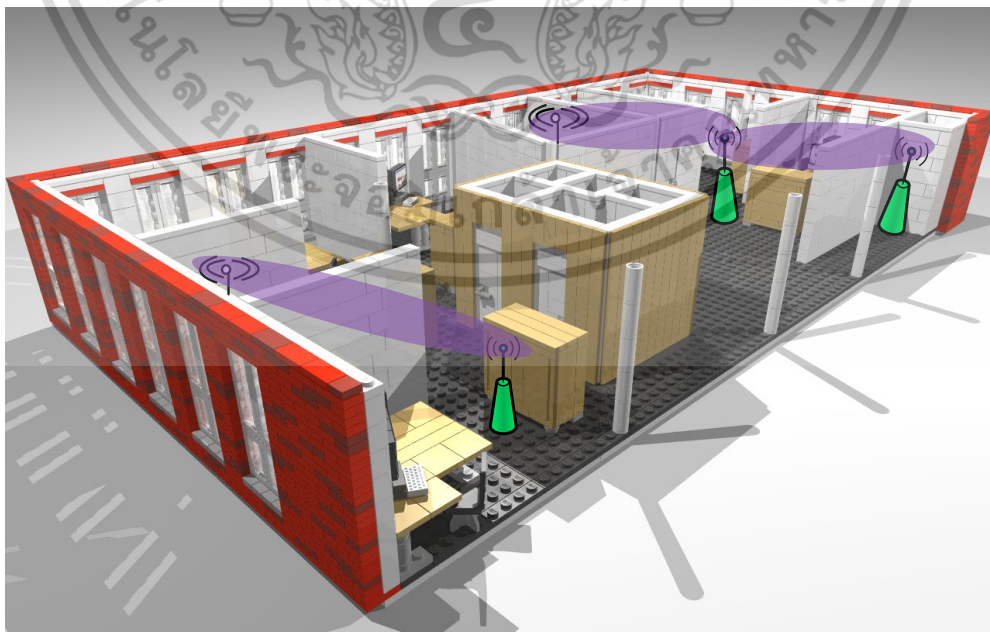
พลาตระยะทางจะไม่คงที่ ค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดจะอยู่ที่ระยะทาง 4.7 เมตร มิฉะนั้นจึงได้ค่าการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดอยู่ระดับที่ $\lambda = 0.2$

แบบแผนและแนวคิดที่ได้นำเสนอของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จากผลการทดลองวิจัยได้เห็นประจักษ์แล้วว่าดีขึ้นตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.3

6.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ประเมินผลการหาตำแหน่งภายในอาคารในสภาวะที่มองเห็นด้วยระดับสายตาหรือภายในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของใดๆ ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง ซึ่งจะเป็นแนวทางการวิจัยในอนาคตที่จะทำการทดลองประเมินผลประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยสภาวะที่มองไม่เห็นด้วยระดับสายตา (Non line of sight) และในสภาวะแวดล้อมที่มีวัตถุหรือสิ่งของอยู่ในพื้นที่ที่ทำการทดลอง

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมในการหาตำแหน่งในปัจจุบันยังไม่สามารถให้ผลได้อย่างแม่นยำจนเป็นที่น่าพอใจได้มากนัก แต่ผลจากการนำอัลกอริทึมในการหาตำแหน่งมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีทำให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน ซึ่งประเด็นหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในการใช้งานก็คือการที่สามารถนำอุปกรณ์มาใช้งานได้อย่างสะดวกและสามารถออกแบบระบบได้อย่างรวดเร็ว อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ได้มีการติดตั้งฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็นต่างๆ ภายใต้อุปกรณ์ไว้เรียบร้อยแล้ว อัลกอริทึมการถ่วงน้ำหนักทั้งสองอัลกอริทึมเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เพื่อการหาตำแหน่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย อันเนื่องมาจากความที่ไม่ซับซ้อนสามารถทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็วและใช้ทรัพยากรน้อย



รูปที่ 6.1 โครงข่ายการสื่อสารไร้สายภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง LOS และ NLOS [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้ใช้อุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีจำนวนสี่อันซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยที่สุดที่เป็นไปเป็นได้ในการหาตำแหน่งด้วยอัลกอริทึมทั้งสองแบบ โดยหากเพิ่มจำนวนอุปกรณ์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซิกบีจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพในการหาตำแหน่ง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองในอนาคต ดังนั้นในวิทยานิพนธ์เป็นเทคนิคหนึ่งเท่านั้นที่ใช้ในการหาตำแหน่งแต่ก็ยังมีเทคนิควิธีการอื่นที่น่าสนใจ และสามารถที่ทำให้การหาตำแหน่งมีความเที่ยงตรงที่มากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] K. Pahlavan, X. Li, and J. Makela, "Indoor Geolocation Science and Technology IEEE Communication Magazine," vol. 40, no. 2, pp. 112-118, Feb. 2002.
- [2] M. Sugano and T. Kawazoe, "Indoor localization system using RSSI Measurement of wireless sensor network based 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] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor network," IEEE Communication Magazine, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [5] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," IEEE Transactions, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [6] J. Blumenthal, F. Reichenbach and D. Timmermann, "Position Estimation in Ad hoc Wireless Sensor Networks with Low Complexity," In Joint 2 nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication and 1st Ultra-Wideband Expert Talk, pp. 41-49, Mar. 2005.
- [7] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [8] P. Kristalina, W. Wirawan and G. Hendranto, "Improved Range-free Localization Methods for Wireless Sensor Networks," international Conference. on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), pp. 15-1, Jul. 2011.
- [9] S. Schwarzer, M. Vossiek, M. Pichler and A. Seltzer, "Precise Distance Measurement with IEEE 802.15.4 (Zigbee) Devices," Radio and Wireless Symposium IEEE, pp.779-782, Jan. 2008.
- [10] Y. Chen, Q. Pan, Y. Liang and Z. Hu, "Adaptive Weighted Centroid Target Localization Algorithm Based on RSSI in WSN," Computer Science and info-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- mation Technology (ICCSIT), 3rd IEEE International Conference, pp. 331-336, Jul. 2010.
- [11] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golatowski, and D. Timmermann, “Weighted centroid localization in Zigbee-based sensor networks,” International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP '07), pp.1-6, Oct. 2007.
- [12] P. Bahl and V. Padmanabhan, “RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system,” in Proc. 19th IEEE INFOCOM, 2000, vol. 2, pp. 775–784.
- [13] Y. Jie and C. Yingying “Indoor Localization Using Improved RSS-Based Lateration 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. Laurendeau and M. Barbeau, “Relative span weighted localization of uncooperative nodes in wireless networks,” 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 2 nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication and 1st Ultra-Wideband Expert Talk, pp. 41–49, Mar. 2005.
- [17] K. langendoen and N. Reijers, “Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison,” Elsevier, 2003.
- [18] 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.
- [19] P. Bahl and V. Padmanabhan “RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System,” IEEE INFOCOM. vol. 2, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [20] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy “Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting,” IEEE INFOCOM. vol. 2, pp. 1012-1022, Mar. 2004.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] P. Prasithsangaree, P. Krishnamurthy and P. Chrysanthis “On Indoor Position Location with Wireless LANs,” The 13th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2002). vol. 2, pp. 720-724, Sep. 2002.
- [22] C. Gentile and L. Berndt “Robust Location using System Dynamics and Motion Constraints,” Proc. IEEE international conference communication, vol. 3, pp. 1360-1364, Jun. 2004.
- [23] N. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan “The Cricket Location-Support System,” Proc. 6th ACM MOBICOM Conf. vol. 1, pp. 32-43, Aug. 2000.
- [24] L. Tan, F. Luo and K. Liu, “Weighted centroid localization algorithm in wireless sensor,” IET International Communication Conference, 2011.
- [25] P. Pivato, L. Palopoli and D. Petri, “Accuracy of RSS-Based Centroid Localization Algorithms in an Indoor Environment,” IEEE Transection on Instrumentation and Measurement, vol. 60, Oct. 2011.
- [26] J. Thongkam, 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.
- [27] J. Thongkam, J. Sangthong, P. Supanakoon, and S. Promwong “Evaluation of ZigBee Sensor Network Localization by using Relative-Span Exponentially Weighted Localization Algorithm,” 2013 International Conference on Embedded System and Intelligent Technology (ICESIT), Nong Khai, Thailand, Jan, 2013.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานที่ได้นำเสนอการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] T. Mankong, M. M. Maw and S. Promwong, "5.8 GHz Wireless Localization Based Weighted Algorithm for Home Network Applications," 2020 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICEAST50382.2020.9165304.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONFERENCE PROCEEDING



1-4 July 2020

www.iceast2020.org

The logo for ICEAST 2020 features a large red 'i' with a '6th' superscript, followed by 'ceast' in black and '2020' in red. Below the logo, it says 'Chiang Mai, Thailand'. The background is a collage of images: a scientist in a lab coat using a microscope, a woman in traditional Thai attire holding a red umbrella, and a network diagram with blue nodes and lines. The entire design is set against a backdrop of a mountain landscape at sunset.

6th iceast 2020
Chiang Mai, Thailand

FIT
Fukuoka Institute of Technology
福岡工業大学

TORAI
THAILAND UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGY

BTS IEEE BT Society
Thailand Chapter

ENGINEERS
LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 GHz Wireless Localization Based Weighted Algorithm for Home Network Applications

Thanadon Mankong
 Department of Telecommunication
 Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute
 of Technology Ladkrabang,
 Bangkok 10520, Thailand
 tipbodeem@gmail.com

Myo Myint Maw
 Department of Computer Engineering
 and Information Technology Mandalay
 Technological University, MTU
 Mandalay, Myanmar
 myomyintmawphdit5@gmail.com

Sathaporn Promwong
 Department of Telecommunication
 Engineering, Faculty of Engineering,
 King Mongkut's Institute
 of Technology Ladkrabang,
 Bangkok 10520, Thailand
 sathaporn.pr@kmitl.ac.th

Abstract—New wireless network solution, the distributed network nodes short range area are unknown. This paper, consider the accuracy with weighted algorithm (WA) based on wireless network received signal strength is evaluated for localization. The wireless transmission model using wireless ISM band with four reference nodes and one target node operated at frequency of 5.8 GHz. Distance error is used to evaluate the precision of location approximation with respected to the CDF. The received signal strength in measurement field is presented in this paper. The contributes of this paper is useful for a study in an indoor positioning with 5.8 GHz for future home network applications.

Keywords—component; indoor localization, weighted algorithm, wireless localization, wireless sensor network, received signal strength

I. INTRODUCTION

Wireless Sensor Networks (WSNs) has been mentioned in more research. WSNs has also been applied for practical use in various sectors such as the military that has been used to detect vibrations when attacking with heavy weapons within the territory where the sensors are installed or detecting the movement of opponents passing in the designated area. Geological has been used to install sensors in the crater to check the vibration before the volcanic eruption and to explore the ocean have installed sensors to check various physical parameters such as temperature, pressure at various depths. All of these are to bring various physics information from the detection or measurement of sensor networks for analysis in the central area or use as static data to share with interested parties. Moreover, modern wireless sensor networks, e.g., target routing, robot tasking, data processing, are require a precision of position approximation [1] and [4]. With respected to a separation distance between target and reference, the wireless positioning can be categorize as range-based and range-free localization algorithms. A proper positioning method shall be calculate the position as soon as possible and should tolerate the influence of the environment, including uncertain distances. A desired algorithm of localization is the weighted localization (WL) with wireless ISM band at 5.8 GHz.

The wireless technology is a low-cost, low-rate, and short-range system in the wireless localization, which is satisfied IEEE 802.15 standard under FCC for medium access control (MAC) and physical layer [6]. The features of UWB are shown as follows: 1) high reliability and time-saving, 2) distance ranging from 1m. to 100 m. 3) video surveillance, industrial control, work environment, and medical and 4) data rate ranging from 125 kbps to 250 kbps.

This paper studies experimental WL algorithm based on received signal strength (RSS) for UWB network. The wireless ISM band technology operated 5.8 GHz frequency was used to measure in the indoor environment. The accuracy of estimated position is considered in the term of distance error. The cumulative distribution function (cdf) of distance error is shown.

The rest of our paper is organized as follows Section II describes algorithm model. The measurement data and results of this paper are explained in Section III. Finally, the conclusion is given in section IV.

II. WIRELESS TRANSMISSION MODEL

A. RSS Parameters

The ranging received signal strength (RSS) is the output parameters from 5.8 GHz wireless communication. Therefore, the propagation distances error of the wireless signal is increased, the received signal strength presents exponential decay. Using RSS, the difference distance between reference node and the target nodes can be measured [4].

$$PL(l)[dB] = PL(l_0) + 10n \log\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (1)$$

where the path loss is $PL(l)$ and distance is l . We set the value of distance l_0 is 1(m) and get the value of $PL(l_0)$.

We to know RSS value and be able to calculates distance from reference node l_0 to target node l follow (2)

$$l = l_0 \cdot 10^{\left[\frac{PL(dB) - PL(l_0)}{10n}\right]} \quad (2)$$

B. Weighted Localization method

The weighted localization (WL) is very good for accuracy estimation localization more CL where WL consists of target node and reference node. More efficient of the hardware equipped with reference node and target node localization consists of minimal hardware. For localization, consider WL algorithm. In first phase, target node and reference node define. For second phase, the received signal strength measure to each reference node at every target node. And third phase using WL algorithm to find the position of target node. [2-3], [5-7].

The centroid localization (CL) is operated well by average the reference position coordinate and target position coordinate to estimate the desired target. However, the weighted localization method is introduce to increase the performance of the CL, hereafter is call weighted algorithm (WA) [3]. The mathematics form of WA is describe in Eq. (3) and the extended form of WA with the replacing with weight component w_i is describe in Eq. (4).

$$P'_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i(x_i, y_i) \quad (3)$$

$$P''_i = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i a_i(x_i, y_i))}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

Where P''_i approximated position of target node WL is, w_i is weight of distance l_i and n is number of reference node in range.

From (4) can solution follow (5) and (6)

$$x = \frac{(\frac{1}{l_1} \times x_1) + (\frac{1}{l_2} \times x_2) + (\frac{1}{l_3} \times x_3) + \dots + (\frac{1}{l_n} \times x_n)}{\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} + \dots + \frac{1}{l_n}} \quad (5)$$

$$y = \frac{(\frac{1}{l_1} \times y_1) + (\frac{1}{l_2} \times y_2) + (\frac{1}{l_3} \times y_3) + \dots + (\frac{1}{l_n} \times y_n)}{\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} + \frac{1}{l_3} + \dots + \frac{1}{l_n}} \quad (6)$$

The positioning error $f_i(x, y)$ is defined as separation distance between the actual location $P_i(x, y)$ and the estimate location $P'_i(x, y)$ of a target.

$$f_i(x, y) = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (7)$$

A weight component w_i is related to the function of receiver characteristics and the separation distance between reference target and desired target. The weight component can be different due to the variety kind of applications and environment. It is noted that weight component in close distance is higher than in far distance. Therefore, w_i and l_i are opposite to each other as describe in Eq. (8).

$$w_i = \frac{1}{(l_i)^g} \quad (8)$$

where l_i is distance between reference node a_i , target node P_i , g is adjustable degree.

The degree g is necessary to guarantee the location estimation by not set the degree g value too high else the distance error $f_i(x, y)$ will increase, while the lowest distance error is appear when the degree g is ideal.

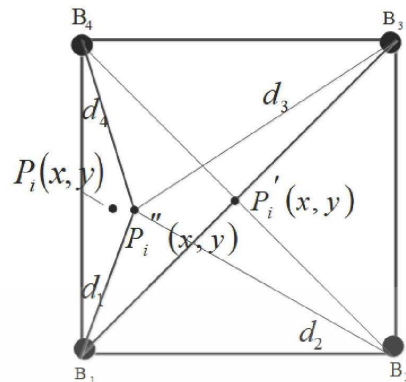


Fig. 1. Localization estimation of network node $P'_i(x, y)$ and WL $P''_i(x, y)$ with measured distances d_i of reference node [3]

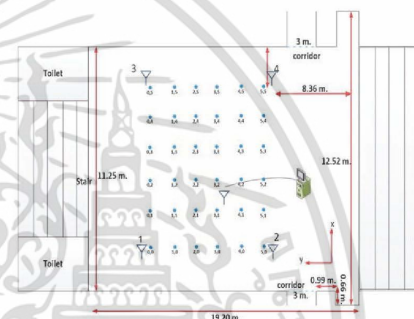


Fig. 2. The localization model and measurement setup

III. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS DISCUSSION

A. Experimental Setup

The experiment was done in the indoor environment at KMITL building with no undesired object in the testing field. To ensure the precision of the positioning of the experiment. The received signal strength (RSS) is consider for evaluate and analyze the indoor localization with 5.8 GHz, which typically used in ISM band. The localization experiment model with the 36 testing points, testing field area of 6×6 m is illustrate in Fig. 2. The separation distance between each testing position is 1 m along both x and y coordinate.

B. Results Discussion

The distance error of estimated distances error is shown in the term of cdf.

For the distance error in x, y axes of WL algorithm define $g = 1$, the average of distance error is 1.2 m as shown in Fig. 3.

For the distance error in x, y axis of WCL algorithm defines $g = 2$, the average of distance error is 0.71 m as shown in Fig. 4.

For the distance error in x, y axis of WL algorithm defines $g = 3$, the average of distance error is 0.8 m as shown in Fig. 5.

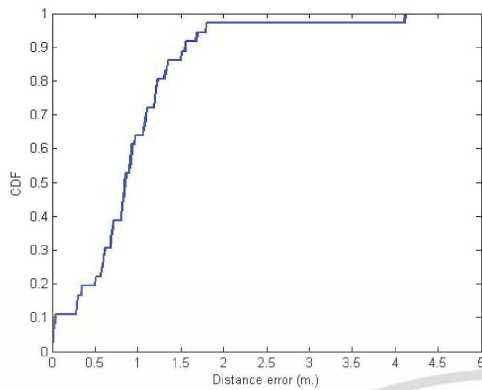


Fig. 3. Simulation of the distance error with range with different weight (w_i), $g=1$.

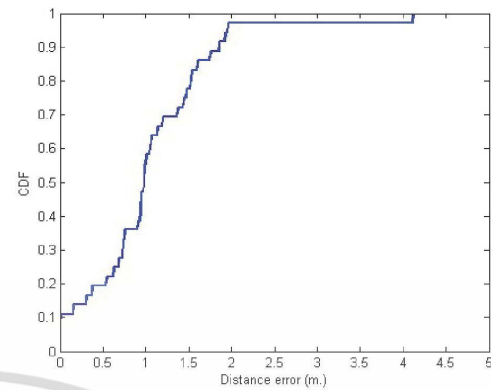


Fig. 6. Simulation of the distance error with range with different weight (w_i), $g=4$.

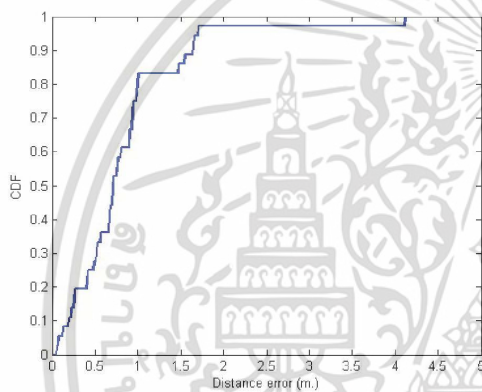


Fig. 4. Simulation of the distance error with range different weight (w_i), $g=2$.

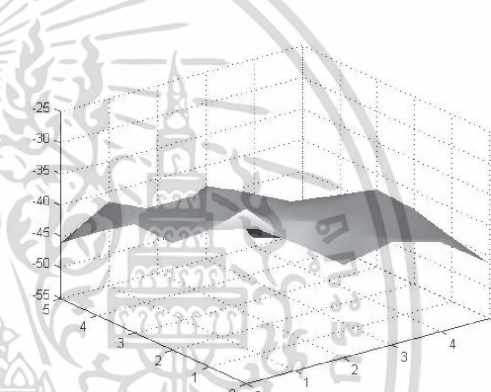


Fig. 7. Average values the RSSI of reference node 1 (Coordinates 0, 0)

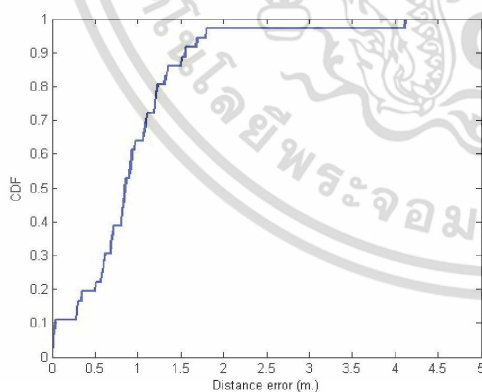


Fig. 5. Simulation of the distance error with range with different weight (w_i), $g=3$.

For the distance error in x, y axes of WCL algorithm define $g = 4$, the average of distance error is 0.98 m as shown in Fig. 6

To determine the optimal g , we simulated a full equipped wireless network of the enclosed 2×2 reference node (4 nodes). The shown figures (4, 5 and 6) represent the cdf of the distance error with different weight localization. The agreeable simulation shows several minimum distance errors depending on the distance and the adjustable degree (g). The smallest minimum of the distance error exists at $g = 2$ bestows the best result for Fig. 2. Hence, before starting the localization process, an arduous analysis of the distance, transmission range and the dimensions of the network are necessary to get smallest distance error.

Figs. 7-10 show RSS value of reference node 1, 2, 3 and 4 for each position following the model and measurement setup in Fig. 2. The value is plotted by collecting RSS value for all the specified positions.

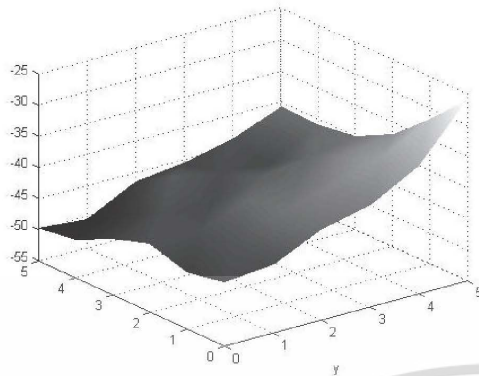


Fig. 8. Average values the RSSI of reference node 2 (Coordinates 0, 5)

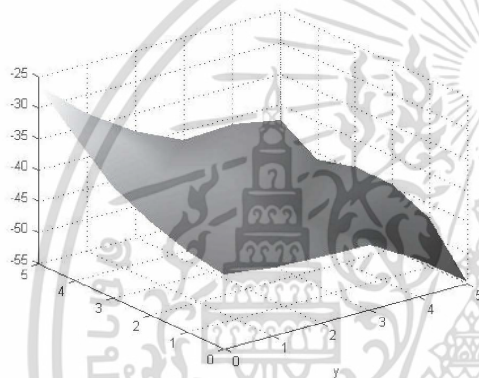


Fig. 9. Average values the RSSI of reference node 3 (Coordinates 5, 0)

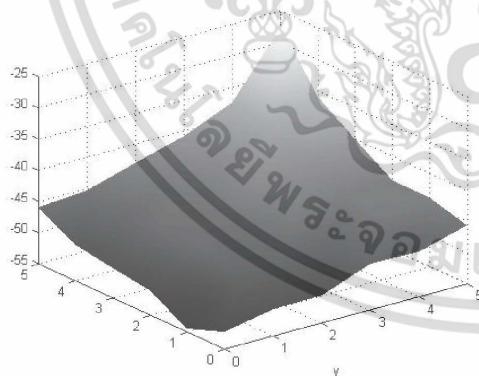


Fig. 10. Average values the RSSI of reference node 4 (Coordinates 5, 5)

IV. CONCLUSIONS

This paper present a addition wireless localization algorithm with 5.8 GHz based on WA. The objective of this paper

is aim to used for future home networks applications. The measurement data was collected by using vector network analyzer in associate with 5.8 GHz frequency band antenna. The results show by compare the CDF of distance error at different weighted component and degree g . The measured RSS at different reference position, is also present in this paper, which show a good agreement with the theory. The contributes of this paper will be useful for further design and evaluate of indoor localization with 5.8 GHz in the future.

REFERENCES

- [1] X. Zhang, C. Tepedelenioglu, M. Banavar, A. Spanias, W. Tranter, "Node Localization in Wireless Sensor Networks," in *Node Localization in Wireless Sensor Networks*, Morgan & Claypool, 2016.
- [2] B. Eitzlinger, H. Wymeersch, "Synchronization and Localization in Wireless Networks," in *Synchronization and Localization in Wireless Networks*, now, 2018.
- [3] R. Zekavat, R. Michael Buehrer, "Localization Sensor Error Measures and Analysis," in *Handbook of Position Location: Theory, Practice, and Advances*, IEEE, 2019.
- [4] W. Vinichayakul and S. Promwong, "Performance comparison between UWB and NB propagation models for an indoor localization," *The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014)*, Pattaya, pp. 299-302, 2014.
- [5] W. Vinichayakul, R. Uppahad, P. Supanakoon and S. Promwong, "Study on performance of ultra wideband and narrow band propagation for an indoor positioning," *2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, Malacca City, pp. 194-198, 2016.
- [6] J. Sangthong, S. Promwong and P. Supanakoon, "Comparison of UWB fingerprinting with vertical and horizontal polarizations for indoor localization," *ECTI-CON2010: The 2010 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, Chiang Mai, pp. 588-592, 2010.
- [7] J. Thongkam, P. Supanakoon and S. Promwong, "Evaluation of Indoor Localization with Range-Free Weighted Localization Algorithm," *2018 Global Wireless Summit (GWS)*, Chiang Rai, Thailand, pp. 11-14, 2018.

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลของหาตำแหน่งภายในอาคาร
โดยใช้อุปกรณ์โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย 5.8 GHz

1. ตารางแสดงการวัดค่าความแรงของสัญญาณของโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัว

1.1 ตารางการเก็บแสดงข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ 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	-26	-27	-26	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-26.8
0,1	-34	-34	-32	-32	-34	-34	-32	-34	-32	-32	-33.0
0,2	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-38	-38	-38	-38	-37.9
0,3	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-37.6
0,4	-42	-41	-41	-41	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-41.7
0,5	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-47	-46	-46	-46.1
1,0	-34	-34	-35	-35	-35	-34	-35	-34	-34	-35	-34.5
1,1	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35	-35.0
1,2	-37	-36	-36	-37	-37	-37	-36	-36	-37	-36	-36.5
1,3	-38	-38	-38	-38	-38	-41	-40	-40	-41	-410	-39.3
1,4	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
1,5	-41	-42	-42	-41	-41	-41	-42	-42	-41	-41	-41.5
2,0	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.1
2,1	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36
2,2	-38	-38	-38	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38.1
2,3	-42	-41	-42	-42	-41	-42	-42	-42	-42	-42	-41.8
2,4	-40	-40	-39	-39	-39	-41	-40	-40	-40	-41	-39.9
2,5	-47	-48	-47	-47	-47	-48	-48	-48	-48	-48	-47.6
3,0	-40	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3,1	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
3,2	-40	-41	-40	-40	-41	-41	-40	-41	-41	-40	-40.5
3,3	-43	-40	-40	-40	-43	-43	-43	-40	-43	-40	-41.5
3,4	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41.5
3,5	-42	-42	-42	-42	-42	-45	-45	-44	-44	-44	-43.2
4,0	-39	-39	-40	-40	-39	-41	-42	-42	-42	-42	-40.6
4,1	-42	-42	-42	-42	-43	-41	-42	-42	-42	-42	-42.0
4,2	-42	-42	-42	-42	-42	-41	-42	-42	-42	-42	-41.9
4,3	-42	-42	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-42.8
4,4	-44	-44	-44	-46	-46	-44	-44	-47	-47	-47	-45.2
4,5	-51	-51	-52	-52	-52	-56	-55	-56	-56	-56	-53.7
5,0	-47	-46	-46	-47	-46	-45	-46	-46	-46	-46	-46.1
5,1	-44	-45	-45	-45	-45	-44	-44	-45	-46	-45	-44.8
5,2	-43	-44	-43	-44	-44	-44	-43	-44	-43	-43	-43.5
5,3	-44	-44	-40	-44	-44	-42	-42	-42	-42	-42	-42.6
5,4	-46	-47	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46.1
5,5	-56	-56	-55	-55	-55	-56	-57	-56	-57	-56	-55.9

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	-45	-46	-46	-45	-46	-44	-44	-44	-44	-44	-44.8
0,1	-45	-45	-45	-45	-45	-47	-47	-47	-46	-47	-45.9
0,2	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44.0
0,3	-46	-46	-46	-47	-46	-45	-46	-46	-46	-46	-46.0
0,4	-47	-47	-47	-47	-47	-51	-51	-51	-51	-51	-49.0
0,5	-50	-51	-52	-52	-52	-48	-48	-48	-49	-48	-49.8
1,0	-43	-43	-43	-43	-43	-45	-45	-45	-45	-45	-44.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,1	-45	-45	-44	-44	-44	-42	-43	-43	-43	-43	-43.6
1,2	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-45	-44	-44.1
1,3	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-45	-44	-44	-44.1
1,4	-49	-50	-49	-49	-49	-45	-45	-45	-45	-45	-47.1
1,5	-50	-51	-50	-51	-51	-50	-50	-50	-50	-51	-50.4
2,0	-41	-40	-41	-41	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-40.4
2,1	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-40	-40	-40	-40	-40.1
2,2	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-42	-41	-41	-41.2
2,3	-46	-45	-45	-44	-45	-45	-44	-44	-45	-45	-44.8
2,4	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-42	-42.9
2,5	-47	-47	-47	-47	-48	-46	-46	-46	-46	-46	-46.6
3,0	-38	-38	-39	-39	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-38.7
3,1	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-39	-38	-38.1
3,2	-41	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40.9
3,3	-42	-42	-42	-42	-43	-42	-43	-43	-42	-43	-42.4
3,4	-43	-43	-43	-43	-43	-46	-46	-46	-46	-46	-44.5
3,5	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-45	-45	-45	-45	-45.6
4,0	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-35	-35	-35	-35	-34.4
4,1	-36	-36	-35	-35	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-35.8
4,2	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38.0
4,3	-42	-42	-42	-41	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41.4
4,4	-46	-46	-46	-46	-46	-44	-44	-45	-44	-44	-45.1
4,5	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44.0
5,0	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-26.0
5,1	-31	-31	-31	-31	-31	-32	-32	-33	-33	-33	-31.8
5,2	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37.0
5,3	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
5,4	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40.9
5,5	-42	-42	-41	-42	-41	-40	-40	-40	-40	-40	-40.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43.0
0,1	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42.0
0,2	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
0,3	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37	-37.0
0,4	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32.0
0,5	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-27	-26	-27	-27	-26.3
1,0	-46	-46	-46	-46	46	-42	-42	-42	-42	-42	-44.0
1,1	-40	-40	-40	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-40.5
1,2	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
1,3	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-37	-37.5
1,4	-34	-34	-35	-34	-34	-35	-35	-35	-35	-35	-34.6
1,5	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33	-33.0
2,0	-44	-44	-44	-45	-44	-45	-45	-44	-44	-44	-44.3
2,1	-42	-42	-42	-42	-42	-43	-43	-42	-43	-43	-42.4
2,2	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
2,3	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38.5
2,4	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40	-40	-40	-39.5
2,5	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38.0
3,0	-44	-44	-44	-44	-44	-45	-45	-45	-46	-45	-44.6
3,1	-46	-46	-46	-46	-46	-45	-45	-44	-44	-45	-45.3
3,2	-46	-46	-46	-46	-46	-44	-44	-44	-44	-44	-45.0
3,3	-41	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40.9
3,4	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
3,5	-41	-41	-41	-41	-41	-42	-42	-42	-42	-42	-41.5
4,0	-45	-46	-46	-45	-45	-53	-52	-52	-53	-53	-49.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4,1	-49	-48	-48	-48	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-48.7
4,2	-43	-44	-43	-43	-43	-44	-44	-44	-44	-44	-43.6
4,3	-46	-45	-45	-46	-46	-44	-45	-44	-45	-45	-45.1
4,4	-40	-40	-40	-40	-40	-42	-42	-42	-42	-42	-41.0
4,5	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41.0
5,0	-55	-54	-53	-53	-53	-56	-55	-56	-56	-55	-54.6
5,1	-47	-47	-47	-47	-47	-48	-47	-47	-48	-47	-47.2
5,2	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44.6
5,3	-46	-46	-46	-46	-46	-43	-43	-43	-43	-43	-44.5
5,4	-47	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46.1
5,5	-43	-43	-43	-43	-43	-42	-42	-42	-42	-42	-42.5

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	-54	-54	-53	-53	-53	-52	-51	-51	-51	-51	-52.3
0,1	-54	-54	-54	-53	-54	-56	-55	-55	-55	-55	-54.5
0,2	-51	-51	-51	-51	-51	-51	-52	-51	-51	-51	-51.1
0,3	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-51	-50	-50.1
0,4	-49	-49	-49	-49	-49	-50	-50	-49	-49	-49	-49.2
0,5	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46.0
1,0	-52	-52	-52	-52	-52	-49	-49	-49	-50	-50	-50.7
1,1	-48	-48	-48	-48	-48	-47	-47	-47	-47	-48	-47.6
1,2	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46.0
1,3	-46	-46	-46	-47	-47	-45	-45	-45	-45	-45	-45.7
1,4	-45	-46	-46	-46	-46	-47	-47	-47	-47	-47	-46.4
1,5	-46	-46	-46	-46	-46	-44	-45	-45	-45	-45	-45.4
2,0	-49	-49	-49	-49	-49	-52	-52	-52	-52	-52	-50.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารวัดผลของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2,1	-45	-46	-46	-46	-46	-48	-48	-48	-48	-48	-46.9
2,2	-46	-46	-46	-46	-46	+46	-45	-46	-46	-46	-45.9
2,3	-45	-45	-45	-45	-45	-46	-46	-45	-45	-45	-45.2
2,4	-45	-44	-45	-45	-45	-44	-44	-44	-44	-44	-44.4
2,5	-42	-42	-43	-42	-42	-44	-43	-44	-44	-44	-43.0
3,0	-48	-48	-48	-49	-48	-47	-47	-47	-47	-47	-47.6
3,1	-49	-49	-48	-48	-48	-46	-46	-46	-46	-45	-47.1
3,2	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-43	-44	-43	-43	-43.7
3,3	-41	-42	-41	-42	-41	-42	-42	-42	-42	-42	-41.7
3,4	-42	-42	-42	-43	-43	-41	-42	-42	-42	-42	-42.1
3,5	-41	-40	-40	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-40.8
4,0	-49	-49	-48	-48	-49	-47	-47	-47	-47	-47	-47.8
4,1	-44	-45	-45	-45	-45	-45	-44	-45	-44	-44	-44.6
4,2	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44.0
4,3	-41	-41	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41.1
4,4	-39	-39	-39	-39	-39	-38	-38	-38	-38	-38	-38.5
4,5	-38	-38	-38	-38	-38	-37	-37	-37	-37	-37	-37.5
5,0	-46	-45	-45	-45	-45	-46	-46	-46	-46	-46	-45.6
5,1	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44.0
5,2	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44.0
5,3	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40.0
5,4	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36.0
5,5	-28	-28	-28	-28	-28	-27	-27	-27	-27	-27	-27.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธนนัย มั่นคง
 วัน เดือน ปีเกิด 14 พฤศจิกายน 2520
 ที่อยู่ 51/47 หมู่บ้านรุ่งกิจแกรนด์วิสตา ถนน หทัยราษฎร์ แขวง มีนบุรี เขต มีนบุรี
 จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10510
 ประวัติการศึกษา 2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) ระบบการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์คลื่นความถี่ไมโครเวฟ
 2.) ระบบวิทยุดิจิทัล DMR, TETRA และผ่านเครือข่ายโทรศัพท์
 3.) ระบบการส่งสัญญาณผ่านอุปกรณ์บอร์ดแบนด์ไร้สายย่านความถี่ ISM

ประสบการณ์การทำงาน
 พ.ศ.2543-2550 ตำแหน่งวิศวกรโครงการ บริษัท ซีเมนส์ จำกัด
 - ปรับปรุงและทดสอบระบบอุปกรณ์ส่งสัญญาณคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

พ.ศ.2551-2553 ตำแหน่งวิศวกรอาวุโส บริษัท โนเกีย ซีเมนส์ เนตเวิร์คส์ จำกัด
 - ออกแบบ, ทดสอบ, ซ่อมบำรุง และปรับปรุงคุณภาพระบบการส่งสัญญาณ
 อุปกรณ์คลื่นความถี่ไมโครเวฟและอุปกรณ์บอร์ดแบนด์ไร้สายย่านความถี่
 ISM ประจำภูมิภาคเอเชีย

พ.ศ.2558 ตำแหน่งวิศวกรอาวุโส บริษัท ไฮเทร่า จำกัด
 - ดูแลระบบงานวิทยุดิจิทัล DMR, TETRA ประจำประเทศไทย

พ.ศ.2554-ปัจจุบัน ตำแหน่งผู้จัดการฝ่ายบริการวิศวกรรม เอเชีย-แปซิฟิก บริษัท แรตวิน จำกัด
 (อิสราเอล)
 - ดูแลควบคุมงานวิศวกรรมก่อนการขายและหลังการขายอุปกรณ์บอร์ดแบนด์
 ไร้ สายย่านความถี่ ISM
 - ให้บริการงานออกแบบ ติดตั้ง ฝึกอบรม วิศวกรรมบอร์ดแบนด์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้