

การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลอง
ไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก
WLAN LOCALIZATION MEASUREMENT USING TRILATERATION MODEL
WITH CLEAN AND WEIGHTED MOVING AVERAGE TECHNIQUE



โดย
นางสาวกัลญาณี กิติ
นางสาวจุฑาทิณี กิวไรสง
นายวชิรวิษญ์ แพลอย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลอง
ไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก
WLAN LOCALIZATION MEASUREMENT USING TRILATERATION MODEL
WITH CLEAN AND WEIGHTED MOVING AVERAGE TECHNIQUE



นางสาวกัลยาณี กิติ 62010055
นางสาวจุฑาทิณี กิวโรสง 62010134
นายวชิรวิชัย แพลอย 62010788

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน
ด้วยเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

WLAN LOCALIZATION MEASUREMENT USING TRILATERATION MODEL WITH
CLEAN AND WEIGHTED MOVING AVERAGE TECHNIQUE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกัลยาณี กิติ 62010055
2. นางสาวจุฑาสินี กิวไธสง 62010134
3. นายวชิรวิทย์ แพลอย 62010788



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลอง ไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลื่นและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก” จะไม่ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากผศ.ดร. สถาพร พรหมวงค์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำรายงาน ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความปรารถนาดีจากอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ณัฐพันธ์ สุวรรณสุขโข ตำแหน่งผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมบริษัท เซเวนตี้ทู เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด พี่ธนดล เตียงทอง นักศึกษาปริญญาเอกในห้องปฏิบัติการวิจัยผศ. ดร. สถาพร พรหมวงค์ ที่คอยให้คำปรึกษา และชี้แนะนำแนวทางแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำรายงาน จนกระทั่งรายงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน มอบความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ผู้จัดทำ รวมถึงการอนุเคราะห์สถานที่ในการจัดทำรายงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในด้านโอกาสทางการศึกษาอันมีคุณค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ

นางสาวกัลยาณี กิติ
นางสาวจุฑาสินี กิวโรสง
นายวชิรวิษณุ แพลอย
ผู้จัดทำ

การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้
แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลื่นและค่าเฉลี่ย
เคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

WLAN LOCALIZATION MEASUREMENT USING
TRILATERATION MODEL WITH CLEAN AND
WEIGHTED MOVING AVERAGE TECHNIQUE

โดย	นางสาวกัญญาณี กิติ	62010055
	นางสาวจุฑาสิณี กิวโรสง	62010134
	นายชวิษฐุญ แพลอย	62010788

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการหาตำแหน่งที่ใช้กันทั่วไป คือ การหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ซึ่งใช้หาตำแหน่งภายนอกอาคาร ไม่สามารถหาตำแหน่งภายในอาคารได้ เนื่องจากการบดบังและรบกวนของสัญญาณจากสิ่งก่อสร้างภายในอาคาร โดยการหาตำแหน่งภายในอาคารมีอยู่หลายรูปแบบที่ใช้กัน ซึ่งแบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันเป็นการหาตำแหน่งภายในอาคารรูปแบบหนึ่ง ที่สามารถหาตำแหน่งของเป้าหมายได้ด้วยการใช้จุดตัดของวงกลม 3 วง ปริมาณสัญญาณนี้ได้ทำการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารในสถานะที่มองเห็นด้วยระดับสายตา โดยเลือกใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน ซึ่งในการประเมินตำแหน่งจะใช้ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ สำหรับเครื่องส่งสัญญาณจะใช้เครื่องส่งสัญญาณโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และเครื่องรับสัญญาณจะใช้อุปกรณ์แลปทอป โดยการวัดหาตำแหน่งจะใช้จุดอ้างอิงจำนวน 49 จุด วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากเครื่องส่งจำนวน 3 เครื่องในแต่ละจุดอ้างอิง นอกจากนี้มีการนำเทคนิคคลื่นและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก มาใช้เพื่อประเมินผลเปรียบเทียบ และแสดงผลความแม่นยำของการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบค่าความผิดพลาดของระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Nowadays, the most used localization is GPS, which is used to measure outdoor localization. It is impossible to do indoor localization due to the obscurity and interference of signals from the buildings inside. Many different types of indoor localization are used. A trilateration model is a form of indoor localization that can be measured using the intersection of three circles. This thesis studied the measurement of indoor localization in the line of sight (LOS) using the trilateration model. To evaluate the position, the received signal strength are used. For transmitters, a 2.4 GHz wireless local area network transmitter is used. And the receiver uses a laptop device. The localization was measured using 49 points, measuring the received signal strength from 3 transmitters at each reference point. In addition, the CLEAN and Weighted Moving Average technique were used to evaluate comparative results and display the accuracy of position measurements in the form of distance error values.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย	5
2.2 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้	10
2.3 เทคนิคไทรลาเตอร์เรชั่น	13
2.4 เทคนิคคลื่น	16
2.5 เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก	20
2.6 วิเคราะห์ความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยใช้โครงข่ายไร้ สายแบบท้องถิ่น	22
2.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	22
2.8 ศีรษะรายละเอียดของแอสซิงโครนัสรวมทั้งการคอนฟิกส์	23
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	24
3.1 การออกแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้จาก แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร	27
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองวัดและการหาตำแหน่ง ภายในอาคาร	35
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผล	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากการหาตำแหน่งภายในอาคาร	49

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	4
บล็อกไดอะแกรมของการหาตำแหน่งโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้ แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน ด้วยเทคนิคคลื่นและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ ถ่วงน้ำหนัก	
2.1	13
การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน	
2.2	16
ระบบไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา	
2.3	18
ความสัมพันธ์อินพุต เอาต์พุตสำหรับ สหสัมพันธ์ข้าม	
2.4	21
แผนภาพเทคนิคคลื่น	
2.5	23
TP-Link รุ่น RE200	
3.1	25
แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร - มุมด้านบน	
3.2	26
แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร - มุมด้านข้าง	
3.3	26
แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบ 3 มิติ	
3.4	28
แผนภาพการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้	
3.5	29
วางผ้าแสดงจุดอ้างอิงขนาด 5x5 เมตร	
3.6	30
วางตัวรับสัญญาณบนจุดอ้างอิง	
3.7	30
แบบการจัดวางแอคเซสพอยต์ตัวส่งที่ 1	
3.8	31
แบบการจัดวางแอคเซสพอยต์ตัวส่งที่ 2	
3.9	31
แบบการจัดวางแอคเซสพอยต์ตัวส่งที่ 3	
3.10	32
แบบจำลองการวัดความแรงของสัญญาณสำหรับตำแหน่งภายในอาคารใน สถานที่จริง	
4.1	35
ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของเครื่องส่ง 3 ตัว	
4.2	36
ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 1 (Tx1)	
4.3	37
ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 2 (Tx2)	
4.4	39
ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 3 (Tx3)	
4.5	40
เฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งทั้ง 3	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชัน ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลิน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก	42



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	3
1.2	4
3.1	27
4.1	43

เปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชัน ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลิน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์อย่างมาก ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารทั้งหลายทำให้มนุษย์มีความสะดวกสบายมากขึ้น เช่น การติดต่อสื่อสาร การทำงาน การเรียน เป็นต้น ปัจจุบันเทคโนโลยีแบบไร้สายนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยการใช้เทคโนโลยีแบบไร้สายนั้นทำให้สามารถลดต้นทุนในการใช้สายสำหรับเป็นตัวกลางในการสื่อสาร และมีความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เช่น การสื่อสารผ่านดาวเทียม การสื่อสารในโครงข่ายเซลลูลาร์ และการสื่อสารโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน เช่น ระบบการแพร่ภาพด้วยดาวเทียม การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ และการหาตำแหน่งแบบไร้สาย เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์ใช้ในชีวิตประจำวัน จึงกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเป็นส่วนหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์

โดยเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบันต่างพัฒนาให้มีความเร็วและดียิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra – Wideband: UWB) และระบบการหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม (Global Localization System: GPS) เป็นต้น และมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นภายในองค์กรหรือหน่วยงานต่างๆ และมีเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับการศึกษาวิจัยกันอย่างต่อเนื่องคือ เทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลแบบไม่มีสายนำสัญญาณ โดยการส่งสัญญาณและข้อมูลนั้นจะใช้การส่งผ่านคลื่นความถี่วิทยุ และคลื่นอินฟราเรดผ่านอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณโดยตรง โดยคลื่นวิทยุที่ถูกส่งจากเครื่องส่งจะสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ขวางกั้นได้ทำให้การใช้ เทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานได้เหมือนกับการใช้สายนำสัญญาณ [1]

การหาตำแหน่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทำให้สามารถระบุตำแหน่งของสิ่งที่ต้องการได้ การประยุกต์การใช้งานการหาตำแหน่ง เช่น การหาตำแหน่งของรถยนต์ ในกรณีเกิดเหตุการณ์จราจร การหาตำแหน่งของบุคคลภายในสถานที่ต่าง ๆ เป็นต้น โดยการหาตำแหน่งนั้นจะแบ่งเป็นการหาตำแหน่งภายนอกอาคารและการหาตำแหน่งภายในอาคาร

การหาตำแหน่งภายนอกอาคารโดยทั่วไปแล้วจะใช้การหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ซึ่งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพราะมีความแม่นยำที่สูงสำหรับพื้นที่เปิด แต่ก็มีข้อจำกัดในกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ภายในอาคาร บริเวณถ้ำหรือเหวลึก และบางสถานที่ที่ไม่สามารถรับสัญญาณผ่านดาวเทียมได้ จึงไม่เหมาะกับการใช้งาน [2] ภายในอาคาร หรือสถานที่ดังกล่าว เนื่องจากภายในอาคารจะมีปัญหาในการรับสัญญาณดาวเทียม จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายอื่น ๆ มาใช้ เช่น เทคโนโลยีบลูทูธ เทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) และเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวล้วนเป็นเทคโนโลยีแบบแถบแคบ ซึ่งมีแบนด์วิดท์ที่แคบ จึงทำให้มีความแม่นยำในการหาตำแหน่งในระดับหนึ่ง [3-4] ซึ่งภายในอาคารมีพื้นที่จำกัด ต้องการความแม่นยำที่มาก ดังนั้นเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายจึงเป็นหนึ่งตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้ระบุตำแหน่ง เพราะมีความสะดวกในการใช้งาน การเคลื่อนย้ายทำได้ง่าย และไม่ต้องเชื่อมต่อสายนำสัญญาณก็สามารถส่งสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับได้ภายในรัศมีของเครื่องส่ง

ปัจจุบันมีเทคนิคการประเมินตำแหน่งอยู่หลายเทคนิค เช่นการพิจารณาแบบรูปของตำแหน่ง, Min-Max, Weight Centroid และไตรลาเตอร์เรชัน เป็นต้น ซึ่งเทคนิคดังกล่าวเหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ของสัญญาณ เช่น ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ (Received Signal Strength), มุมของการมาถึง (Angle of Arrival), เวลาที่มาถึง (Time of Arrival) [5-6] และการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) โดยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์เรขาคณิตสามารถประเมินตำแหน่งจุดที่ต้องการได้โดยใช้จุดตัดของวงกลม 3 วง ซึ่งมีตำแหน่งอ้างอิง เมื่อนำเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมาใช้กับเทคนิคและพารามิเตอร์ในการหาตำแหน่งเหล่านี้ จะทำให้การหาตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น

สำหรับการประเมินความผิดพลาดทางระยะทาง ในปริภูมิพิกัดเลมนี่ใช้เทคนิคคลื่นและเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก เพื่อประเมินความผิดพลาดทางระยะทาง โดยเทคนิคคลื่นมีข้อดีคือ เป็นการลดสัญญาณรบกวนภายในช่องสัญญาณ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาผ่านช่องสัญญาณจะสามารถลดสัญญาณรบกวนของข้อมูลได้ดี ใช้เวลาประมวลผลนาน แต่ให้ผลประเมินความผิดพลาดทางระยะทางที่ยอมรับได้ และเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักนำมาเปรียบเทียบกับผลประเมินผลความผิดพลาดทางระยะทาง

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย และการวัดหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคแบบไตรลาเตอร์เรชันที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เพื่อศึกษาและทำการออกแบบการจำลอง สำหรับวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร
- 3) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคแบบไทรลาเตอร์เรชัน โดยใช้เทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average: WMA)

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ปริญญาโทนี้ได้ศึกษาการวัดหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายบนมาตรฐาน IEEE.801.11 ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นการประเมินผลของการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยแบบจำลองไทรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก โดยเปรียบเทียบการคำนวณผิดพลาดของระยะทางระหว่างพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้และพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ด้วยเทคนิคไทรลาเตอร์เรชัน ได้ทำการออกแบบจำลองการทดลองวัดโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายภายในอาคาร ซึ่งได้กำหนดให้มีสายอากาศด้านส่ง 3 อัน ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ทำการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ จากนั้นนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มาคำนวณหาพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ และคำนวณหาระยะทางระหว่างสายอากาศส่งทั้ง 3 อัน และสายอากาศรับ จากนั้นนำระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมาคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคไทรลาเตอร์เรชัน และโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำ ในการหาตำแหน่งในรูปแบบของค่าความผิดพลาดของระยะทาง ซึ่งจะแสดงผลการทดลองเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแนวแกน x และแนวแกน y ตามแบบจำลองการวัด และวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดทางระยะทางด้วยเทคนิคคลิน และเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะทาง และสุดท้ายจะสรุปผลการทดลองวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการปฏิบัติงานตลอดภาคการศึกษาที่ 1/2565

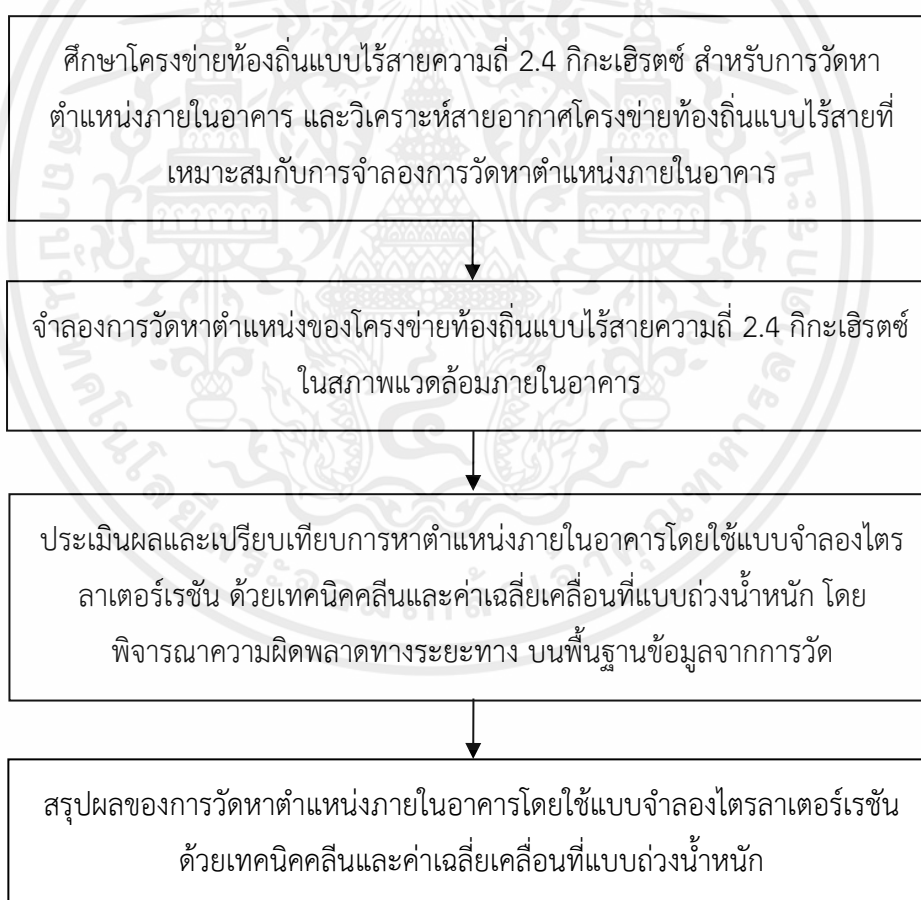
ช่วงการดำเนินงาน	แผนงานที่จะดำเนินการ
เดือนที่ 1	ศึกษาโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย และการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยใช้แบบจำลองไทรลาเตอร์เรชันร่วมกับเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก
เดือนที่ 2	ศึกษาและวิเคราะห์สายอากาศโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่เหมาะสมกับการจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
เดือนที่ 3	ออกแบบการจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้แบบจำลองไทรลาเตอร์เรชัน และจัดเตรียมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการปฏิบัติงานตลอดภาคการศึกษาที่ 2/2565

ช่วงการดำเนินงาน	แผนงานที่จะดำเนินการ
เดือนที่ 1	จำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันร่วมกับเทคนิคคลิน
เดือนที่ 2	จำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันร่วมกับเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก
เดือนที่ 3	ประเมินผล เปรียบเทียบ และสรุปผลการจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

บล็อกไดอะแกรมของโครงการที่นำเสนอ



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของการหาตำแหน่งโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน ด้วยเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การวัดหาตำแหน่งด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก” ได้ทำการออกแบบจำลองการทดลองการวัดของการหาตำแหน่งภายในอาคาร ดังนั้นปริญญานิพนธ์ที่นำเสนอจึงมีหลักการเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 เทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [7]

2.1.1 ประวัติของเทคโนโลยีโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1971 ที่เกาะฮาวาย โดยเป็นโครงการของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย มีชื่อว่า ALOHNET ขณะนั้นมีลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-directional ส่งข้อมูลไป-กลับอย่างง่ายผ่านคลื่นวิทยุ โดยมีสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบที่มีระยะทางที่ห่างในพหุประมาณ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะๆหนึ่ง ที่ชื่อว่า Oahu โดยการทดลองครั้งนั้นประสบความสำเร็จและถือว่าการทดสอบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายครั้งแรก

ระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบในการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ (Radio Frequency: RF) และคลื่นอินฟราเรดผ่านอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณโดยตรง โดยคลื่นวิทยุที่ถูกส่งจากเครื่องส่งจะสามารถผ่านทะลุวัตถุที่ขวางกันได้ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย

2.1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย [7]

2.1.2.1 รูปแบบการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Peer-to-Peer)

เป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่องขึ้นไป โดยไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบไร้สายเลย โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความเท่าเทียมกัน สามารถทำงานของตนเองได้ และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วหรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ

2.1.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไร้สายแบบโคลเอนต์หรือ

เซิร์ฟเวอร์

เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูล โดยอาศัยแอคแซสพอยต์หรือเรียกว่า ฮอตสปอต ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบโครงข่ายแบบไร้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของแอคแซสพอยต์จะกลายเป็นเครือข่ายกลุ่มเดียวกัน โดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อกันหรือติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์ เพื่อแลกเปลี่ยน และค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่านแอคแซสพอยต์เท่านั้น ซึ่งแอคแซสพอยต์ 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบโครงข่ายแบบไร้สายเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น

2.1.2.3 จุดเชื่อมต่อและการโรมมิ่งหลายจุด (Multiple access points and roaming)

โดยทั่วไปการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับแอคแซสพอยต์ของโครงข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุต ภายในอาคาร และ 1000 ฟุต ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง มาก ๆ เช่นคลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้งแอคแซสพอยต์ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของโครงข่ายขนาดใหญ่ครอบคลุมอย่างทั่วถึง

2.1.2.4 การใช้จุดขยาย (Use of an Extension Point)

จะใช้ในกรณีที่ต้องการขยายสัญญาณให้ไกลขึ้น โดยการใช้เครื่องรับแบบใช้จุดขยายที่สามารถรับ และกระจายสัญญาณภายในตัวเดียวกันทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในระยะไกลสามารถใช้งานสัญญาณโครงข่ายได้ด้วย

2.1.2.5 การใช้สายอากาศแบบทิศทาง (The Use of Directional Antennas)

เป็นการเชื่อมต่อในระยะที่ไกลมาก ซึ่งการส่งสัญญาณแบบนี้จะใช้เสาในการกระจายสัญญาณโดยการส่งสัญญาณผ่านเสาสัญญาณจะมีการขยายสัญญาณก่อนทำการส่งไปยังเสารับสัญญาณที่อยู่ไกล เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น

2.1.3 มาตรฐานโครงข่ายไร้สาย IEEE 802.11 [7]

มาตรฐานโครงข่ายไร้สาย IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (The Institute of Electronics and Electrical Engineers: IEEE) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของชั้นกายภาพ (Physical layer) มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อนำสัญญาณ 3 ประเภทได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์, 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และคลื่นอินฟราเรด ส่วนในระดับชั้น MAC (Media Access Control) ได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ Carrier Sense Multiple Access (CSMA)/ Collision Avoidance CA) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ Carrier Sense Multiple Access (CSMA)/ Collision Detection (CD) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งนิยมใช้งานบนระบบโครงข่ายแลนไร้สาย โดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมีการตรวจสอบผู้ใช้งาน

ในยุคเริ่มแรกจะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ค่อนข้างต่ำ อีกทั้งไม่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service: QoS) ซึ่งมีความสำคัญในสภาพแวดล้อมที่มีแอปพลิเคชันหลากหลายประเภทให้ใช้งาน นอกจากนี้กลไกในเรื่องการรักษาความปลอดภัยที่นำมาใช้ก็ยังมีช่องโหว่จำนวนมาก สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น

2.1.3.1 มาตรฐาน IEEE 802.11a

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการตีพิมพ์ และเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยใช้เทคโนโลยีโอเอฟดีเอ็ม (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ไร้สายมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับกิจการทางด้านดาวเทียม ข้อด้อยของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11a คือ มีรัศมีการใช้งานระยะที่สั้น และมีราคาแพง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อย

2.1.3.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b

เป็นมาตรฐานที่ถูกตีพิมพ์ และเผยแพร่ออกมาพร้อมกับมาตรฐาน IEEE 802.11a เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดี และได้รับความนิยมในการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาให้รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่าซีซีเค (Complimentary Code Keying: CCK) ร่วมกับเทคโนโลยีดีเอสเอสเอส (Direct Sequence

Spread Spectrum: DSSS) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้คลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแบบสาธารณะทางด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้มีชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ที่รองรับเทคโนโลยีบลูทูธ โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ จุดเด่นของมาตรฐาน IEEE 802.11b ก็คือ สนับสนุนการใช้งานเป็นบริเวณกว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a ผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นที่รู้จักในเครื่องหมายการค้า Wi-Fi ซึ่งกำหนดขึ้นโดยกลุ่มพันธมิตร(Wireless Ethernet Compatibility Alliance: WECA) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้ผ่านการตรวจสอบ และรับรองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกันกับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่น ๆ ได้

2.1.3.3 มาตรฐาน IEEE 802.11g

เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันและได้เข้ามาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากสนับสนุนอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลในระดับ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยใช้เทคโนโลยี OFDM บนคลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ และให้รัศมีการทำงานที่มากกว่า IEEE 802.11a พร้อมความสามารถในการใช้งานร่วมกันกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้

2.1.3.4 มาตรฐาน IEEE 802.11n

มาตรฐานที่เป็นฉบับสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 2009 ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 และ 5 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยที่สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด 300 เมกะบิตต่อวินาที มีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณได้ระยะประมาณ 70 เมตรในพื้นที่ปิดและระยะ 250 เมตรในพื้นที่เปิด เพิ่มความสามารถในการกันสัญญาณกวนจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์เหมือนกัน และสามารถรองรับอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ได้ [8]

2.1.4 จุดเด่นของเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สาย

1) ความคล่องตัวช่วยเพิ่มผลผลิต และบริการมีความคล่องตัวสูง ซึ่งไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใดก็สามารถเข้าถึงการเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลา หากเพียงแต่ต้องอยู่ในระยะการส่งข้อมูล

2) ความสะดวกการติดตั้ง สามารถติดตั้งได้ง่าย และรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล ไม่เปลืองพื้นที่การใช้งาน

3) ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องจากสะดวกในการติดตั้ง

2.1.5 มาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่ 2.4 – 2.5 กิกะเฮิรตซ์

มาตรฐานทางเทคนิคด้านคลื่นความถี่ของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้เทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สาย (Broadband Wireless Access) ในลักษณะ Radio Local Area Network (RLAN) ให้เป็นไป ตามที่กำหนดดังต่อไปนี้

2.1.5.1 กำลังส่ง (Output power)

จะต้องมีค่ากำลังส่งออกอากาศสมมูลแบบไอโซทรอปิก (Equivalent Isotropically Radiated Power : E.I.R.P) ไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ (mW)

2.1.5.2 ลักษณะทางเทคนิคของภาคส่งและภาครับ ให้เป็นไปตามมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งดังต่อไปนี้

EN 300 328: ระบบส่งสัญญาณแถบกว้าง อุปกรณ์ส่งข้อมูลที่ทำงานในย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ISM และใช้เทคนิคการมอดูเลตความถี่แถบกว้างมาตรฐาน Harmonized ครอบคลุมข้อกำหนดที่จำเป็นของข้อ 3.2 ของ Directive 2014/53/EU

FCC Part 15.247: ประมวลกฎหมายรัฐบาลกลาง (สหรัฐอเมริกา); หัวข้อ 47 การสื่อสารโทรคมนาคม; บทที่ 1 คณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร; ส่วนที่ 15 อุปกรณ์ความถี่วิทยุ ส่วนย่อย C – Intentional Radiators; §15.247 การทำงานภายในย่านความถี่ 902–928 เมกกะเฮิรตซ์, 2400–2483.5 เมกกะเฮิรตซ์ และ 5725–5850 เมกกะเฮิรตซ์ [9]

2.2 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received signal strength: RSS)

พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเป็นพารามิเตอร์ที่ถูกนำมาใช้ในการหาตำแหน่งโดยการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับซึ่งถูกลดทอนเนื่องจากการสูญเสียเชิงวิถี โดยการหาตำแหน่งจะนำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับไปแปลงเป็นกำลังงานที่ได้รับและแปลงเป็นระยะทางระหว่างสายอากาศฝั่งรับ และสายอากาศฝั่งส่งจากนั้นนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณ โดยเทคนิคการหาตำแหน่งต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ จะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์จางหลายหลายวิถี และการลดทอนของสัญญาณซึ่งมีผลกระทบต่อความสามารถค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ทำให้การหาตำแหน่งเกิดความคลาดเคลื่อนได้ [10] สามารถหาค่าความแรงของสัญญาณได้จากสมการ (2.1)

$$PL = P_{Tx} - P_{Rx} = PL_0 + 10 \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2.1)$$

เมื่อ	PL	คือ ค่าความแรงของสัญญาณ (dB)
	P_{Tx}	คือ กำลังงานในหน่วย dBm ที่ถูกส่งออกมา
	P_{Rx}	คือ กำลังงานในหน่วย dBm ที่สามารถรับได้
	PL_0	คือ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB) ที่ระยะอ้างอิงที่ d_0
	d	คือ ระยะทางระหว่างโหนดเป้าหมาย และโหนดอ้างอิง (เมตร)
	d_0	คือ ระยะทางที่ห่างกันแต่ละตำแหน่ง ตำแหน่งละ 0.5 เมตร

พื้นฐานของพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณในการหาตำแหน่ง คือการแปลงค่าระยะทาง d จากค่าความเข้มของสัญญาณที่ปล่อยออกมาจากโหนดอ้างอิง แล้วส่งไปยังโหนดเป้าหมาย ดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (2.2)

การสูญเสียเชิงวิถีเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาครับ และภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน ตัวอย่างของค่า n สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่างๆ สังเกตว่าค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณมีขนาดที่สูงในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อเทียบกับบริเวณที่ว่างเปล่า เพราะในสถานที่ที่มีสิ่งกีดขวางอาจมีปัญหาคาบถ่วงของสัญญาณเนื่องมาจากตึกอาคาร และสถานที่ [11-12]

$$RSS_d = RSS_{d_0} - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ RSS_d คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับที่โหนดเป้าหมาย

RSS_{d_0} คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับที่โหนดอ้างอิง

n คือ ค่าการสูญเสีย เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี (path loss exponent) (ปริภูมยานิพนธ์นี้ใช้ค่าจากการคำนวณค่า n ของสายอากาศด้านส่งที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 2.178, 2.184 และ 2.864 ตามลำดับ)

โดยที่สามารถคำนวณหา n ได้จากสมการของโมเดลการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) [13] สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2.3)

$$RSS_d = RSS_{d_0} - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2.3)$$

กำหนดให้

$$y = \overline{P_r(d)} [dB] \quad (2.4)$$

$$A = -10n \quad (2.5)$$

$$x = \log(d) \quad (2.6)$$

$$B = \overline{P_r(1)} [dB] \quad (2.7)$$

จะได้

$$y = Ax + B \quad (2.8)$$

ซึ่ง N คือ จำนวนข้อมูลที่วัด

$$y_i = \overline{P_r(d_i)} [dB] \quad (2.9)$$

$$x_i = \log(d_i) \quad (2.10)$$

โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, N$

หาค่าความผิดพลาดของข้อมูล i ได้ดังนี้

$$E_i = y_i - Ax_i - B \quad (2.11)$$

จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทั้งหมด

$$\sum_{i=1}^N E_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 \quad (2.12)$$

เงื่อนไขค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุด

$$\frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^N (y_i - Ax_i - B)^2 = 0 \quad (2.14)$$

จะได้

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - A \sum_{i=1}^N x_i^2 - B \sum_{i=1}^N x_i = 0 \quad (2.15)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i - A \sum_{i=1}^N x_i - BN = 0 \quad (2.16)$$

ได้สมการสุดท้าย ดังนี้

$$A \sum_{i=1}^N x_i^2 + B \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad (2.17)$$

$$A \sum_{i=1}^N x_i + BN = \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.18)$$

จากนั้นการหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย วิเคราะห์ได้ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2.19)

$$d = d_0 \cdot 10^{\left[\frac{RSS(d) - RSS(d_0)}{10n} \right]} \quad (2.19)$$

2.3 เทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน

เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ความแรงของการส่งสัญญาณวิทยุซึ่งมีลักษณะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างเครื่องรับ ซึ่งพิจารณาหาตำแหน่งจากส่วนซ้อนทับกันของวงกลมที่เกิดจากเครื่องส่งสัญญาณอย่างน้อย 3 ตัว [14] ที่ทราบพิกัดในการติดตั้งของเครื่องส่ง จึงจะสามารถระบุตำแหน่งของเครื่องรับได้

จากเทคนิคไตรลาเตอร์เรชันข้างต้น จะใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ Wi-Fi ที่ใช้สัญญาณโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยในแต่ละอุปกรณ์ส่งจะติดตั้งอยู่กับที่ และมีพิกัดของเครื่องส่ง สำหรับในการระบุตำแหน่งที่ต้องการจะมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับสัญญาณได้ทั้ง 3 เครื่อง จึงจะสามารถระบุตำแหน่งได้ แสดงดังรูปที่ 2.1 [15]



รูปที่ 2.1 การระบุตำแหน่งด้วยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน [16]

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงพิกัดของจุดศูนย์กลางของเครื่องส่งทั้ง 3 ตัว คือ (x_1, y_1) , (x_2, y_2) และ (x_3, y_3) ตามลำดับ โดยแต่ละเครื่องส่งจะมีรัศมีการส่งสัญญาณคือ r_1 , r_2 และ r_3 โดยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชันจะคำนวณพิกัด (x_0, y_0) ซึ่งเป็นจุดตัดของวงกลมทั้ง 3 วงในระบุตำแหน่งที่ต้องการได้

ขั้นตอนการคำนวณหาพิกัด (x_0, y_0) ดังนี้

1) สมการวงกลมทั้ง 3 สมการดังนี้

$$(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 = r_1^2 \quad (2.20)$$

$$(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 = r_2^2 \quad (2.21)$$

$$(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 = r_3^2 \quad (2.22)$$

2) กระจายกำลังสองของสมการที่ (2.20), (2.21) และ (2.22) จะได้สมการที่ (2.23), (2.24) และ (2.25)

$$x_0^2 - 2x_1x_0 + x_1^2 + y_0^2 - 2y_1y_0 + y_1^2 = r_1^2 \quad (2.23)$$

$$x_0^2 - 2x_2x_0 + x_2^2 + y_0^2 - 2y_2y_0 + y_2^2 = r_2^2 \quad (2.24)$$

$$x_0^2 - 2x_3x_0 + x_3^2 + y_0^2 - 2y_3y_0 + y_3^2 = r_3^2 \quad (2.25)$$

3) นำสมการที่ (2.23) ลบสมการที่ (2.24)

$$(-2x_1 + 2x_2)x_0 + (-2y_1 + 2y_2)y_0 = r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2 \quad (2.26)$$

4) นำสมการที่ (2.24) ลบสมการที่ (2.25)

$$(-2x_2 + 2x_3)x_0 + (-2y_2 + 2y_3)y_0 = r_2^2 - r_3^2 - x_2^2 + x_3^2 - y_2^2 + y_3^2 \quad (2.27)$$

5) เขียนสมการที่ (2.26) และ (2.27) ใหม่โดยแทนตัวแปร A, B, C, D, E และ F เขียนในรูปสมการที่ (2.28) และ (2.29)

$$Ax_0 + By_0 = C \quad (2.28)$$

$$Dx_0 + Ey_0 = F \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) แก่ระบบสมการจะได้สมการที่ (2.30) และ (2.31)

$$x_0 = \frac{CE - FB}{EA - BD} \quad (2.30)$$

$$y_0 = \frac{CD - AF}{BD - AE} \quad (2.31)$$

ในการคำนวณเพื่อระบุพิกัดนั้นจำเป็นต้องทราบพิกัดของจุดศูนย์กลางของเครื่องส่งทั้ง 3 ตัว ซึ่งในปริยายานพจน์นี้ จะกำหนดพิกัดของจุดศูนย์กลางของเครื่องส่งทั้ง 3 ตัว คือ เครื่องส่งที่ 1 (x_1, y_1) มีพิกัดที่ (8,7), เครื่องส่งที่ 2 (x_2, y_2) มีพิกัดที่ (0,7) และเครื่องส่งที่ 3 (x_3, y_3) มีพิกัดที่ (4,0)

ซึ่งจากสมการที่ (2.28) และสมการที่ (2.29) จะได้ว่า

$$A = -2x_1 + 2x_2$$

$$B = -2y_1 + 2y_2$$

$$C = r_1^2 - r_2^2 - x_1^2 + x_2^2 - y_1^2 + y_2^2$$

$$D = -2x_1 + 2x_3$$

$$E = -2y_1 + 2y_3$$

$$F = r_1^2 - r_3^2 - x_1^2 + x_3^2 - y_1^2 + y_3^2$$

ทำการแทนค่าพิกัด (x_1, y_1) , (x_2, y_2) และ (x_3, y_3) ด้วยค่า (8,7), (0,7) และ (4,0) ตามลำดับลงในตัวแปรข้างต้น จะได้ค่าดังนี้

$$A = -16$$

$$B = 0$$

$$C = r_1^2 - r_2^2 - 64$$

$$D = 8$$

$$E = -14$$

$$F = r_2^2 - r_3^2 - 33$$

แทนค่า A, B, C, D, E และ F ในสมการที่ (2.30) และสมการที่ (2.31) จะได้

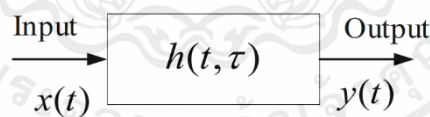
$$x_0 = \frac{r_1^2 - r_2^2 - 64}{-16} \quad (2.32)$$

$$y_0 = \frac{r_1^2 + r_2^2 - 2r_3^2 - 130}{-28} \quad (2.33)$$

จากสมการที่ (2.32) และสมการที่ (2.33) เมื่อแทนค่าระยะทางของระหว่างเครื่องส่ง ทั้ง 3 ตัว และเครื่องรับจะสามารถระบุพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับได้

2.4 เทคนิคคลีน (CLEAN Technique) [16]

เทคนิคคลีน ที่ใช้ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Channel Impulse Response: CIR) จะถูกคลีนในกระบวนการถึงแม้ว่า ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณ สามารถมีลักษณะเป็น ผลตอบสนองของอิมพัลส์ (Impulse Response) ในโดเมนเวลาหรือฟังก์ชันถ่ายโอนโดเมนความถี่ การดิคอนโวลูชันในรูปคลีนโดเมนเวลาสามารถใช้เพื่อกำหนดผลตอบสนองของอิมพัลส์ ได้



รูปที่ 2.2 ระบบไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา [16]

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (2.34)$$

$$Y(f) = X(f)H(f) \quad (2.35)$$

$$y(t) = F^{-1}\{Y(f)\} \quad (2.36)$$

โดยที่ * แสดงเป็น คอนโวลูชัน สัญญาณที่ได้รับอยู่ในโดเมนความถี่ สามารถเปลี่ยนเป็นโดเมนเวลาโดยใช้เทคนิคการแปลงฟูรีเยร์ผกผัน

$$h(t) = \sum_{i=1}^N a_i x_i(\tau) \delta(\tau - \tau_i) x_i(\tau) \quad (2.37)$$

โดยที่ δ คือ ไดเรคเตลต้าฟังก์ชัน, N คือ จำนวนขององค์ประกอบของคลื่นหลายวิถี (MPCs), a_i คือ แอมพลิจูดของ i , τ_i คือ ความล่าช้าสัมพันธ์ และ $x_i(\tau)$ คือ ความถี่ที่ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณ i ที่สะท้อนหลังจากมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม สัญญาณที่ได้รับอยู่ในโดเมนความถี่ สามารถแปลงเป็นโดเมนเวลา โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูรีเยร์ผกผัน

$$R_{xy}(\tau) = \sum_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t-\tau) \quad (2.38)$$

$$S_{xy}(f) = H(f)S_{xx}(f) \quad (2.39)$$

โดยที่ $R_{xy}(\tau)$ คือ สหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต, $h(t)$ คือ ผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ, $H(f)$ คือ ผลตอบสนองของความถี่ของช่องสัญญาณ (Channel Frequency Response: CFR), $R_{xx}(\tau)$ คือ สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Auto correlation) ของอินพุต, $S_{yx}(f)$ คือ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างอินพุต $X(f)$ และเอาต์พุต $Y(f)$ ในโดเมนความถี่ และ $S_{xx}(f)$ คือ สหสัมพันธ์อัตโนมัติของสัญญาณอินพุตในโดเมนความถี่ ค่าสหสัมพันธ์สามารถคำนวณได้โดยสมการ 2.40 และสหสัมพันธ์อัตโนมัติ สามารถคำนวณได้โดยสมการ 2.42

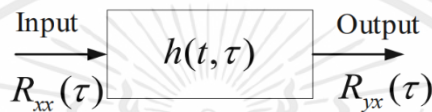
$$R_{xy}(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+\tau)dt}{\sqrt{E_y E_x}} \quad (2.40)$$

$$|R_{yx}(\tau)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} x(t)y(t+\tau)dt \right|^2 = E_y E_x \quad (2.41)$$

$$R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt \quad (2.42)$$

ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณ สามารถประมาณได้โดยเทคนิคสหสัมพันธ์ข้าม โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุต $x(t)$ และเอาต์พุต $y(t)$ และสำหรับฟังก์ชันสหสัมพันธ์อัตโนมัติ ก็เช่นกัน สมมติว่าสัญญาณ $x(t)$ ด้วยสหสัมพันธ์อัตโนมัติที่รู้จัก $R_{xx}(t)$ ถูกนำไปใช้กับช่องสัญญาณ $h(t)$ ซึ่งผลิตสัญญาณเอาต์พุตในโดเมนเวลาที่ไม่ต่อเนื่อง

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t, \tau) x(t - \tau) \quad (2.43)$$



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์อินพุต เอาต์พุตสำหรับสหสัมพันธ์อัตโนมัติ $R_{yx}(\tau)$ [16]

สหสัมพันธ์ข้าม ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตและอินพุต คือ [17]

$$R_{yx}(\tau) = h(\tau) * R_{xx}(\tau) \quad (2.44)$$

โดยที่ $h(\tau)$ คือ ผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ และ $R_{xx}(\tau)$ คือ สหสัมพันธ์อัตโนมัติของสัญญาณอินพุต ดังนั้น สหสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบคือการคอนโวลูชันของผลตอบสนองของอิมพัลส์ สามารถมองสหสัมพันธ์อัตโนมัติ ของสัญญาณอินพุตได้เป็นเอาต์พุตของช่องสัญญาณ $h(\tau)$

เทคนิคคลื่น เป็นขั้นตอนการลบแบบลบความละเอียดสูงๆ ซึ่งเป็นความสามารถในการแก้ไขความหนาแน่นขององค์ประกอบของคลื่นหลายวิถี มักจะไม่สามารถแก้ไขได้โดยการกรองผกผันทั่วไป ข้อดีของเทคนิคคลื่น คือ การจำลองผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณโดยประมาณ $h_{clean}(t)$ ซึ่งสามารถใช้ได้อย่างง่ายในการกำหนดลักษณะ และการจำลองการแพร่กระจายล่าช้า การสูญเสียเชิงวิถี และช่องสัญญาณการแพร่กระจาย ฯลฯ เทคนิคคลื่นได้รับการปรับปรุงสำหรับโครงการนี้ และสามารถใช้ในการลดการรบกวนและลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

เทคนิคคลีนสามารถอธิบายเป็นรายละเอียดได้ ดังนี้ [18]

- 1) เริ่มต้นจากให้สหสัมพันธ์ข้าม ระหว่าง $y(t)$ และ $x(t)$ เป็น $c_{cc}(\tau)$
- 2) ต่อมาให้สหสัมพันธ์อัตโนมัติ ของ $x(t)$ เป็น $c_{au}(\tau)$
- 3) กำหนดค่าที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการคลีน (dirty map) เป็น $d_0(\tau) = c_{cc}(\tau)$
- 4) กำหนดค่าที่ได้จากการคลีน (clean map) เป็น $c_0(\tau) = 0$
- 5) คำนวณ $\hat{\tau}_n = \arg \max_{\tau} |c_{cc}(\tau)|$ และ $a_k = c_{cc}(\hat{\tau}_n)$
- 6) ถ้าค่า a_k ทั้งหมด < เกณฑ์ ไปที่ขั้นตอนที่ 10
- 7) คลีน dirty map ได้โดย $d_t = d_{t-t_0} - (a_{k_{t-t_0}} * c_{au})$
- 8) ปรับปรุงค่าที่คลีนแล้ว โดย $c_t = c_{t-t_0} + (a_{k_{t-t_0}} * \delta(t-t_0))$
- 9) ไปที่ขั้นตอนที่ 5
- 10) ผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ คือ $c_t = h_{clean}(t)$

เทคนิคข้างต้นถือว่าเป็นอิสระจากเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบการวัด และเสาอากาศที่ใช้ แม้ว่าจะเป็นการประมาณค่าความแม่นยำ ซึ่งเทคนิคคลีนยังคงเป็นไปตามแนวทางของแบบจำลอง ดังนั้น เอาต์พุตของผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของช่องสัญญาณ จึงจำเป็นต้องตีความอย่างรอบคอบ

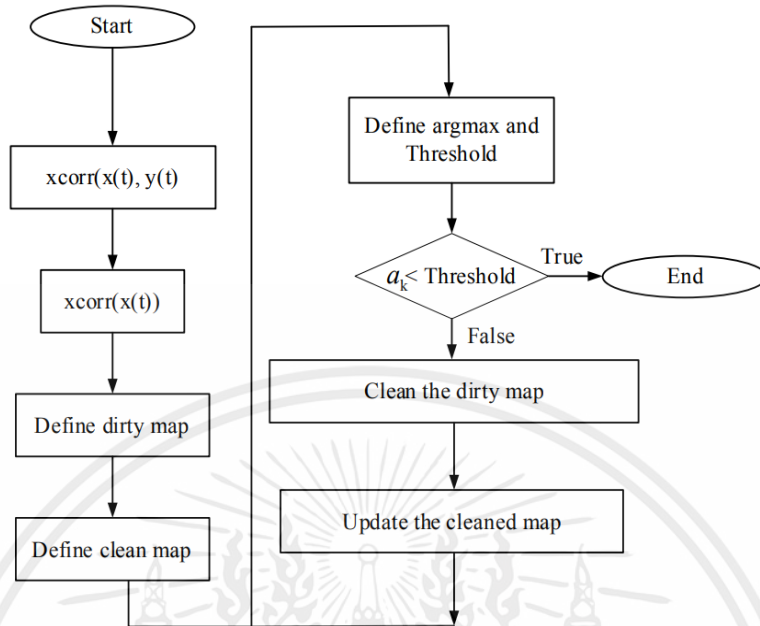
ขั้นตอนของเทคนิคคลีนแสดงดังรูป 2.4 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การกำหนด การคำนวณ และกระบวนการคลีน กระบวนการกำหนด คือ การกำหนดตัวแปร ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการคลีน, ค่าที่ได้จากคลีน, ผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์ข้าม, ผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์อัตโนมัติ และกระบวนการที่สอง คือ การหาจุดสูงสุด และดัชนีจากผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์ข้าม ผลลัพธ์นี้จะใช้ในการคำนวณในกระบวนการคลีน หลังจากจุดสูงสุดและค่าดัชนีของผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์ข้าม, a_k ถูกดำเนินการแล้วใช้เพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ซึ่งเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ของ a_k ถ้า a_k มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ คือ ค่านั้นได้ผ่านการคลีนแล้ว แต่ถ้าไม่ใช่ค่า นั้นจะต้องวนซ้ำไปยังกระบวนการคลีนจนกว่าค่า a_k จะต่ำกว่าเกณฑ์

กระบวนการแรก ซึ่งกำหนดกระบวนการตามที่แสดงดังรูป 2.4 จะคำนวณเพื่อการดำเนินการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์ข้ามของสัญญาณส่งด้วยสัญญาณที่ได้รับ $x(t)$ และ $y(t)$ ตามลำดับ และเพื่อดำเนินการสหสัมพันธ์อัตโนมัติของสัญญาณส่ง $x(t)$ เพื่อที่จะหาเวลาที่สัญญาณ

จะเหมือนกันกับสัญญาณเดิม จากนั้นกำหนดค่าที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการคลีน เป็นสหสัมพันธ์ข้ามของผลลัพธ์ $x(t)$ และ $y(t)$ จากนั้นกำหนดค่าที่ผ่านขั้นตอนการคลีนแล้วเป็นเวลาเท่ากับศูนย์

กระบวนการที่สองของเทคนิคคลีน ซึ่งหาค่า \max และ argmax ของผลลัพธ์ของสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง $x(t)$ และ $y(t)$ แสดงดังรูป 2.4 กระบวนการนี้จะดำเนินการค่าสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้าม ระหว่าง $x(t)$ และ $y(t)$ จากนั้นดำเนินการเวลาที่นำไปสู่แอมพลิจูดสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง $x(t)$ และ $y(t)$ และกำหนดเกณฑ์เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของแอมพลิจูดสูงสุดของ สหสัมพันธ์ข้ามระหว่าง $x(t)$ และ $y(t)$

กระบวนการสุดท้ายของเทคนิคคลีน ซึ่งเป็นกระบวนการที่แสดงดังรูปที่ 2.4 จะเปรียบเทียบค่า a_k กับจุด เกณฑ์ กระบวนการนี้มีความสำคัญต่อเทคนิคคลีน หากไม่มีฟังก์ชันนี้ การวนซ้ำจะไม่หยุดลง หากค่า a_k ต่ำกว่าจุดเกณฑ์หมายความว่าผลตอบสนองของอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ นั้นได้รับการคลีนแล้ว ในทางกลับกัน หากค่า a_k ยังคงสูงกว่าจุดเกณฑ์ สัญญาณจะทำงานผ่านกระบวนการคลีนอีกครั้ง ขั้นตอนแรก คือ การคำนวณพารามิเตอร์ชดเชยที่ต้องคอนโวลูชัน a_k แล้วปรับปรุงค่าที่ผ่านขั้นตอนการคลีนแล้ว [19]



รูปที่ 2.4 แผนภาพเทคนิคคลีน [19]

2.5 เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Moving Average technique: WMA)

ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ประเภทหนึ่งสำหรับคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูล ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักจะมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับชุดข้อมูล โดยจะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลก่อนหน้า ซึ่งในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักจะต้องมีค่าถ่วงน้ำหนักที่สอดคล้องกันแตกต่างกับค่าเฉลี่ยแบบปกติที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เท่ากันทุกข้อมูล การใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักมีข้อดีคือสามารถลดความผิดพลาดทางข้อมูลได้ดีกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ซึ่งส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์กราฟทางการตลาดเพื่อคาดการณ์ทิศทางของกราฟ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.45

$$WMA = \sum_{i=1}^j \frac{x_i \cdot i}{j(j+1)} \quad (2.45)$$

เมื่อนำมาปรับใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคารจะให้ความแม่นยำมากขึ้นเนื่องจากในขณะที่ทำการเปลี่ยนตำแหน่งของเป้าหมายในการวัดความแรงของสัญญาณหลังจากเปลี่ยนตำแหน่ง ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะยังไม่คงที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักน้อยสุด และเมื่อค่าความแรงของสัญญาณเริ่มคงที่จึงกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักมากขึ้น ซึ่งในปริภูมิตวินพจน์นี้จะมีการใช้ค่าความแรงของสัญญาณ 5 ครั้ง และให้ค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นทีละ 1 ตามจำนวนข้อมูลที่เพิ่มขึ้น [20-21]

2.6 วิเคราะห์ความแม่นยำในการหาตำแหน่งโดยใช้โครงข่ายไร้สายแบบท้องถิ่น [1]

ปริภูมิตวินพจน์นี้ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งภายในอาคารในสถานะที่มองเห็นด้วยระดับสายตา โดยใช้เทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน ซึ่งนำพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มาใช้วิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความผิดพลาดของระยะทาง ซึ่งการหาตำแหน่งที่มีความแม่นยำมาก เมื่อค่าความผิดพลาดของระยะทางมีค่าน้อย ซึ่งกำหนดให้ (x_e, y_e) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการใช้เทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน และกำหนดให้ (x_c, y_c) คือตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังนั้นค่าความผิดพลาดของระยะทางสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$E_D = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (2.46)$$

เมื่อ E_D คือ ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง

2.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม [22]

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) [15] ของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง X ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของ $\{X \leq x\}$ ดังนี้

$$F_X(x) = P[X \leq x], \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.47)$$

ซึ่งคือ ความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X จะมีค่าอยู่ในช่วง $(-\infty, x)$ จะเห็นว่า $F_X(x)$ เป็นฟังก์ชันของ x

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบต่อเนื่อง X เขียนแทนด้วย $F_X(x)$ หาได้จากสมการ

2.48

$$F_X(x) = P[X \leq x] = \int_{-\infty}^x f(t)dt \quad (2.48)$$

2.8 ศึกษารายละเอียดของแอคเซสพอยต์รวมทั้งการคอนฟิกส์

2.7.1 TP-Link รุ่น RE200

TP-Link รุ่น RE200 AC750 Wi-Fi Range Extender เชื่อมต่อกับเราเตอร์แบบไร้สาย ขยายสัญญาณไปยังพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ด้วยตัวมันเอง ด้วยความเร็ว 300Mbps และความเร็ว 433 Mbps บนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ มาตรฐาน IEEE 802.11b/g/n และ 5 กิกะเฮิรตซ์ มาตรฐาน IEEE 802.11a/n/ac ตามลำดับ พอร์ตอีเทอร์เน็ตแบบ 1 10/100Mbps RJ45 พร้อมปุ่ม WPS และปุ่มรีเซ็ต เสอาอากาศ ประกอบด้วยเสอาอากาศแบบรอบทิศทาง 3 เสอา ใช้พลังงาน 7.3 วัตต์ ขนาด (กว้าง×ลึก×สูง) เท่ากับ 2.6 × 1.5 × 4.3 นิ้ว กำลังส่ง FCC 30 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ การรับ ความไวที่ 5 กิกะเฮิรตซ์: 11a 6Mbps: -95 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, 11a 54Mbps: -78 เดซิเบล – มิลลิวัตต์, 11ac HT20 MCS0: -95 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, MCS8: -73เดซิเบล – มิลลิวัตต์, 11ac HT40 MCS0: -92 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, MCS9: -67เดซิเบล – มิลลิวัตต์, 11ac HT80 MCS0: -88เดซิเบล-มิลลิวัตต์, MCS9: -64เดซิเบล-มิลลิวัตต์ และการรับความไวที่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์: 11g 54Mbps: -80 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, 11n HT20: -78 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ 11n HT40: -75 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ ฟังก์ชันไร้สายแบบ WMM, GI แบบสั้น, ความเร็วสูง, WPS, การส่งต่อ Multicast แบบไร้สาย, เซิร์ฟเวอร์ DHCP, การควบคุมการเข้าถึง มีการรักษาความปลอดภัยไร้สายแบบการเข้ารหัส WEP, WPA-PSK / WPA2-PSK [23]



รูปที่ 2.5 TP-Link รุ่น RE200 [23]

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญาบัตร

3.1 การออกแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร

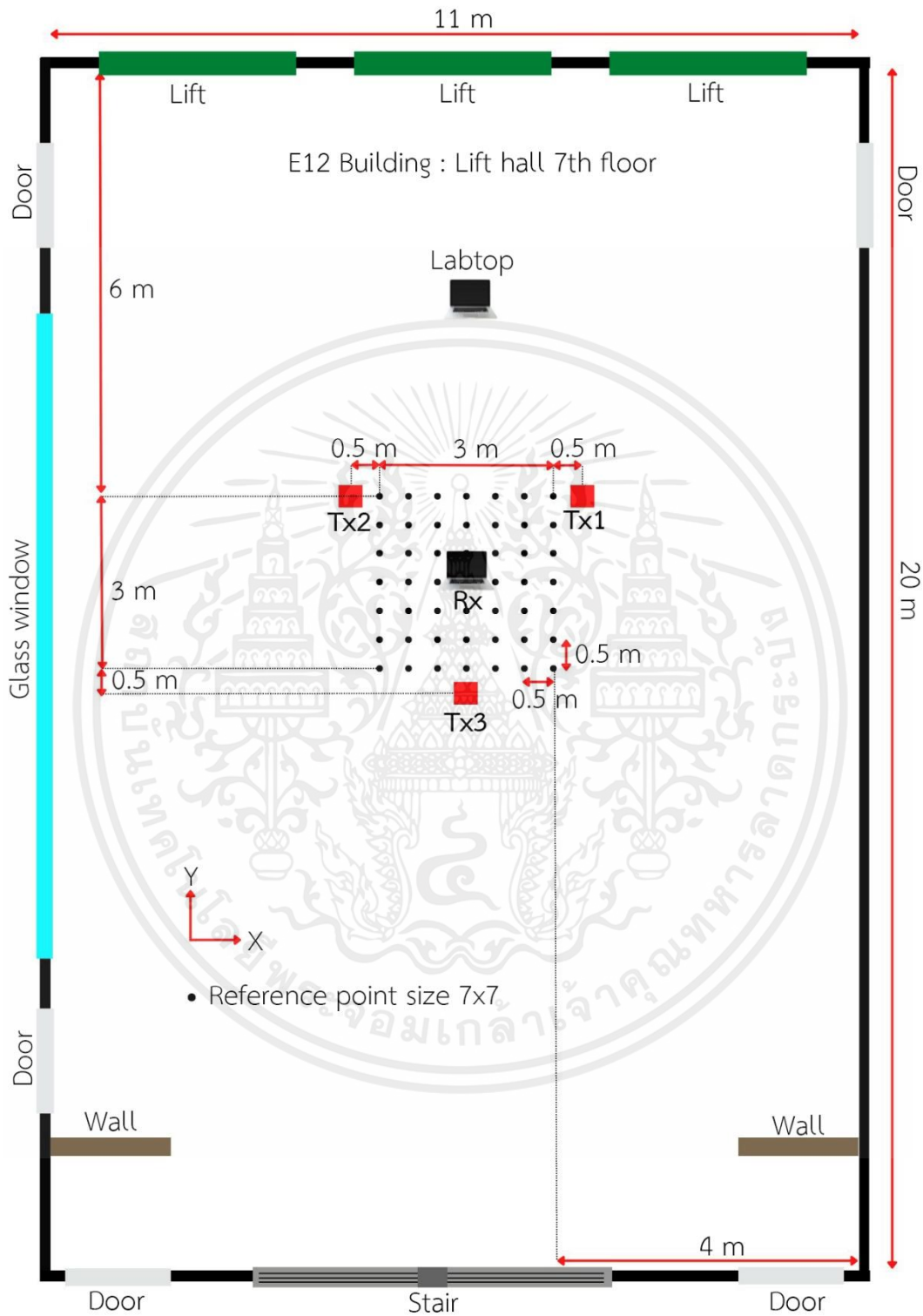
3.1.1 แบบจำลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้จากแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร

ออกแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร สำหรับการหาตำแหน่งที่ถูกต้องการทดลองจะวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง โดยใช้เครื่องส่งในรูปแบบการส่งสัญญาณของความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยในการออกแบบจะมีจุดอ้างอิงทั้งหมด 49 จุด โดยแต่ละจุดมีระยะห่างตามแนวแกน x และแกน y เป็นระยะ 0.5 เมตร โดยทำการวัดบริเวณพื้นที่หน้าลิฟต์ ชั้น 7 อาคารเรียนรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ และความแรงของสัญญาณที่รับได้จะถูกเก็บรวบรวม, วิเคราะห์ และประเมินผลลัพธ์ของวิธีการหาตำแหน่ง ซึ่งขั้นตอนการตรวจวัดจะถูกทำซ้ำ 5 ครั้งสำหรับแต่ละ 49 จุดอ้างอิง

แบบจำลองการวัดนี้เป็นการทดลองการหาตำแหน่งภายในอาคารในตำแหน่งต่าง ๆ โดยที่เครื่องส่งยึดติดอยู่กับขาตั้ง ติดตั้งเครื่องด้านส่งสูง 1 เมตร เครื่องด้านส่งตัวที่ 1 ติดตั้งห่างจากพิกัดตำแหน่ง (8,7) ตามแกน x เป็นระยะ 0.5 เมตร เครื่องส่งด้านส่งตัวที่ 2 ติดตั้งห่างจากพิกัดตำแหน่ง (0,7) ตามแกน x เป็นระยะ 0.5 เมตร เครื่องส่งด้านส่งตัวที่ 3 ติดตั้งห่างจากพิกัดตำแหน่ง (4,0) ตามแกน y เป็นระยะ 0.5 เมตร

3.1.2 แบบจำลองสถานที่ที่ใช้ในการทดลองการวัดหาตำแหน่งมุมด้านบน (Top View)

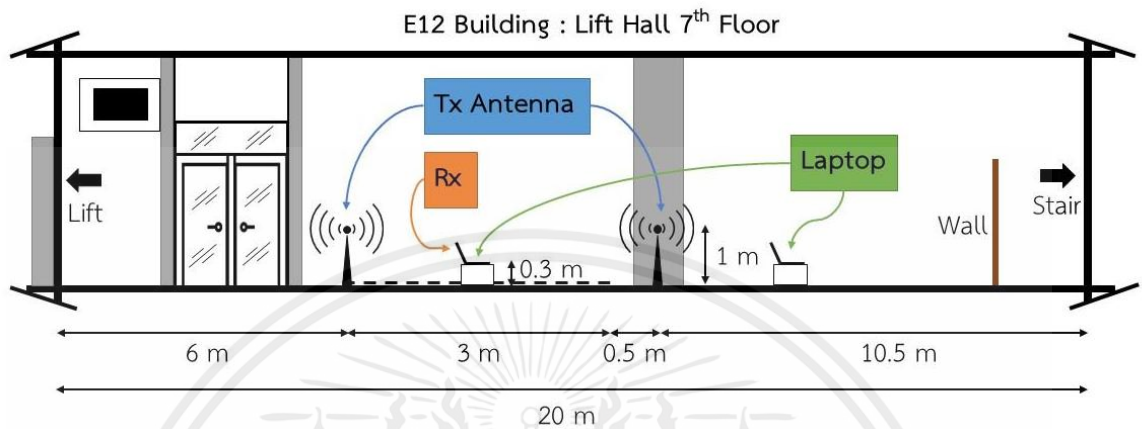
ออกแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สถานที่บริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 7 อาคารเรียนรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กว้าง \times ยาว ขนาด 12 เมตร \times 20 เมตร ซึ่งจะวางผ้าจุดอ้างอิงขนาด 5 เมตร \times 5 เมตร ระยะห่างจากหน้าลิฟต์ 6 เมตร ระยะห่างจากกำแพงฝั่งขวา 4 เมตร จากนั้นวางเครื่องส่งทั้ง 3 ตัววางห่างจากจุดอ้างอิงเป็นระยะ 0.5 เมตรตามทีออกแบบไว้ ในที่นี้แปลทอปสำหรับบันทึกผลสามารถวางตำแหน่งได้อิสระ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร - มุมด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

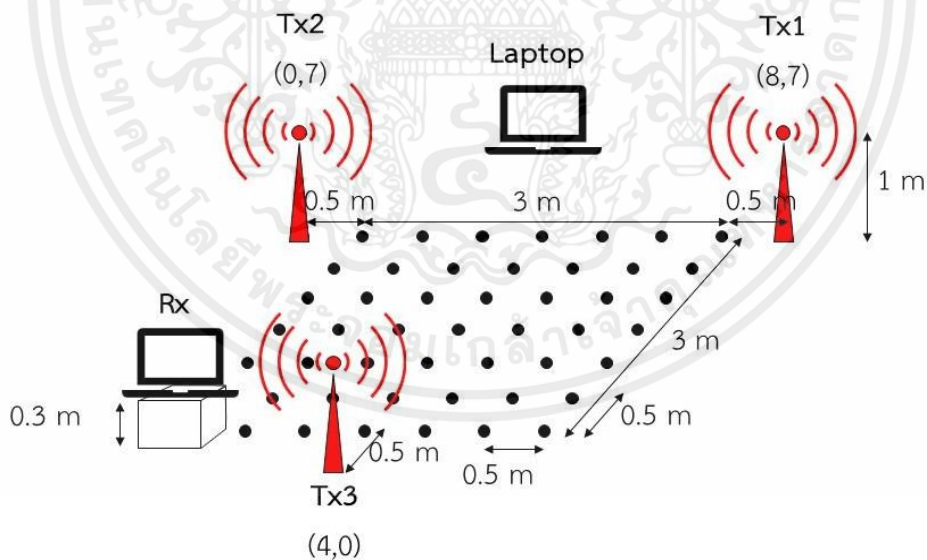
3.1.3 แบบจำลองสถานที่ที่ใช้ในการทดลองการวัดหาตำแหน่งมุมด้านข้าง (Side View)



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร – มุมด้านข้าง

3.1.4 แบบจำลองสถานที่ที่ใช้ในการทดลองการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบ 3 มิติ

(3D)



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการวัดหาตำแหน่งในรูปแบบ 3 มิติ

3.2 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร

3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในปฏิญานินพจน์นี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1.1 ฮาร์ดแวร์

- 1) แอคเซสพอยต์ TP-Link รุ่น RE200 จำนวน 3 เครื่อง
- 2) แลปทอปสำหรับวัดความแรงของสัญญาณ จำนวน 1 เครื่อง
- 3) แลปทอปสำหรับบันทึกผล จำนวน 1 เครื่อง
- 4) ขาดั่งกล่อง จำนวน 3 ตัว
- 5) ผ้าจุดทดสอบ ขนาด 5 เมตร × 5 เมตร จำนวน 49 จุด จำนวน 1 ผืน
- 6) ปลั๊กไฟสำหรับแอคเซสพอยต์ จำนวน 3 ตัว
- 7) กล่องใส่สำหรับวางแลปทอป จำนวน 1 กล่อง

3.2.1.2 ซอฟต์แวร์

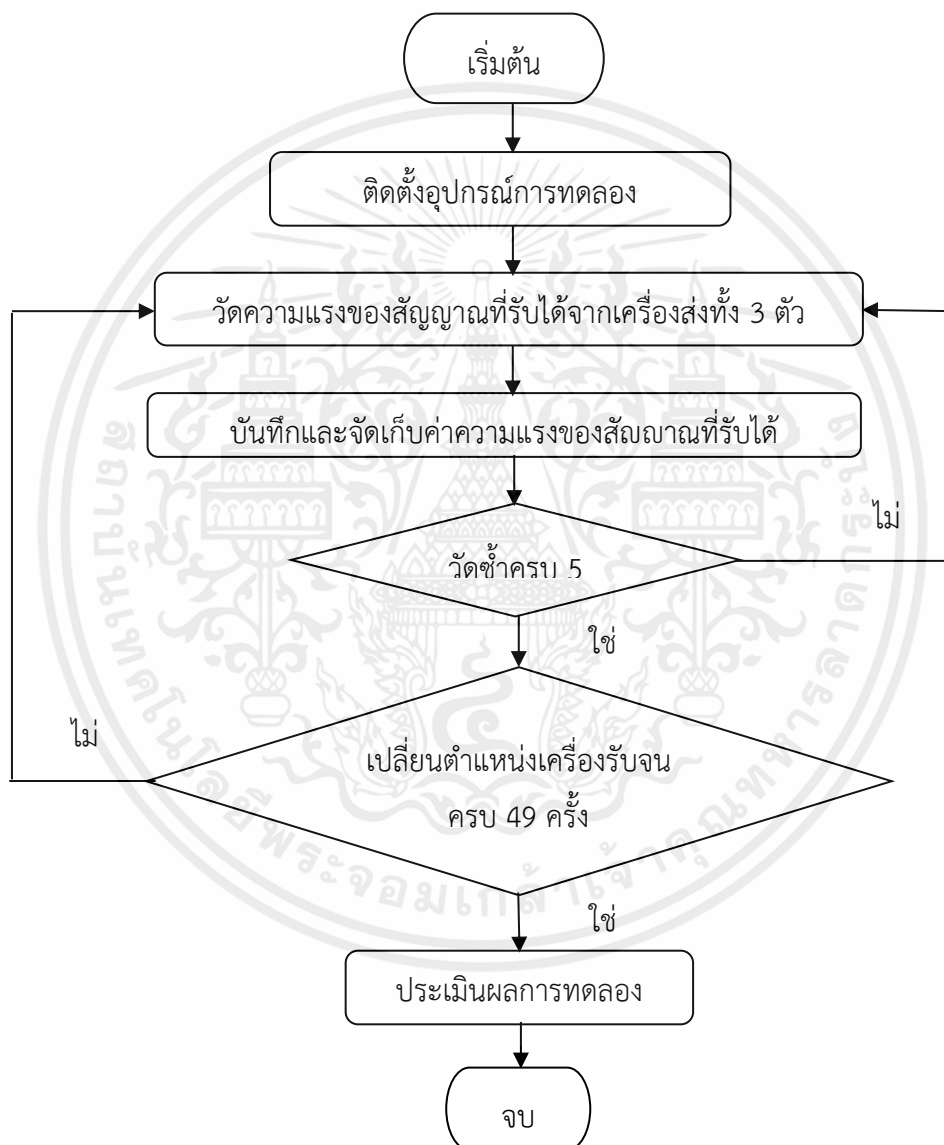
- 1) โปรแกรม MATLAB
- 2) โปรแกรม Microsoft Excel
- 3) โปรแกรม Wi-Fi Tool

ตาราง 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ความถี่	2.4 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนตำแหน่งของการวัดทดสอบ	49 ตำแหน่ง
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.3 เมตร
ชนิดของสายอากาศ	แบบรอบทิศทาง
ชนิดของเครื่องส่ง	TP-Link รุ่น RE200
กำลังส่ง	30 เดซิเบล-มิลลิวัตต์

3.2.2 แผนภาพการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ในอาคารด้วย โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

การทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้โดยจะมีเครื่องส่ง 3 ตัว ที่ส่งสัญญาณโครงข่ายไร้สายความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และตัวรับสัญญาณจะวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้บันทึกผลและเก็บค่าเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป โดยมีแผนภาพการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4

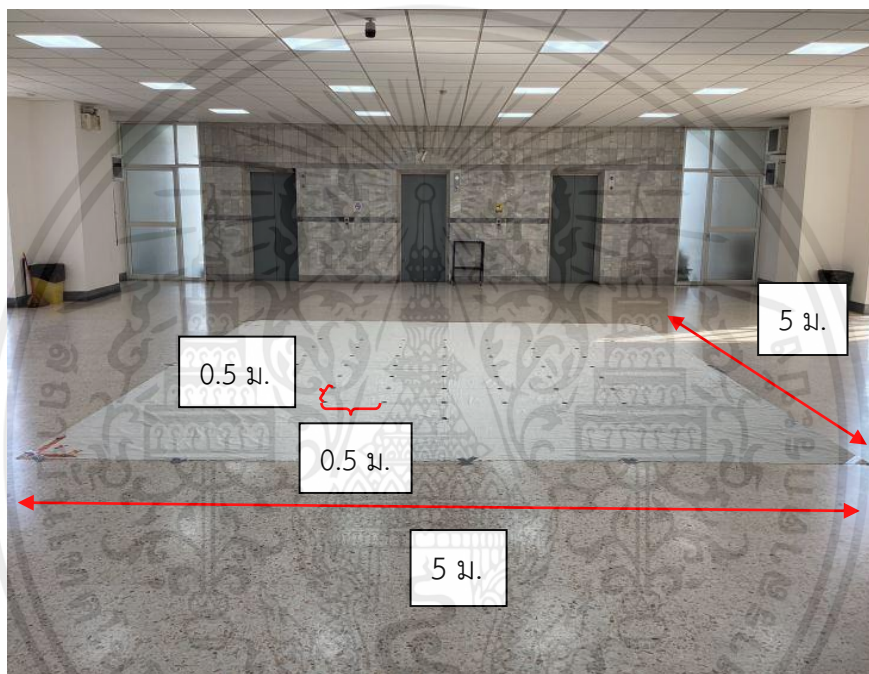


รูปที่ 3.4 แผนภาพการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้

3.2.3 ขั้นตอนการทดลองวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

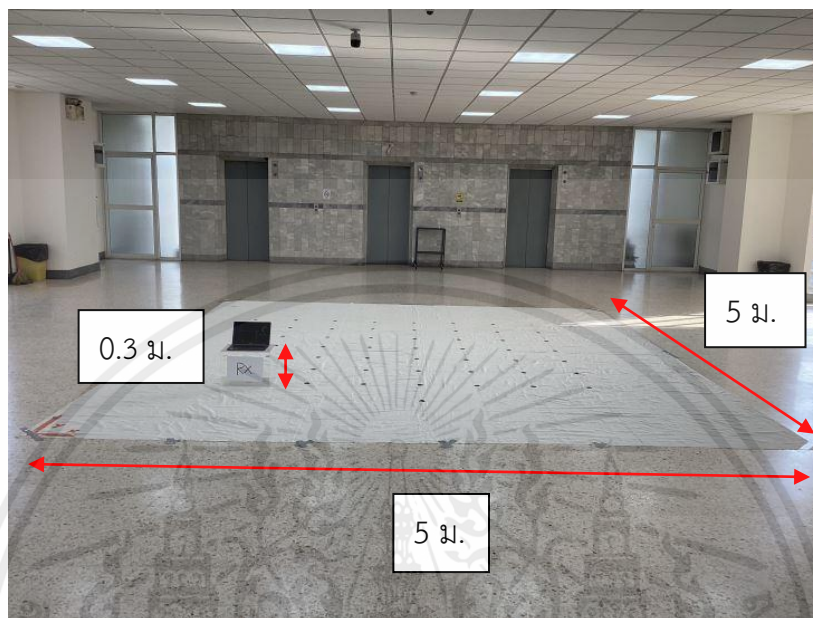
การทดลองวัดหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ที่ลานหน้าลิฟต์ ชั้น 7 อาคารเรียนรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน ที่แสดงดังรูปที่ 3.5 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) เตรียมอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดลอง โดยวางตำแหน่งผ้าขนาด 5x5 เมตร จำนวน 49 จุดอ้างอิง ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้



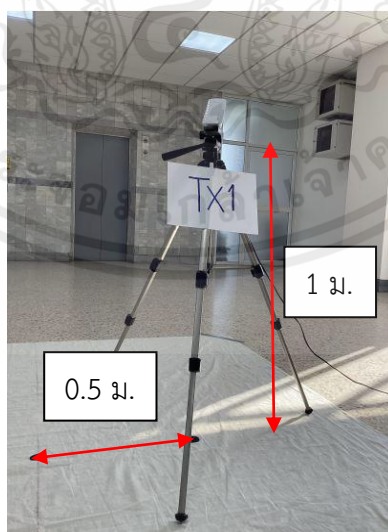
รูปที่ 3.5 วางผ้าแสดงจุดอ้างอิงขนาด 5 เมตร x 5 เมตร

2) นำแลปทอปที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ สำหรับวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ไปวางที่จุดอ้างอิง โดยเริ่มจากจุดอ้างอิงพิกัด (1,1)



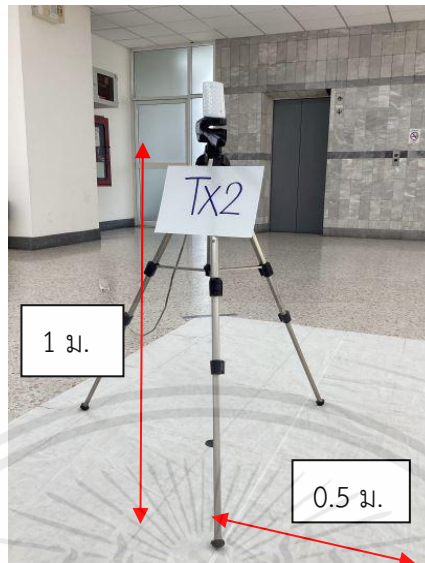
รูปที่ 3.6 วางตัวรับสัญญาณบนจุดอ้างอิง

3) จัดวางแอคเซสพอยต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ ที่มีระดับความสูง 1 เมตร โดยจัดวางห่างจากจุดอ้างอิงเป็นระยะ 0.5 เมตรตามตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้

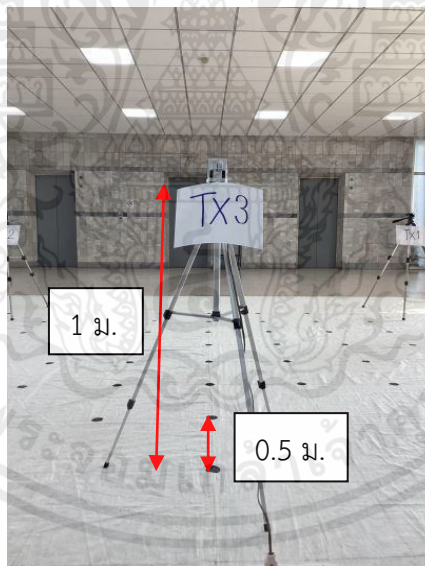


รูปที่ 3.7 แบบการจัดวางแอคเซสพอยต์ตัวส่งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

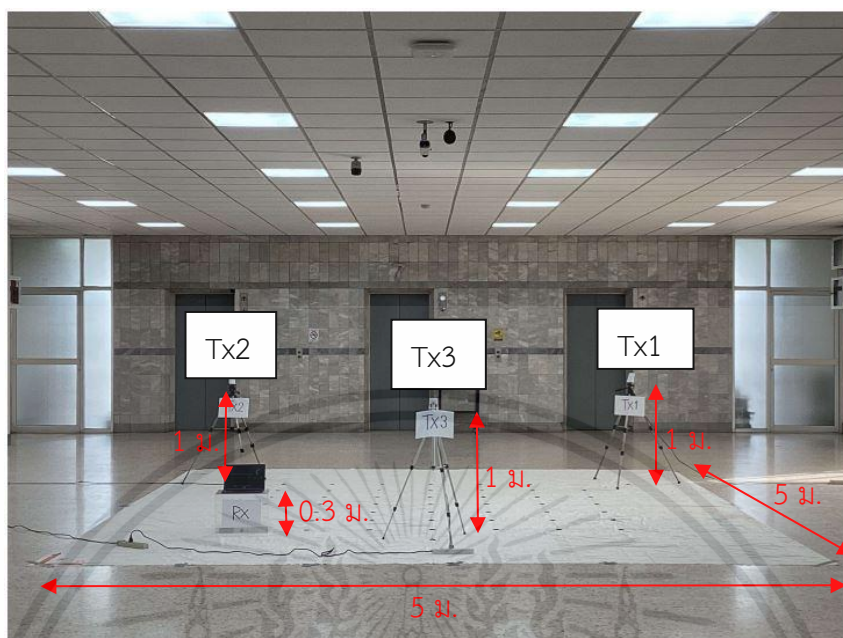


รูปที่ 3.8 แบบการจัดวางแอกเซสพอยต์ตัวส่งที่ 2



รูปที่ 3.9 แบบการจัดวางแอกเซสพอยต์ตัวส่งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แบบจำลองการวัดความแรงของสัญญาณสำหรับตำแหน่งภายในอาคารในสถานที่จริง

- 4) ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละจุดอ้างอิง โดยจะทำการวัด 5 ครั้งต่อจุดอ้างอิง 1 จุด
- 5) ทำการเคลื่อนย้ายแลปทอปที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ สำหรับวัดค่าความแรงของสัญญาณไปตามพิกัดตามแนวแกน x และแกน y โดยแต่ละจุดมีระยะห่าง 0.5 เมตร เก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จนครบทั้ง 49 จุด
- 6) นำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ไปประเมินการวัดหาตำแหน่งต่อไป

3.2.4 การออกแบบเทคนิคคลีน

กระบวนการทำงานของเทคนิคคลีน ในงานโครงข่ายไร้สายแบบท้องถิ่น มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- 1) หาค่าที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการคลีน ในที่นี้คือ สัญญาณฝั่งรับ $v_r(t)$ ในโดเมนเวลา ซึ่งเป็นการนำค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้แปลงกลับของการแปลงฟูริเยร์

$$v_r(t) = A \sin(2\pi ft) \quad (3.1)$$

2) หาสหสัมพันธ์อัตโนมัติ (c_{au}) ระหว่างสัญญาณฝั่งส่ง $v_t(t)$ ในโดเมนเวลาและหา Cross correlation (c_{cc}) ระหว่างสัญญาณฝั่งส่ง $v_t(t)$ และสัญญาณฝั่งรับ $v_r(t)$

$$c_{au}(\tau) = v_t(t) \cdot v_t(t) \quad (3.2)$$

$$c_{cc}(\tau) = v_t(t) \cdot v_r(t) \quad (3.3)$$

3) ทำการสร้างบีบสังเคราะห์ a_k โดยการหาค่าสูงสุดของ $c_{cc}(\tau)$ ที่แต่ละตำแหน่งของแต่ละข้อมูล

$$a_k = \max |c_{cc}(\tau)| \quad (3.4)$$

3.2.5 กระบวนการคลีน

1) กำหนดเกณฑ์โดยที่ ถ้าค่าของบีบสังเคราะห์มากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จะกลับไปทำข้อ 3) ในกระบวนการคลีนจะมีการกำหนดเกณฑ์ไว้ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณฝั่งรับส่งกับสัญญาณฝั่งรับ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ของ a_k เพื่อความเหมาะสมในการวิเคราะห์ผล

2) ถ้าค่าของบีบสังเคราะห์มากกว่าเกณฑ์จะเป็นไปตามสมการ

$$d_t = d_{t-t_0} - (a_{k-t_0} * c_{au}) \quad (3.5)$$

เมื่อ a_k คือ บีบสังเคราะห์ ในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า CLEAN dirty map

$$c_t = c_{t-t_0} + (a_{k-t_0} * \delta(t-t_0)) \quad (3.6)$$

จะได้ c_t โดยจะถูกเรียกว่า CLEAN map หรือ CLEAN component

3.2.6 การสร้างสัญญาณรับที่ผ่านกระบวนการคลื่น

1) แปลงฟูรีเยร์ c_t ในโดเมนความถี่

$$C(f) = FFT\{c_t(t)\} \quad (3.7)$$

2) สร้างสัญญาณฝั่งรับในโดเมนความถี่

$$V_r(f) = V_t(f) * C(f) \quad (3.8)$$

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

หลังจากการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของจุดอ้างอิงครบทั้ง 49 จุด จะจัดเก็บข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละจุดอ้างอิง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาประเมินการวัดหาตำแหน่งด้วยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.4 สรุป

ในบทนี้เป็นการทำแบบจำลองการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีการออกแบบแบบจำลอง และทำการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากเครื่องส่ง 3 ตัว มีจุดอ้างอิงจำนวนทั้งหมด 49 จุด ซึ่งในการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้นั้น จะมีการแกว่งของข้อมูลเนื่องจากเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงได้ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละจุดอ้างอิง และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อที่จะนำไปประเมินวัดหาตำแหน่งด้วยเทคนิคคลื่น และเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

บทที่ 4

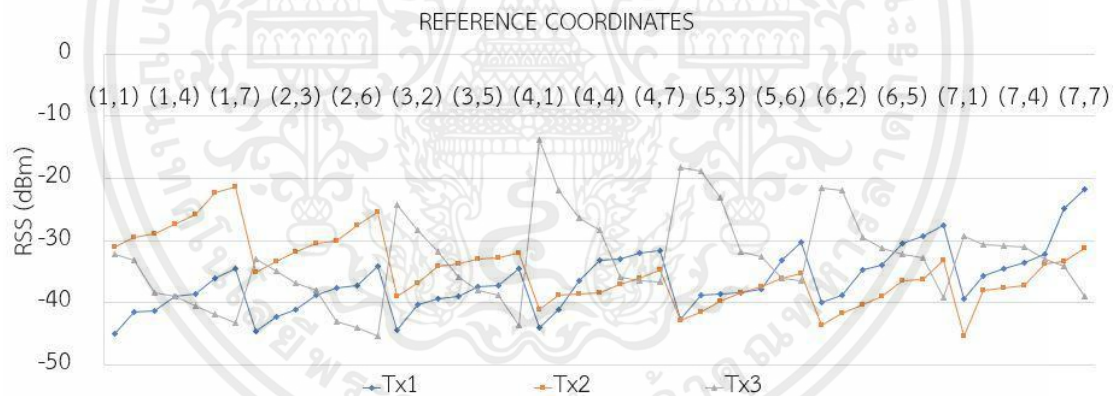
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองวัดและการหาตำแหน่งภายในอาคาร

โดยจะแสดงผลการทดลองการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้พารามิเตอร์ความแรงสัญญาณที่รับได้มาใช้ในการหาตำแหน่งที่ได้ จากการทดลองวัดช่องสัญญาณของสายอากาศด้านส่ง ทั้ง 3 เครื่อง โดยใช้แบบจำลองไตรลาเตอร์เรชัน จากนั้นจะแสดงผลความแม่นยำในการหาตำแหน่ง ในรูปของค่าความผิดพลาดของระยะทางตามแกน x และแกน y ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้

4.1.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากการวัดหาตำแหน่งภายในอาคาร

เมื่อวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้แล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย และแสดงผลในรูปแบบแผนภาพแบบเส้น โดยจะแสดงผลเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบล - มิลลิวัตต์ จำนวน 49 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 4.1

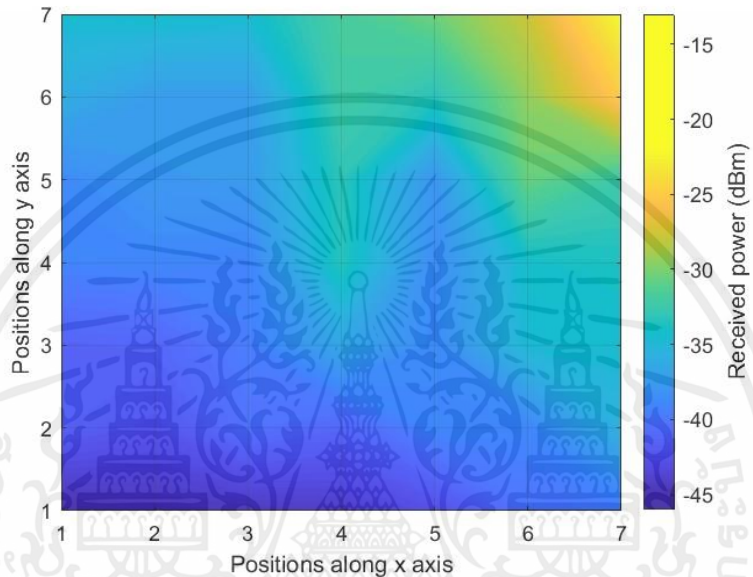


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของเครื่องส่ง 3 ตัวที่พิกัดต่าง ๆ

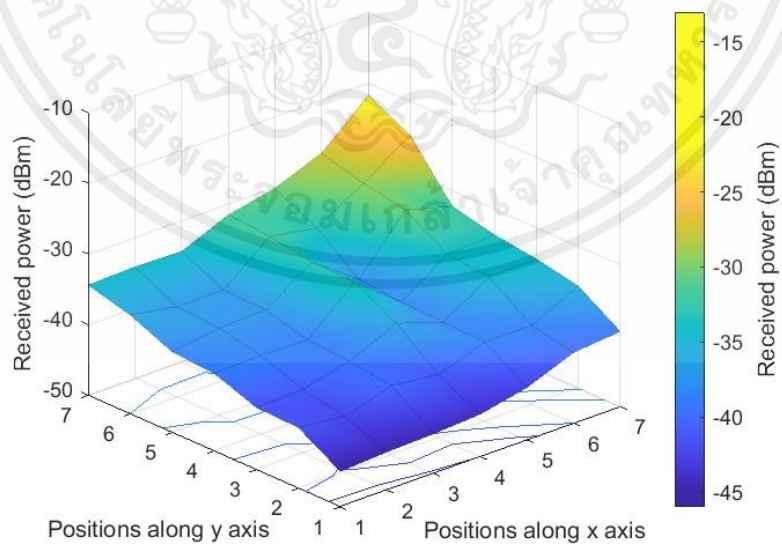
จากรูปที่ 4.1 Tx1 (เส้นสีฟ้า) ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดอยู่ที่พิกัด (7,7) เท่ากับ -21.8 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, Tx2 (เส้นสีส้ม) ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดอยู่ที่พิกัด (1,7) เท่ากับ -21.4 เดซิเบล-มิลลิวัตต์, Tx3 (เส้นสีเทา) ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดอยู่ที่พิกัด (4,1) เท่ากับ -13.8 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ โดยพิกัดทั้ง 3 พิกัดข้างต้น อยู่ในระยะ 0.5 เมตรห่างจากตัวส่ง จะนำมาใช้เป็นกำลังส่งที่ระยะอ้างอิง 0.5 เมตร สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งภายในอาคาร

4.1.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งทั้ง 3 ตัว

ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงค่ากำลังงานของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล-มิลลิวัตต์ ซึ่งจะแสดงในพิกัดแนวแกน X และแกน y ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้ แสดงดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5



(a)



(b)

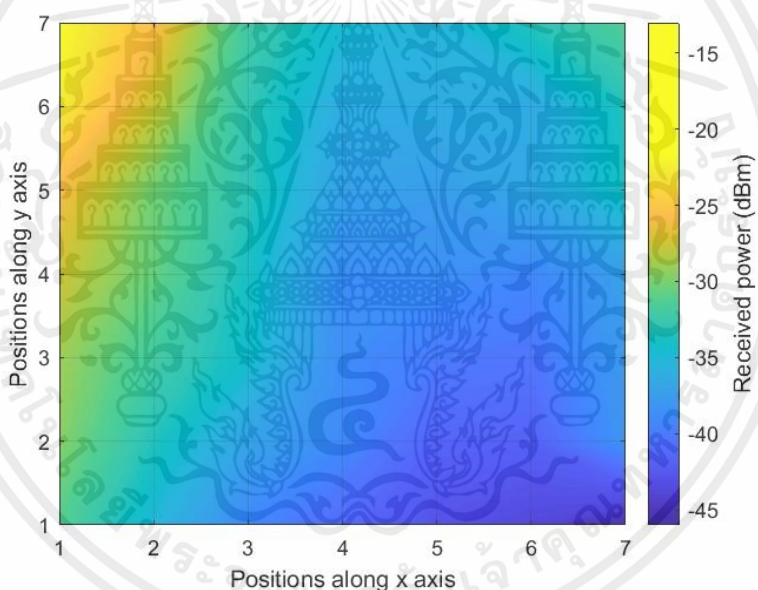
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 1 (Tx1)

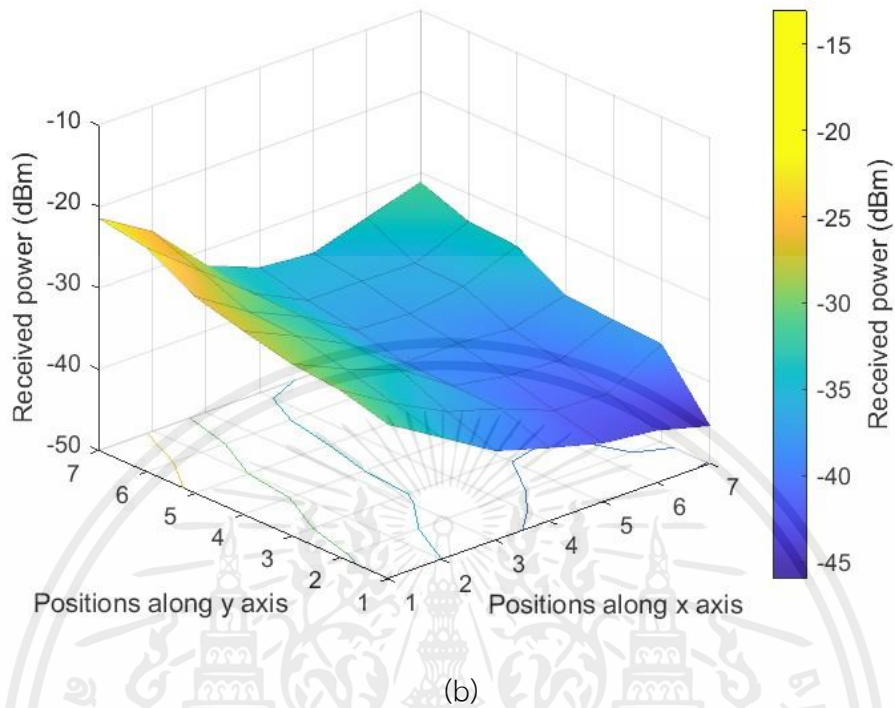
(a) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(b) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 4.2 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 1 (Tx1) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 1 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -21.8 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 7) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ใกล้ตัวรับมากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -45 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (1, 1) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ไกลตัวรับมากที่สุด



(a)

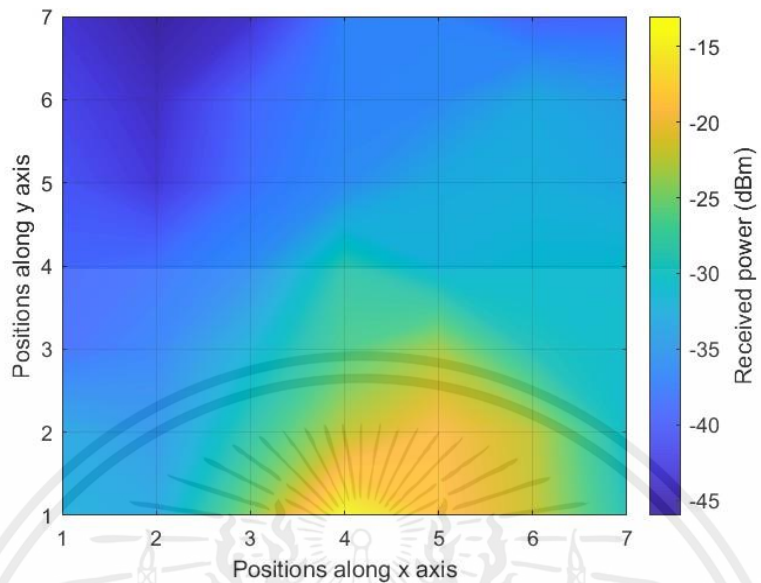


รูปที่ 4.3 ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 2 (Tx2)

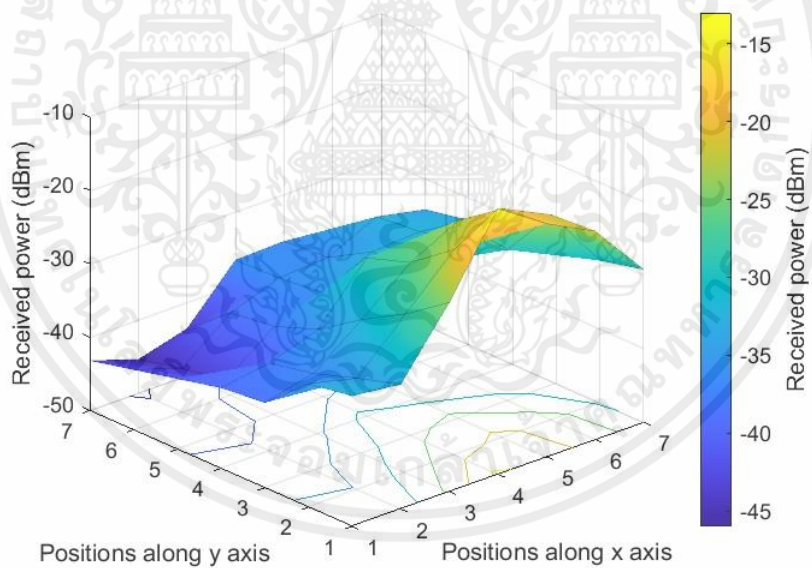
(a) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(b) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 4.3 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 2 (Tx2) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 2 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -21.4 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (1, 7) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ใกล้ตัวรับมากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -45.4 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 1) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ไกลตัวรับมากที่สุด



(a)



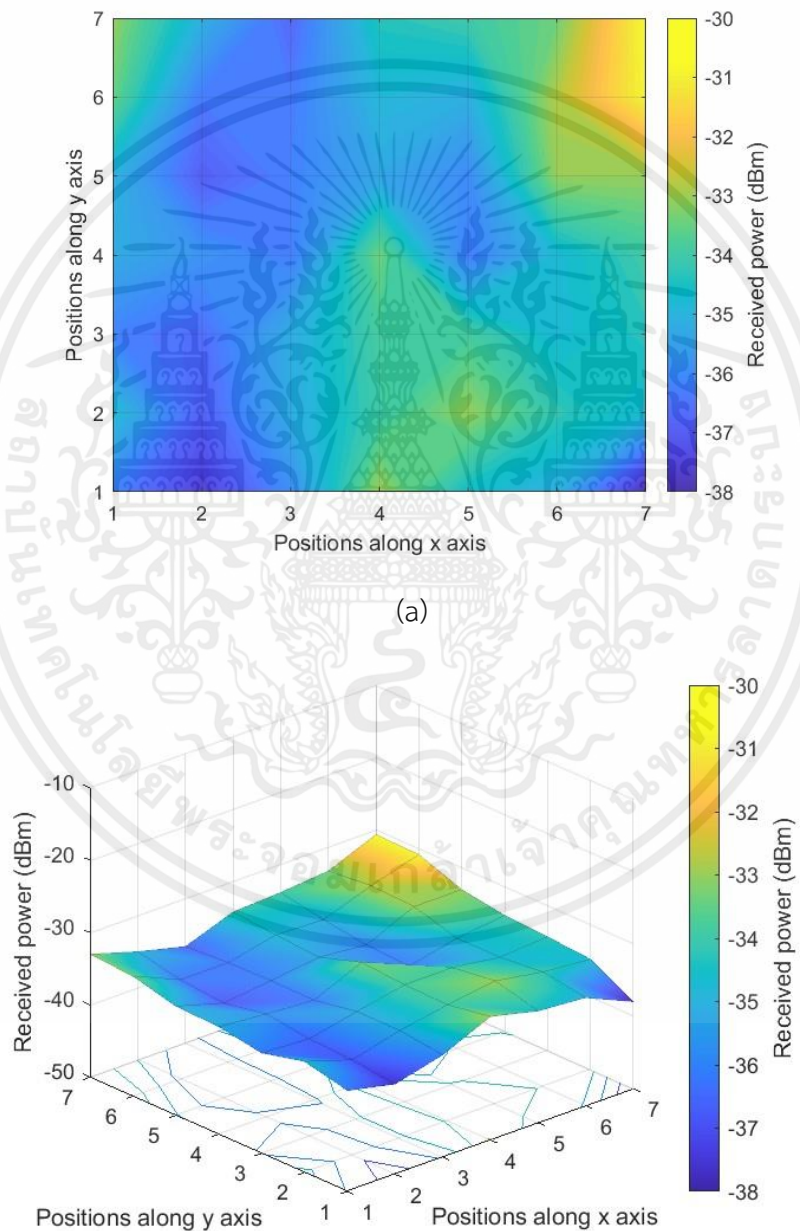
(b)

รูปที่ 4.4 ความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 3 (Tx3)

(a) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(b) ความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 4.4 ความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 3 (Tx3) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งที่ 3 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -13.8 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (4, 1) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ใกล้ตัวรับมากที่สุด และจุดที่มีความแรงของสัญญาณน้อยที่สุด เท่ากับ -45.4 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (2, 7) เนื่องจากสายอากาศส่งอยู่ไกลตัวรับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b)

รูปที่ 4.5 เฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านส่งทั้ง 3

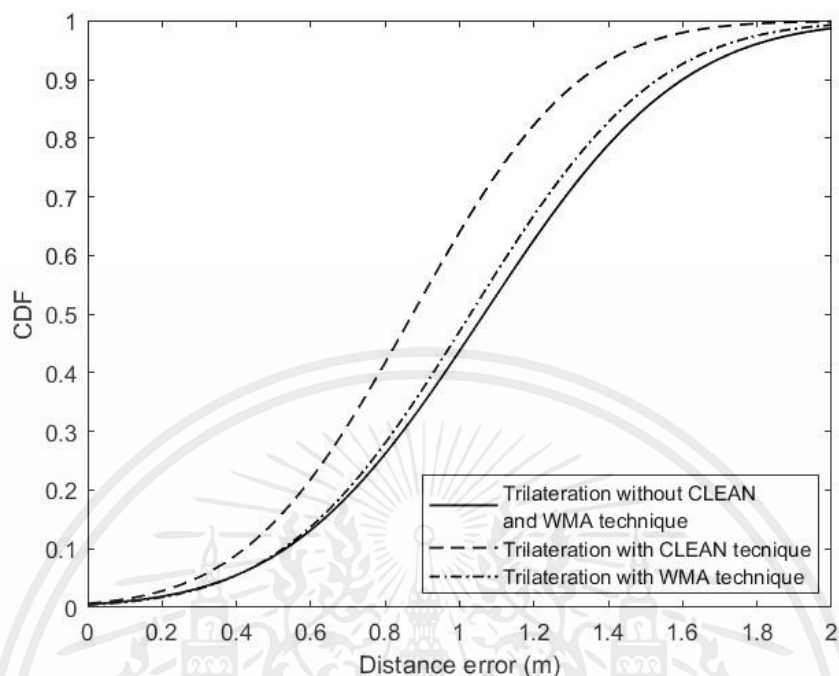
(a) เฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 2 มิติ

(b) เฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้ที่แสดงในรูปแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 4.5 เมื่อนำความแรงสัญญาณที่รับได้ของเครื่องส่งทั้ง 3 ตัว จะมีการหักล้างกันของสัญญาณซึ่งทำให้เกิดการเฉลี่ยกันของค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งจากการทดสอบวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ ความแรงของสัญญาณจะน้อยลงตามระยะที่ออกห่างจากเครื่องส่ง โดยค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งทั้ง 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศส่งทั้ง 3 จุดที่มีความแรงของสัญญาณมากที่สุด เท่ากับ -30.67 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 7) และจุดที่มีความแรงสัญญาณน้อยที่สุดเท่ากับ -38 เดซิเบล-มิลลิวัตต์ เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 1)

4.1.3 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่าความผิดพลาดทางระยะทาง

ในการทดลองนี้ แสดงค่าความผิดพลาดทางระยะทางในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยการเปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชัน ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลีน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชั่น ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลีน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชั่น ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลีน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชั่นกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำ (เส้นทึบ) ค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุดเท่ากับ 0.09 เมตร ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 1.07 เมตร และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดเท่ากับ 1.97 เมตร

ค่าความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชั่น กรณีผ่านเทคนิคคลีน (เส้นประ) ค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุดเท่ากับ 0.03 เมตร ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 0.88 เมตร และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดเท่ากับ 1.65 เมตร

ค่าความผิดพลาดของระยะด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชัน กรณีผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (เส้นประจุด) ค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุดเท่ากับ 0.13 เมตร ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 1.03 เมตร และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดเท่ากับ 1.85 เมตร แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชัน ระหว่างกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก กรณีที่ผ่านเทคนิคคลิน และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

การหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิคไตรลาเตอร์เรชัน	ค่าความผิดพลาดทางระยะทาง (เมตร)		
	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย
กรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก	0.09	1.97	1.07
กรณีที่ผ่านเทคนิคคลิน	0.03	1.65	0.88
กรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก	0.13	1.85	1.03

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก ในกรณีที่ผ่านเทคนิคคลินจะมีประสิทธิภาพการหาตำแหน่งเฉลี่ยดีขึ้น 17.8 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก จะมีประสิทธิภาพการหาตำแหน่งเฉลี่ยดีขึ้น 3.7 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นกรณีที่ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดของระยะทางมีค่าดีที่สุด คือ กรณีที่ผ่านเทคนิคคลิน รองลงมา คือ กรณีที่ผ่านค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และกรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการวัดหาตำแหน่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายบนมาตรฐาน IEEE.802.11 ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ได้นำเสนอการประเมินผลของการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยแบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพค่าความแม่นยำในการหาตำแหน่งของพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบจำลองการวัดและทำการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ด้วยโปรแกรม Wi-Fi Tool โดยใช้แอคเซสพอยต์ TP-Link รุ่น RE200 AC750 จำนวน 3 ตัว และจุดอ้างอิงจำนวน 49 จุดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มองเห็นด้วยระดับสายตา โดยนำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งภายในอาคาร เปรียบเทียบและประเมินผลความผิดพลาดของระยะทาง โดยใช้เทคนิคคลินและเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

จากผลการทดลอง โดยการนำค่าพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับไปวิเคราะห์หาตำแหน่งด้วยแบบจำลองการหาตำแหน่งแบบไตรลาเตอร์เรชันร่วมกับเทคนิคคลินและเทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่า ค่าความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y กรณีไม่ผ่านเทคนิคคลินและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักจะมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด เท่ากับ 0.09 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (4, 5) และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุด เท่ากับ 1.97 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 2) ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 1.07 เมตร เมื่อใช้เทคนิคคลินจะมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด เท่ากับ 0.03 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (4, 5) และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุด เท่ากับ 1.65 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 2) ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 0.88 เมตร และเมื่อใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก จะมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด เท่ากับ 0.13 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (4, 5) และค่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุด เท่ากับ 1.85 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (7, 2) ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของระยะทาง เท่ากับ 1.03 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเทคนิคคลินมีความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุด เนื่องจากเทคนิคคลินเป็นเทคนิคการลดสัญญาณ

รบกวนภายในช่องสัญญาณเรื่อยๆ โดยจะมีการกำหนดค่าเกณฑ์ที่เหมาะสมในการวนลูป เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดทางระยะทางน้อยที่สุด

ส่วนความผิดพลาดทางระยะทางรองลงมาคือ เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักจะมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับชุดข้อมูล โดยจะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับข้อมูลล่าสุดมากกว่าข้อมูลก่อนหน้า การใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักจึงสามารถลดความผิดพลาดทางข้อมูลได้ดีกว่ากรณีไม่ผ่านเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการประเมินผลของการวัดหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยแบบจำลองไตรลาเตอร์เรชันด้วยเทคนิคคลีน และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก โดยอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ เพื่อเปรียบเทียบความผิดพลาดของระยะทางของเทคนิคคลีนและค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก โดยปริญญานิพนธ์นี้สามารถนำมาเป็นอ้างอิงสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาการหาตำแหน่งภายในอาคารในอนาคตได้

บรรณานุกรม

- [1] พงษ์เทพ สุตม์, “การหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคไตรลาเตอร์เรชันด้วยมาตรฐาน IEEE 802.15.4a.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.
- [2] J.Raquet and R. K. Martin, “Non-GNSS radio frequency navigation,” in Proc. IEEE ICASSP, Las Vegas, NV, USA, 2008, pp.5308-5311.
- [3] J. Barnes et al, “Locate: A new positioning technology for high precision indoor and outdoor positioning,” in Proc. ION Tech. Meeting, Portland, OR, USA, 2003, pp.1119-1128.
- [4] M. Hazas and A. Hopper, “Broadband ultrasonic location systems for improved indoor positioning” IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 5, no. 5, pp.536-547, May 2006.
- [5] Liu. H., H. Darabi, P. Baberjee, and J. Liu, “Survey of wireless indoor positioning techniques and systems,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C, vol. 37, No. 6, 1067-1080, Nov. 2007.
- [6] Gu Y., A. Lo, and I. Niemegeers, “A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks,” IEEE Communications Surveys and Tutorial, vol. 11, No. 1, 13-37, Jan-Mar. 2009.
- [7] สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศ. “ระบบเครือข่ายไร้สาย.” <https://www.dol.go.th/it/Pages/ข่าวสาร%20IT/ระบบเครือข่ายไร้สาย-Wireless-LAN-Technology.aspx>.
- [8] Modify. “มาตรฐาน Wi-Fi IEEE 802.11.” <https://www.modify.in.th/16220>.
- [9] สุกิจ ชมะสุนทร. “ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติเรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคม ที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน ๒.๔ กิกะเฮิรตซ์และหรือ ๕ กิกะเฮิรตซ์.” https://www.nbtcc.go.th/getattachment/News/ข่าวรับฟังความคิดเห็น/36998/ร่าง_ประกาศมาตรฐาน-5GHz๑.pdf.aspx/.

- [10] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, “Ultra-wideband Positioning Systems,” Cambridge University Press, 2008.
- [11] P. Pivato, L. Palopoli and D. Petri. “Accuracy of RSS-Based Centroid Localization Algorithms in an Indoor Environment,” in IEEE transactions on instrumentation and measurement, vol. 60, no. 10, pp. 3451-3460, October. 2011.
- [12] W. Hirt and M. Weisenhorn. “Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory frameworks.” 2006 IEEE International Conference on Ultra Wide band, pp. 581-586, Sept. 2006.
- [13] ผศ.ดร. พิชญ์ สุพรรณกุล. “Chanel Model.” หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] F. Izquierdo, M. Ciurana, F. Barcelo, J. Paradells and E. Zola, “Performance evaluation of a TOA-based trilateration method to locate terminals in WLAN, IEEE, 2006.
- [15] สำนักพัฒนาและถ่ายทอดองค์ความรู้. “ระบบระบุพิกัดภายในอาคารเพื่อนสนิทของ GNSS ในอนาคต.” <http://learn.gistda.or.th//2016/06/17/ระบบระบุพิกัดภายในอาคาร/>.
- [16] อธิพงษ์ สุริยา, “A Study and Design of Object Localization in Wireless Sensor Network,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [17] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, “Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications,” 4ed. New Jersey: Pearson Education Inc, 2007.
- [18] K. Koonchiang, D. Arpasilp and S. Promwong, “Performance Evaluation of UWB-BAN with Friis’s Formula and CLEAN Algorithm,” In: Park J., Ng JY., Jeong HY, Waluyo B. (eds) Multimedia and Ubiquitous Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering, Springer, Dordrecht, vol. 240, 2013.

- [19] Sathaporn Promwong and Nattapan Suwansukho, “DTTV Localization with Fingerprinting Technique and Clean Algorithm based on Measurement Data.” หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [20] Caroline Banton, “The Moving Average Technique.” <https://www.what-difference-between-moving-average-and-weighted-moving-average.asp>.
- [21] Marcus B. Perry. “The Weighted Moving Average Technique.” https://www.researchgate.net/publication/313992471_The_Weighted_Average_Technique.
- [22] Nararat Ruangchajitupon. “Application of Probability and Random Process.” http://eestaff.kku.ac.th/~nararat/EN212102/AppProb04-1_HO.pdf.
- [23] TP-Link. “AC750 Wi-Fi Range Extender.” <https://www.tp-link.com/th/home-networking/range-extender/re200/>.



ภาคผนวก

ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากการหาตำแหน่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(1,1)	1	-47	-43	-44	-47	-44	-45
	2	-30	-30	-35	-30	-30	-31
	3	-26	-26	-37	-36	-36	-32.2
(1,2)	1	-44	-40	-41	-43	-39	-41.4
	2	-31	-31	-27	-27	-31	-29.4
	3	-35	-25	-35	-36	-35	-33.2
(1,3)	1	-40	-43	-40	-44	-39	-41.2
	2	-28	-29	-29	-30	-28	-28.8
	3	-38	-46	-37	-47	-24	-38.4
(1,4)	1	-38	-39	-39	-40	-39	-39
	2	-27	-28	-27	-28	-27	-27.4
	3	-39	-40	-39	-39	-38	-39
(1,5)	1	-40	-37	-39	-39	-38	-38.6
	2	-21	-19	-28	-32	-29	-25.8
	3	-41	-43	-38	-43	-37	-40.4
(1,6)	1	-36	-34	-38	-34	-38	-36
	2	-19	-19	-36	-19	-19	-22.4
	3	-43	-39	-44	-39	-44	-41.8
(1,7)	1	-41	-37	-41	-26	-27	-34.4
	2	-17	-22	-23	-22	-23	-21.4
	3	-42	-47	-42	-45	-40	-43.2
(2,1)	1	-47	-38	-46	-46	-46	-44.6
	2	-41	-33	-34	-33	-34	-35
	3	-24	-33	-36	-34	-38	-33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(2,2)	1	-46	-47	-45	-46	-27	-42.2
	2	-39	-22	-40	-38	-28	-33.4
	3	-35	-36	-35	-25	-43	-34.8
(2,3)	1	-40	-41	-41	-41	-42	-41
	2	-32	-32	-32	-31	-32	-31.8
	3	-27	-38	-43	-38	-38	-36.8
(2,4)	1	-41	-28	-42	-42	-41	-38.8
	2	-29	-29	-31	-31	-32	-30.4
	3	-34	-43	-35	-35	-43	-38
(2,5)	1	-38	-45	-39	-28	-38	-37.6
	2	-29	-32	-28	-31	-30	-30
	3	-42	-44	-43	-43	-43	-43
(2,6)	1	-38	-37	-38	-37	-36	-37.2
	2	-32	-30	-17	-31	-28	-27.6
	3	-44	-44	-43	-45	-44	-44
(2,7)	1	-37	-37	-29	-36	-32	-34.2
	2	-18	-27	-28	-27	-27	-25.4
	3	-51	-43	-49	-42	-42	-45.4
(3,1)	1	-49	-48	-42	-42	-41	-44.4
	2	-40	-38	-38	-40	-39	-39
	3	-29	-27	-16	-27	-22	-24.2
(3,2)	1	-44	-44	-37	-39	-37	-40.2
	2	-35	-36	-36	-36	-41	-36.8
	3	-27	-35	-26	-27	-27	-28.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(3,3)	1	-47	-44	-36	-35	-35	-39.4
	2	-34	-35	-33	-34	-35	-34.2
	3	-39	-38	-22	-38	-22	-31.8
(3,4)	1	-42	-30	-41	-41	-41	-39
	2	-35	-33	-33	-35	-33	-33.8
	3	-31	-33	-41	-34	-40	-35.8
(3,5)	1	-45	-46	-43	-26	-27	-37.4
	2	-34	-31	-31	-34	-35	-33
	3	-44	-42	-43	-31	-30	-38
(3,6)	1	-34	-39	-42	-42	-29	-37.2
	2	-30	-37	-30	-37	-30	-32.8
	3	-41	-35	-41	-37	-40	-38.8
(3,7)	1	-37	-37	-37	-25	-36	-34.4
	2	-33	-31	-30	-33	-33	-32
	3	-47	-42	-41	-47	-41	-43.6
(4,1)	1	-50	-38	-52	-49	-31	-44
	2	-32	-47	-32	-47	-47	-41
	3	-12	-10	-12	-19	-16	-13.8
(4,2)	1	-41	-40	-41	-42	-41	-41
	2	-29	-43	-39	-41	-42	-38.8
	3	-32	-21	-18	-22	-17	-22
(4,3)	1	-40	-34	-34	-40	-34	-36.4
	2	-38	-39	-39	-39	-38	-38.6
	3	-27	-27	-26	-26	-26	-26.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(4,4)	1	-34	-29	-40	-34	-29	-33.2
	2	-46	-36	-37	-36	-37	-38.4
	3	-27	-28	-35	-28	-24	-28.4
(4,5)	1	-25	-35	-35	-34	-36	-33
	2	-38	-38	-33	-38	-38	-37
	3	-34	-34	-48	-34	-29	-35.8
(4,6)	1	-35	-30	-30	-35	-30	-32
	2	-34	-37	-36	-37	-36	-36
	3	-38	-41	-28	-37	-38	-36.4
(4,7)	1	-36	-32	-21	-36	-33	-31.6
	2	-35	-33	-37	-33	-35	-34.6
	3	-37	-36	-37	-37	-36	-36.6
(5,1)	1	-43	-40	-44	-45	-41	-42.6
	2	-41	-44	-44	-41	-44	-42.8
	3	-19	-17	-19	-18	-18	-18.2
(5,2)	1	-36	-43	-35	-43	-37	-38.8
	2	-44	-43	-34	-43	-43	-41.4
	3	-17	-22	-17	-21	-17	-18.8
(5,3)	1	-43	-43	-37	-35	-35	-38.6
	2	-40	-40	-43	-35	-41	-39.8
	3	-22	-24	-22	-24	-23	-23
(5,4)	1	-46	-45	-36	-35	-30	-38.4
	2	-37	-42	-36	-35	-42	-38.4
	3	-33	-31	-32	-32	-31	-31.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(5,5)	1	-39	-37	-39	-36	-38	-37.8
	2	-36	-36	-36	-43	-36	-37.4
	3	-32	-34	-32	-34	-31	-32.6
(5,6)	1	-33	-34	-32	-34	-33	-33.2
	2	-40	-40	-40	-30	-30	-36
	3	-38	-34	-37	-33	-38	-36
(5,7)	1	-31	-30	-30	-29	-31	-30.2
	2	-37	-33	-37	-36	-33	-35.2
	3	-38	-35	-37	-35	-37	-36.4
(6,1)	1	-37	-44	-38	-44	-37	-40
	2	-43	-44	-43	-44	-44	-43.6
	3	-21	-19	-24	-21	-23	-21.6
(6,2)	1	-38	-39	-39	-38	-40	-38.8
	2	-43	-44	-33	-44	-44	-41.6
	3	-14	-25	-23	-26	-22	-22
(6,3)	1	-37	-37	-35	-27	-37	-34.6
	2	-34	-42	-42	-42	-41	-40.2
	3	-25	-30	-31	-30	-31	-29.4
(6,4)	1	-33	-34	-34	-35	-34	-34
	2	-39	-38	-39	-39	-40	-39
	3	-30	-32	-31	-33	-30	-31.2
(6,5)	1	-28	-34	-28	-34	-28	-30.4
	2	-40	-30	-39	-34	-39	-36.4
	3	-30	-34	-31	-34	-32	-32.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(6,6)	1	-31	-29	-31	-29	-26	-29.2
	2	-37	-35	-38	-35	-36	-36.2
	3	-34	-31	-34	-31	-34	-32.8
(6,7)	1	-28	-28	-29	-28	-25	-27.6
	2	-37	-33	-30	-33	-33	-33.2
	3	-39	-36	-42	-37	-42	-39.2
(7,1)	1	-39	-40	-39	-39	-40	-39.4
	2	-41	-48	-48	-48	-42	-45.4
	3	-29	-24	-28	-38	-27	-29.2
(7,2)	1	-36	-36	-35	-36	-35	-35.6
	2	-41	-42	-39	-41	-27	-38
	3	-29	-34	-28	-34	-28	-30.6
(7,3)	1	-35	-34	-34	-34	-35	-34.4
	2	-49	-33	-49	-26	-31	-37.6
	3	-32	-29	-32	-29	-32	-30.8
(7,4)	1	-34	-33	-33	-34	-34	-33.6
	2	-41	-41	-32	-40	-32	-37.2
	3	-31	-30	-32	-31	-31	-31
(7,5)	1	-30	-33	-33	-32	-33	-32.2
	2	-31	-33	-40	-33	-32	-33.8
	3	-39	-28	-42	-27	-29	-33
(7,6)	1	-27	-26	-26	-26	-19	-24.8
	2	-35	-33	-34	-33	-32	-33.4
	3	-35	-32	-36	-32	-36	-34.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัด (x,y)	ตัวส่ง (Tx)	ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากการวัดในแต่ละครั้ง (เดซิเบล-มิลลิวัตต์)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
(7,7)	1	-21	-23	-22	-22	-21	-21.8
	2	-31	-29	-32	-32	-32	-31.2
	3	-42	-39	-38	-38	-38	-39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้