

การจำลองและการวัดของการหาตำแหน่งวิทยุอิมพัลส์
ด้วยเทคนิคการเกตเวลา

MEASUREMENT AND MODELING OF IMPULSE RADIO LOCALIZATION
WITH TIME-GATING TECHNIQUE

ญาณโณภษ ม่วงมี
YANNOPAS MUANGMEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2566
KMITL-2023-EN-M-027-052

MEASUREMENT AND MODELING OF IMPULSE RADIO LOCALIZATION
WITH TIME-GATING TECHNIQUE

YANNOPAS MUANGMEE

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-027-052

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองและการวัดของการหาตำแหน่งวิทยุอิมพัลส์ด้วยเทคนิคการเกิดเวลา
นักศึกษา	นายญาณโณภาช ม่วงมี
รหัสนักศึกษา	64601038
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

การสื่อสารวิทยุอิมพัลส์เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีสำหรับการสื่อสารไร้สายที่ถูกพัฒนาในการสื่อสารระยะไกล ด้วยข้อดีด้านการใช้กำลังงานส่งต่ำและมีแถบความถี่กว้างเหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ต้องการความเร็วการส่งข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบการวัดการหาตำแหน่งด้วยวิทยุอิมพัลส์ภายในอาคารที่ช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ นำผลการวัดมาวิเคราะห์และประเมินผลเปรียบเทียบการสูญเสียเชิงวิถี การประวิงเวลา และความผิดพลาดทางระยะทางด้วยเทคนิควงจรกรองแบบแมตซ์ และเทคนิคการเกิดเวลา โดยผลจากการใช้เทคนิคการเกิดเวลาทำให้ค่าความผิดพลาดทางระยะทางดีขึ้นจากกรณีที่ไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลาอยู่ที่ 48.15 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นไปตามหลักการทฤษฎี และมีประโยชน์อย่างมากสำหรับข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายระยะไกลและการหาตำแหน่งด้วยการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์

Thesis	Measurement and Modeling of Impulse Radio Localization with Time-gating Technique
Student	Mr. Yannopas Muangmee
Student ID.	64601038
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Impulse radio communication is another wireless communication technology developed for short-range communications, with low transmission power and wideband frequency. Which compliance with communication systems that require the speed of transmitting large amounts of data. Therefore, this thesis has designed an indoor impulse radio localization in the frequency range of 3.1 GHz to 10.6 GHz with a vector network analyzer. The results of the measurements were analyzed and evaluated in comparison with the path loss, power delay profile, and distance error with matched filter technique and time-gating techniques. The distance error in case of using time-gating technique is better than without using time-gating at 48.15%. The results of this thesis are based on theory and very useful for basic information in the research and development of short-range wireless communication systems and positioning by impulse radio transmission.

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ทำให้การสอบวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

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

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณความดีและประโยชน์ที่พึงบังเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลมาจากความกรุณาของ บิดา มารดา คณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และผู้ที่ยื่นสนับสนุน ข้าพเจ้าจึงขอยกคุณความดีเหล่านั้นมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ญาณโณภาษ ม่วงมี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2	
เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์และทฤษฎีการหาตำแหน่ง	6
2.1 เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	6
2.1.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	6
2.1.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	6
2.1.3 ข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	7
2.1.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	8
2.1.5 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4	9
2.2 เทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่ง	11
2.2.1 เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง (TRILATERATION TECHNIQUE)	11
2.2.2 เทคนิค MIN-MAX	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 เทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง (FINGERPRINTING TECHNIQUE)	12
2.2.4 อัลกอริทึมการวิเคราะห์แบบ k จุดข้างเคียงที่สุด (K-NEAREST NEIGHBOR ALGORITHM: KNN)	13
2.2.5 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ALGORITHM: ANN)	13
2.2.6 เทคนิคการเกตเวลา (TIME-GATING TECHNIQUE)	14
2.3 สรุป	16
บทที่ 3 การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์	17
3.1 กล่าวนำ	17
3.2 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับระบบการ ส่งผ่าน สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' transmission formula)	17
3.3 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างที่ได้จากการจำลอง	20
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณแถบกว้าง	22
3.4.1 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้	22
3.4.2 ภาพตัดขวางการประวิงกำลัง	23
3.5 การวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งด้วยค่าความ ผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน	24
3.6 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)	24
3.7 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร	25
3.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองวัด	27
3.7.2 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบวัดช่องสัญญาณแถบกว้าง	29
3.8 สรุป	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
บทที่ 4	ประเมินผลการทดลองวิจัย	31
	4.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลการหาตำแหน่งภายในอาคาร	31
	4.1.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิธีของสัญญาณ	31
	4.1.2 ค่าการประวิงเวลาของสัญญาณ	33
	4.1.3 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง	35
	4.2 สรุป	37
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	39
	5.1 สรุปผล	39
	5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยในอนาคต	42
	บรรณานุกรม	43
	ภาคผนวก	46
	ประวัติผู้แต่ง	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	9
2.2	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	9
3.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร	26
5.1	เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 กรณี	40
5.2	การเปรียบเทียบกำลังงานของสัญญาณของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี	40
5.3	การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี	41

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์และการสื่อสารแถบความถี่แคบ	2
1.2	หลักการสแกนลายนิ้วมือของสัญญาณวิทยุอิมพัลส์	3
1.3	บล็อกไดอะแกรมของทฤษฎีและหลักการการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์และเทคนิคการเกิดเวลา	4
1.4	บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์	5
1.5	บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์โดยใช้แมตซ์ฟิลเตอร์	5
1.6	บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาที่นำเสนอ	5
2.1	การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	10
2.2	การหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง	11
2.3	การหาตำแหน่งด้วยเทคนิค MIN-MAX	11
2.4	กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง	12
2.5	อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว	13
2.6	โครงข่ายประสาทเทียม	14
2.7	บล็อกไดอะแกรมของเทคนิคการเกิดเวลา	15
3.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งผ่านโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสโดยมีแมตซ์ฟิลเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	19
3.2	รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ที่ถูกนอร์มัลไลซ์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	21
3.3	ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์	22
3.4	รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้แบบแถบกว้างยิ่ง	23
3.5	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	25
3.6	บล็อกไดอะแกรมการหาตำแหน่งภายในอาคาร	25
3.7	แบบจำลองการวัดของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยสัญญาณวิทยุอิมพัลส์	26
3.8	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.9	สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด	28
3.10	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด	29
3.11	ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด	29
3.12	แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณที่วัดจริง	30
4.1	การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์	31
4.2	การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์	32
4.3	ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา	32
4.4	การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)	33
4.5	การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์ที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)	34
4.6	การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลาที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)	34
4.7	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์	35
4.8	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางจากด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์	36
4.9	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา	36
4.10	การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ทั้ง 3 กรณี	37
5.1	แบบจำลองการหาตำแหน่งภายนอกอาคาร	42

บทที่ 1

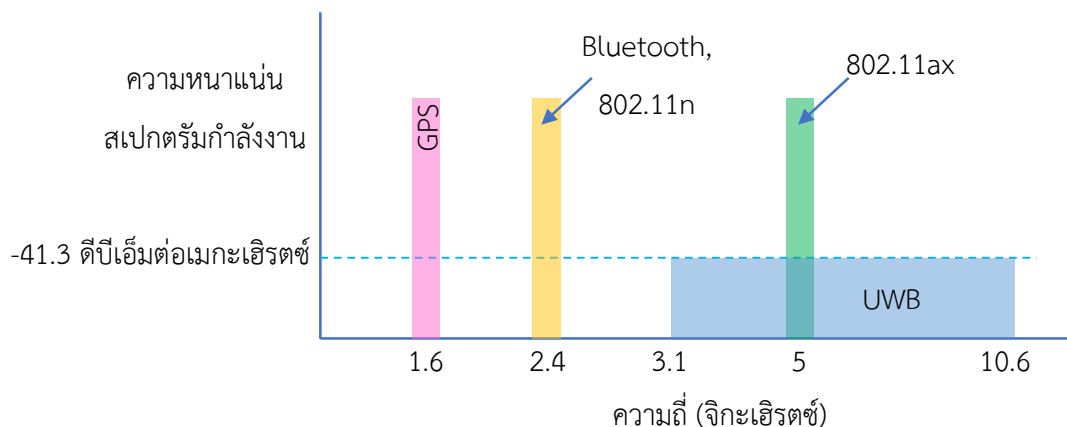
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างมาก รวมถึงได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์หลากหลายชนิดต่างถูกปรับเปลี่ยนไปสู่การใช้งานแบบเทคโนโลยีไร้สายอุปกรณ์ทุกชนิดจะสามารถใช้งานร่วมกันได้ อีกทั้งยังสามารถให้บริการการสื่อสาร ข้อมูล ภาพ เสียง ได้พร้อมกัน ไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปทางใดก็สามารถติดต่อสื่อสารกันได้

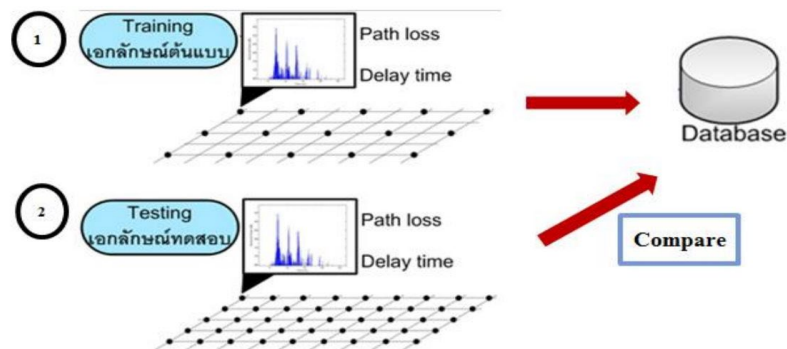
เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านทางการแพทย์ที่ใช้ในการติดตามอาการคนไข้ ด้านธุรกิจ เช่น การติดตามระบบขนส่งทางบกหรือทางอากาศ [1] และการระบุตำแหน่ง เป็นต้น ซึ่งการระบุตำแหน่งที่ใช้งานในปัจจุบันเป็นระบบจีพีเอส (Global Positioning System: GPS) เป็นระบบนำทางที่ใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม และความเร็วแสงเดินทางมายังอุปกรณ์ภาครับ ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดหากนำมาใช้ภายในอาคาร หรือสถานที่ปิดทึบจะทำให้ไม่สามารถใช้คำนวณหาตำแหน่งได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวทางพัฒนาการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ (Impulse Radio Ultra-Wideband: IR-UWB) เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์เป็นปัจจัยสำคัญในการรองรับเทคโนโลยีไร้สายในอนาคตที่พัฒนาเพื่อรองรับความต้องการแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้น และเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีแถบความถี่กว้าง มีแบนด์วิดท์กว้างมากที่สุดเท่ากับ 7.5 จิกะเฮิร์ตซ์ อยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 จิกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิร์ตซ์ [1] มีความจุของช่องสัญญาณมากทำให้ส่งข้อมูลได้ปริมาณมาก อีกทั้งยังใช้พลังงานต่ำ และอัตราการส่งข้อมูลมีความเร็วสูง นอกจากนั้นแล้วอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยังมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์อื่นอีกด้วย จึงเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้สำหรับระบบไร้สายระยะสั้นจนถึงระยะกลางเช่น ระบบโครงข่ายตรวจสอบไร้สาย และระบบโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) [2]

ข้อดีที่สำคัญของสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ คือ การหาตำแหน่งที่มีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจากสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ มีแบนด์วิดท์กว้างแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 ส่งผลให้ภาครับสามารถจัดปัญหาที่เกิดจากองค์ประกอบของการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath Component) [3] ดังนั้นเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ สามารถคาดคะเนเวลาการมาถึงของสัญญาณวิถีแรกได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้การหาตำแหน่งมีความเที่ยงตรงสูง จึงเป็นลักษณะเด่นของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ เป็นจุดที่ทำให้ดึงดูดความสนใจในการนำมาใช้งานสำหรับการสื่อสารต่าง ๆ



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานแถบความถี่ของการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์และการสื่อสารแถบความถี่แคบ [4]

สำหรับระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารนั้นต้องการความแม่นยำสูง มีเทคนิคการระบุตำแหน่งจำนวนมากถูกนำเสนอเพื่อทำการคาดคะเนตำแหน่ง เทคนิคเหล่านั้น [1] เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง (Trilateration) เทคนิคการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) เทคนิคการพิจารณาเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time Of Arrival: TOA) เทคนิคเหล่านี้เป็นการพิจารณาทิศทางกำลังและเวลาของสัญญาณที่ได้รับ อีกหนึ่งเทคนิคคือ วิธีการสแกนลายนิ้วมือ [5]-[6] จะใช้คุณลักษณะของช่องสัญญาณมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ แล้วบันทึกลงฐานข้อมูลจากนั้นตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกประมวลโดยการนำเอกลักษณ์ทดสอบของตำแหน่งนั้น ๆ มาเปรียบเทียบกับเอกลักษณ์ต้นแบบซึ่งได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งเทคนิคนี้จะสามารถช่วยลดผลกระทบ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และจะทำให้การคาดคะเนตำแหน่งภายในอาคารนั้นมีความแม่นยำ เทียบตรง และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยการเปรียบเทียบข้อมูลจะใช้อัลกอริทึมรูปแบบการจับคู่ข้อมูลซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผลระหว่างตำแหน่งที่ได้ในขณะนั้นกับตำแหน่งในฐานข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจร่วมด้วย [7] เทคนิคในการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ถูกนำมาใช้เป็นอัลกอริทึมมีด้วยกันหลายวิธี เช่น เทคนิคการวิเคราะห์แบบ K จุดข้างเคียงที่สุด (K-Nearest Neighbor: KNN) [8] เทคนิคการเรียนรู้แบบเบย์ (Native Bayes) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) [7] และ [9] เทคนิคการเกตเวลา (Time-Gating)



รูปที่ 1.2 หลักการสแกนลายนิ้วมือของสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ [5]

ในวิทยานิพนธ์นี้ นำวิธีการสแกนลายนิ้วมือมาใช้แต่อย่างไรก็ตามการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการสแกนลายนิ้วมือนั้นเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเอกลักษณ์ต้นแบบ และเอกลักษณ์ทดสอบเพื่อคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเกิดเวลามาใช้วิเคราะห์ตำแหน่งเนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลาที่จำกัดขอบเขตความกว้างของรูปคลื่นวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล [10] เพื่อลดการหน่วงทางเวลาของรูปคลื่นวิทยุอิมพัลส์อันเนื่องมาจากผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นทำให้การคาดคะเนตำแหน่งมีการพัฒนาความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

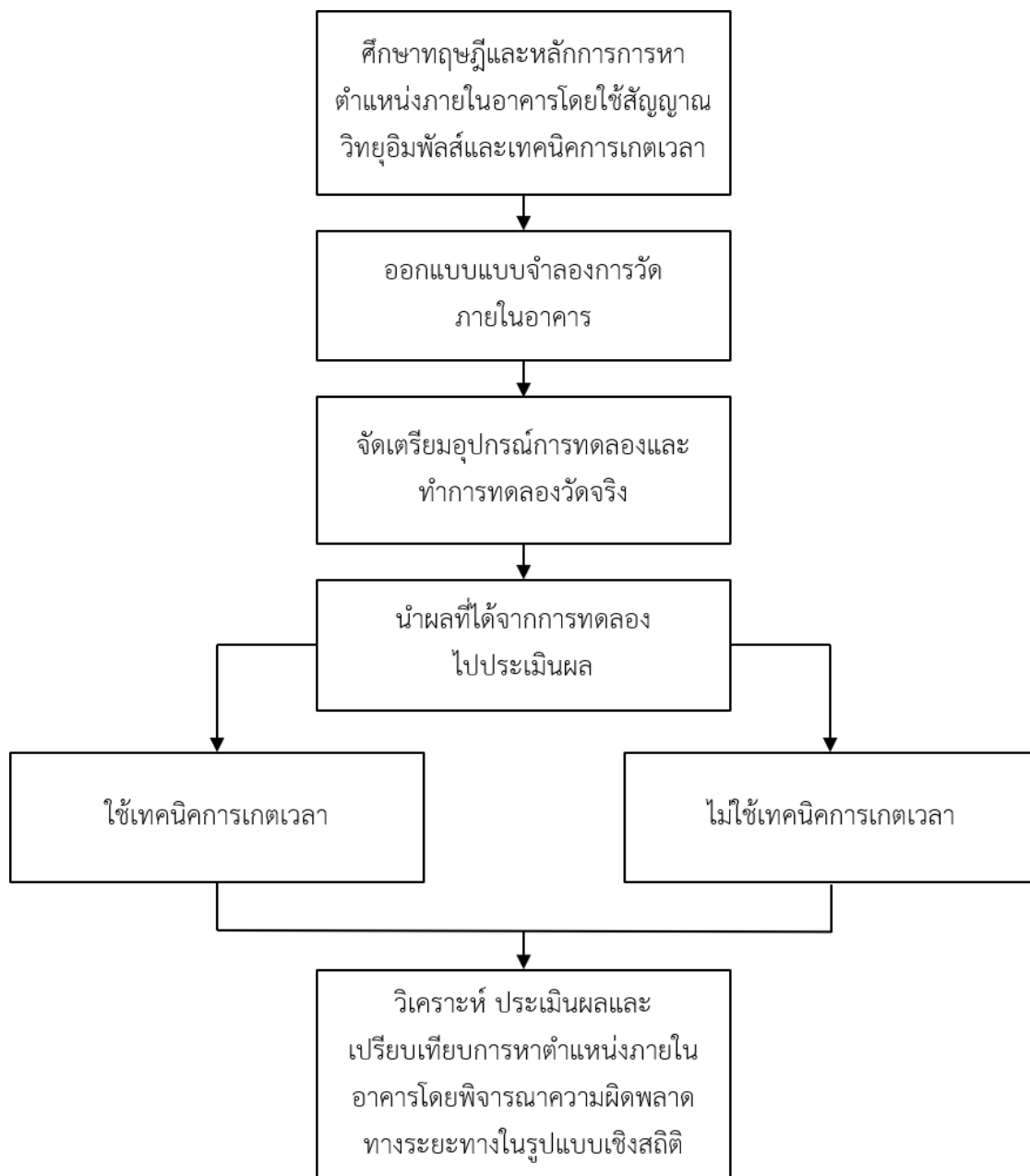
1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเทคนิคการหาตำแหน่งบนเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์และการประยุกต์ใช้งานด้านการหาตำแหน่งรวมถึงออกแบบแบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร
- 2) ศึกษาสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในระบบวิทยุอิมพัลส์
- 3) เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการเกิดเวลาในการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณวิทยุอิมพัลส์

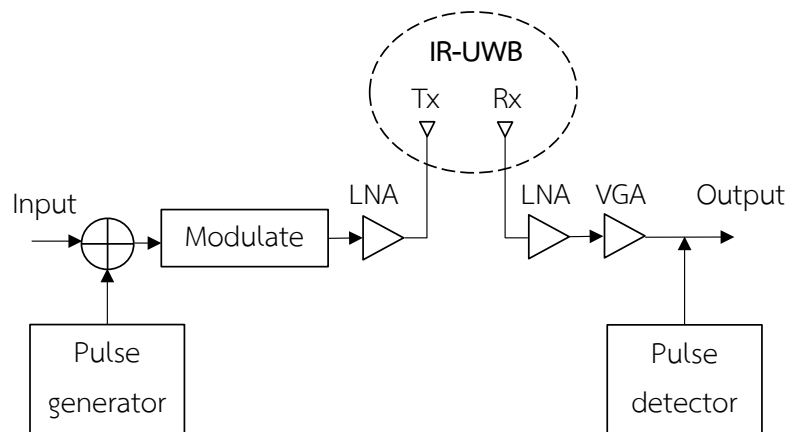
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ออกแบบการสร้างสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในระบบวิทยุอิมพัลส์ แล้วทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ขนาดและเฟสของสัญญาณ รวมถึงออกแบบการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยสัญญาณวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและเทคนิคการเกิดเวลา จากนั้นวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละพิกัดตำแหน่ง และวัดช่องสัญญาณของวิทยุอิมพัลส์ในช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer: VNA) ผลที่ได้จากการวัดนำมาวิเคราะห์และประเมินผล

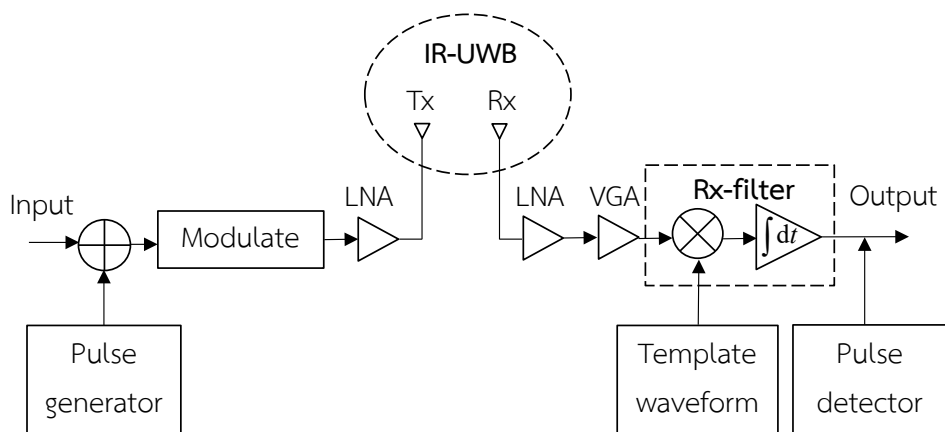
ค่าความผิดพลาดระยะทางจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น รวมถึงประเมินผลด้วยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการเกิดเวลาและไม่ได้ใช้เทคนิคการเกิดเวลา แสดงดังรูปที่ 1.3 ถึง 1.6



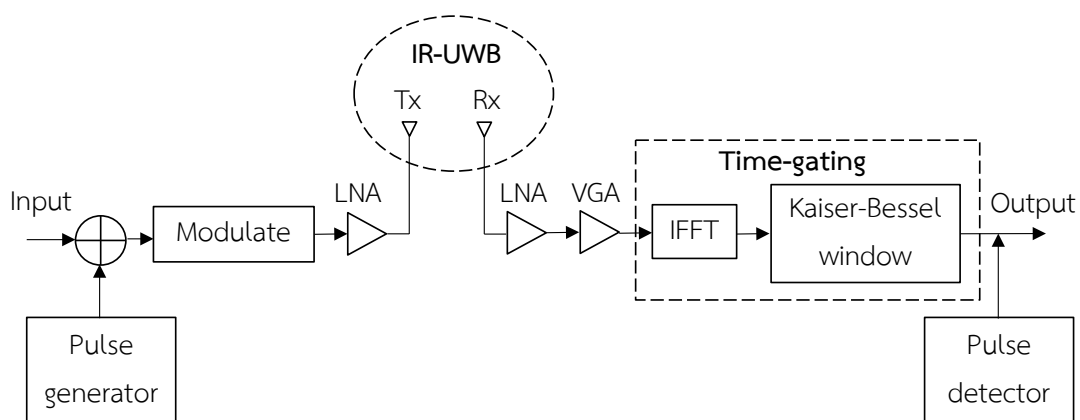
รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของทฤษฎีและหลักการการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณวิทยุแบบอิมพัลส์และเทคนิคการเกิดเวลา



รูปที่ 1.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์ [11]



รูปที่ 1.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์โดยใช้แมตซ์ฟิลเตอร์ [11]



รูปที่ 1.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกตเวลาที่นำเสนอ

บทที่ 2

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์และทฤษฎีการหาตำแหน่ง

2.1 เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

2.1.1 ความเป็นมาของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นการส่งข้อมูลโดยใช้พัลส์ที่มีความกว้างสั้นมากทำให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ซึ่งต่างจากการส่งข้อมูลแบบแถบแคบทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน โดยเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์นี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 ซึ่งใช้งานในระบบเรดาร์เป็นหลัก จนกระทั่งปัจจุบันได้เริ่มนำเทคโนโลยีนี้มาใช้งานในระบบการสื่อสารมากขึ้นอันเนื่องมาจากความสนใจที่จะนำมาใช้ในระบบสื่อสารแบบมัลติมีเดีย ระบบสื่อสารที่ต้องการอัตราการรับ – ส่งข้อมูลที่สูงรวมทั้งระบบการหาตำแหน่ง

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของแถบความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดยคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ให้ข้อกำหนดไว้ว่าเทคโนโลยีอิมพัลส์จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของแถบความถี่ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบันได้มีการกำหนดใช้แถบความถี่ไว้แล้ว แต่สัญญาณวิทยุอิมพัลส์มีระดับความหนาแน่นเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density: PSD) ที่ต่ำมากทำให้เปรียบเสมือนสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารแถบแคบ จึงทำให้สามารถใช้แถบความถี่ซ้อนทับกับระบบสื่อสารแถบแคบได้ [12]

2.1.2 หลักการทำงานของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างโดยใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก โดยอยู่ในระดับนาโนวินาทีหรือที่ระดับ พิโควินาทีที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse Signal) โดยระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์ในการรับ – ส่งสัญญาณนั้นไม่ใช่คลื่นพาห้ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ แต่จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่น ของพัลส์ที่มีรูปคลื่นไม่ต่อเนื่องในทางเวลาด้วยอัตราการส่งพัลส์ ในระดับจำนวนหลายร้อยล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาทีในการรับ – ส่งสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานถูกกระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก [13]

เนื่องจากเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีการใช้แถบความถี่ช่วงเดียวกับระบบการสื่อสาร แถบแคบ และเพื่อป้องกันปัญหาการแทรกสอดจากสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ทางคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาจึงกำหนดช่วงความถี่อยู่ที่ 3.1 จิกะเฮิร์ตซ์ถึง 10.6 จิกะเฮิร์ตซ์มีแบนด์วิดท์สูงสุดเท่ากับ 7.5 จิกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนั้นได้กำหนดให้สัญญาณวิทยุอิมพัลส์ที่ถูกส่งออกมาต้องมีระดับความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับการจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ -41.3 ดีบีเอ็มต่อ

เมกะเฮิรตซ์ (dBm/MHz) ดังรูปที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณวิทยุอิมพัลส์ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้าง มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่กว้างมากในระดับจิกะเฮิรตซ์เทียบกับสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีการกระจายกำลังงานของสัญญาณอยู่ในช่วงแถบความถี่แคบชนิดต่าง ๆ [4]

2.1.3 ข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

2.1.3.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ [14]

1) มีแบนด์วิดท์ของสัญญาณมากกว่าเทคนิคอื่น ๆ เช่น Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ด้วยแบนด์วิดท์ที่กว้างนี้รวมกับความหนาแน่นของสเปกตรัมของกำลังที่มีค่าน้อย ทำให้เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์สามารถใช้ความถี่ร่วมกับระบบอื่นที่อยู่ในช่วงเดียวกันได้

2) การรบกวนจากภายในของระบบเองมีค่าน้อยมากทำให้สามารถนำระบบที่ใช้เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์จำนวนมากมาใช้ร่วมกันได้ในบริเวณที่กำหนด

3) จากการที่ใช้พัลส์ที่มีช่วงแคบทำให้ระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ไม่ได้รับผลจากหลายวิถี พัลส์ที่สะท้อนกลับนั้นจะไม่เกิดการซ้อนทับกันจึงทำให้ไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน

4) สามารถให้ข้อมูลข่าวสารในด้านระยะทางที่มีความถูกต้องสูง (น้อยกว่า 1 เซนติเมตร) ทำให้สามารถบอกตำแหน่งได้โดยใช้เครื่องส่งหลายตัวพร้อมกัน หรือแม้แต่การค้นหาตำแหน่งที่ต้องการซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สายอากาศต่อกันหลายอัน

5) มีอัตราการส่งข้อมูลได้สูงกว่าและสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ ได้มากกว่า เพราะวาระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีแบนด์วิดท์กว้าง และมีการส่งแบบพัลส์ของสัญญาณที่แคบมากจึงทำให้การส่งสัญญาณเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

6) มีการใช้พลังงานต่ำในการส่งสัญญาณ เพราะระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ได้ถูกกำหนดค่ากำลังงานการแพร่กระจายออกของสัญญาณไว้ที่ -41.3 ดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์

7) มีความสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ดี เพราะวาระบบ การสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีการส่งผ่านช่องสัญญาณที่เป็นลักษณะของ Slow Fading เนื่องจากมีช่วงแบนด์วิดท์กว้าง

8) มีราคาถูกลงกว่า เพราะที่วงจรภาครับของระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ไม่มีวงจร Mixer (VCO และ PLL) IF และ LNA

9) ยากต่อการขโมยข้อมูล เพราะวาระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีการใช้ช่วงความถี่ที่กว้างมาก และช่วงความถี่พัลส์ที่แคบมาก

2.1.3.2 ข้อเสียของระบบการสื่อสารเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์

1) เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Distortion) ได้ในการส่ง เนื่องจากการส่งแบบพัลส์อาจจะเกิดความผิดเพี้ยนได้

2) อุปกรณ์อาจไม่สามารถใช้งานได้ทั่วโลก เนื่องจากช่วงความถี่ เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีความถี่ที่กว้างทำให้ผู้ผลิตในแต่ละประเทศออกแบบอุปกรณ์ของตนให้สามารถรับความถี่ในช่วงต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้อุปกรณ์ของประเทศหนึ่งอาจจะไม่สามารถใช้งานในอีกประเทศหนึ่งได้

3) ระบบสัญญาณที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน อาจจะทำให้เกิดการไม่แมตช์ (Mismatch) กันได้

2.1.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์นั่นก็คือ การจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์จากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบวิทยุอิมพัลส์ในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) [15]

2.1.4.1 ข้อกำหนดของระบบวิทยุอิมพัลส์ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมทำการต่อต้านการนำระบบวิทยุอิมพัลส์มาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ Federal Aviation Administration (FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในด้านต่าง ๆ

ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์ ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์ ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบวิทยุอิมพัลส์ทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้น ส่วนข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2.1.4.2 ข้อกำหนดของระบบวิทยุอิมพัลส์ในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบวิทยุอิมพัลส์ในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบวิทยุอิมพัลส์บนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรปแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [15]

ความถี่ (เมกะเฮิร์ตซ์)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายแถบกำลังงานโดยสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [15]

	ช่วงความถี่ (จิกะเฮิร์ตซ์)		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

2.1.5 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มาตรฐาน IEEE 802.15.4

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ที่มีความต้องการความเร็วสูง ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power Attenuation) โดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ได้หลายรูปแบบยกตัวอย่างเช่น [16] และ [17]

2.1.5.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน

เทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์มีการประยุกต์ใช้ในอาคารสำนักงาน เช่น การควบคุมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสารโดยผ่านระบบไร้สาย ซึ่งแน่นอนว่าการใช้อุปกรณ์การสื่อสารไร้สาย อาจจะได้รับผลกระทบจากสถานะแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน เช่น โต๊ะทำงาน ผนัง กำแพง ซึ่ง อาจจะทำให้ถูกลดทอนกำลังงานในการส่งสัญญาณ

2.1.5.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย เช่น การเปิดปิด สวิตซ์ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านระบบไร้สาย หรือการตั้งเวลาเปิดปิดอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ติดต่อสื่อสารภายในอาคารมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารไร้สายเช่นเดียวกับการนำไปประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน

2.1.5.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไร้สาย

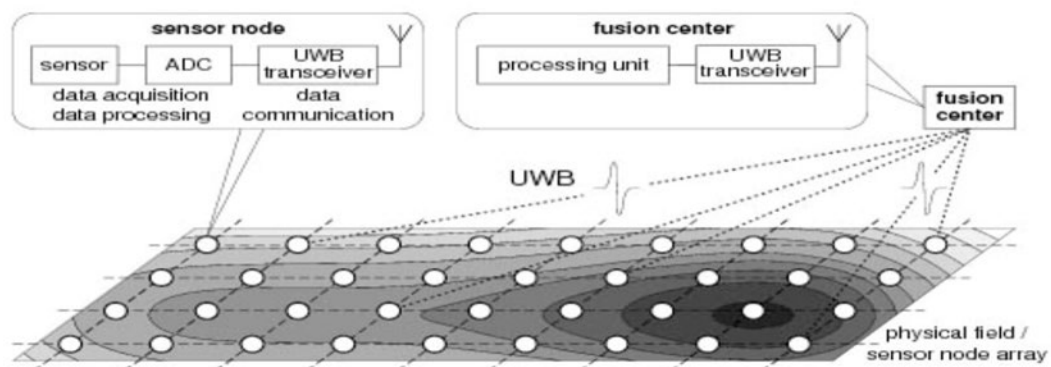
ลักษณะการใช้งานในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ไปยัง เครื่องมือวัด อาจจะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อสื่อสารในสถานะแวดล้อมจริง และจากร่างกายมนุษย์

2.1.5.4 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายทางการแพทย์ไร้สาย

ลักษณะการใช้งานในโครงข่ายทางการแพทย์แบบไร้สายโดยพิจารณาจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ ทำให้คุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการแพทย์เปลี่ยนไปและการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสารในสถานะแวดล้อมจริงได้ทำให้เกิดการผิดพลาดได้

2.1.5.5 การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง

ในการประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ทั้งการหาตำแหน่งของ เซ็นเซอร์ที่อยู่บนร่างกายและการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งเป็นลักษณะการใช้งานในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถีและเวลาประวิง แต่อาจจะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อสื่อสารในสถานะแวดล้อมจริงที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการหาตำแหน่ง

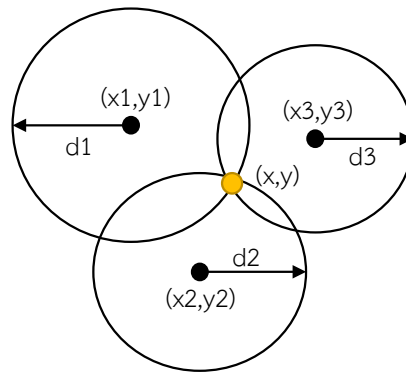


รูปที่ 2.1 การหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [4]

2.2 เทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

2.2.1 เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง (Trilateration Technique)

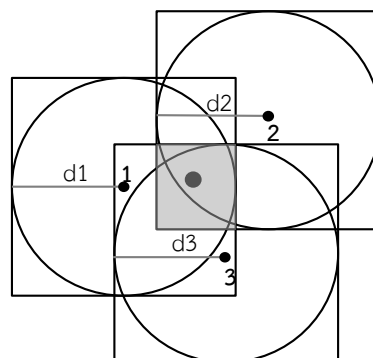
การหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วงเป็นเทคนิคการหาตำแหน่งที่อาศัยหลักการตัดกันของวงกลมโดยจะคำนวณหาระยะระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีส่วนสายอากาศอย่างน้อย 3 อัน โดยการคำนวณหาตำแหน่งจะนำระยะทางของสายอากาศแต่ละอันมาวาดเป็นวงกลมตำแหน่งที่ได้จะเกิดการซ้อนทับกันของวงกลมทั้ง 3 วง แสดงดังรูปที่ 2.2 [18]



รูปที่ 2.2 การหาตำแหน่งด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง [18]

2.2.2 เทคนิค Min-Max

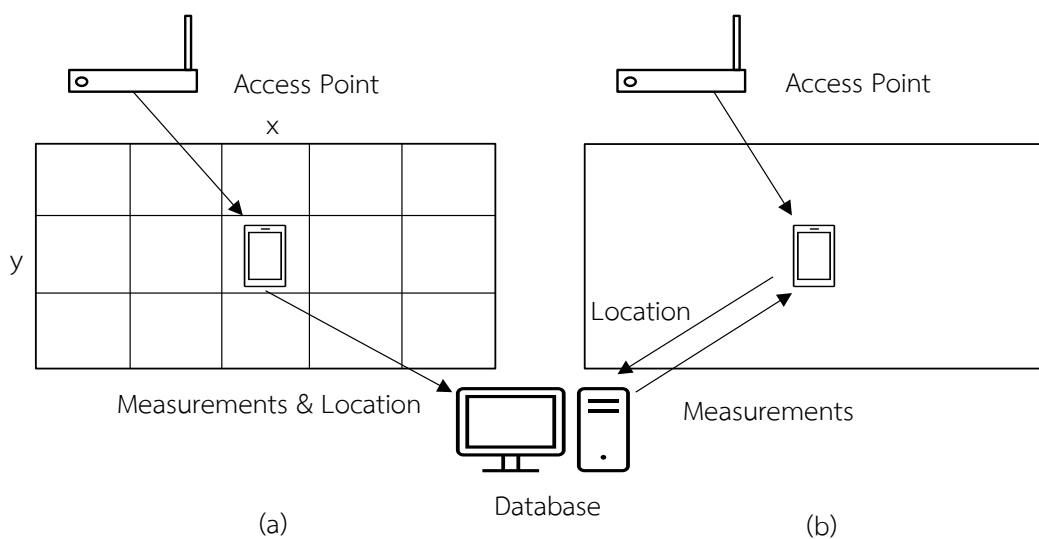
Min-Max เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งที่ใช้หลักการซ้อนทับกันของกล่องหรือขอบเขตที่ต่ำที่สุดและขอบเขตที่สูงที่สุดในแกน x และ y ซึ่งเทคนิคนี้จำเป็นที่ต้องใช้สายอากาศส่งอย่างน้อย 3 ต้น การคำนวณหาตำแหน่งจะนำพารามิเตอร์ทั้งสองมาคำนวณระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ จากนั้นจะทำการวาดกล่องหรือขอบเขตที่เกิดจากสายอากาศส่ง แต่ละอันโดยตำแหน่งที่ต้องการจะหาได้จากค่าเฉลี่ยในแกน x และ y ของส่วนที่ซ้อนทับกันของกล่องหรือขอบเขตทั้งสาม [18] และ [19]



รูปที่ 2.3 การหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Min - Max [18]

2.2.3 เทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง (Fingerprinting Technique)

การพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งเป็นเทคนิคที่มีลักษณะคล้ายกับวิธีสแกนนิ้วมือของมนุษย์ โดยจะใช้ฐานข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่ง ในขั้นตอนแรกจะเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยนำค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณมาเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้คือตำแหน่งที่เมื่อทำการเปรียบเทียบแล้วมีความใกล้เคียงกันที่สุด [20] โดยวิธีการนี้สามารถใช้อุปกรณ์ด้านส่งอย่างน้อย 1 ตัว ก็สามารถหาตำแหน่งได้ อย่างไรก็ตาม จุดด้อยของการใช้วิธีนี้คือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลสำหรับกรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ สำหรับกระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยเทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งจะมีการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลก่อน ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นตอนการฝึกฝน (Training process) หลังจากนั้นในกระบวนการหาตำแหน่งพารามิเตอร์ของสัญญาณจะถูกเก็บแล้วนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ทำ การเก็บไว้ก่อนหน้า หลังจากนั้นจะทำการแสดงตำแหน่งที่มีค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแตกต่างกัน น้อยที่สุด ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นตอนการทดสอบ (Testing process)



รูปที่ 2.4 กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง [20]

(a) ขั้นตอนการฝึกฝน (b) ขั้นตอนการทดสอบ

สำหรับในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น เป็นการการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณซึ่งจะแสดงถึงเอกลักษณ์เฉพาะของตำแหน่ง ซึ่งจะเรียกว่าชุดข้อมูลฝึกฝน (S) โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$S = \{(m_1, p_1), (m_2, p_2), \dots, (m_n, p_n)\} \quad (2.1)$$

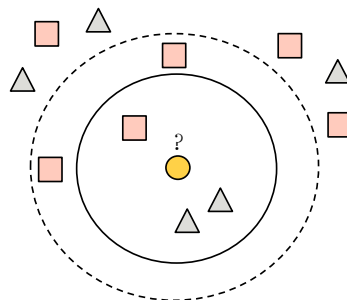
เมื่อ

m_i คือ พารามิเตอร์ของสัญญาณในตำแหน่งที่ i th
 $p_i = (x_i, y_i)$ คือ ตำแหน่งสำหรับปริภูมิ 2 มิติ ของพิกัดในแนวแกน x และ y
 n คือ จำนวนข้อมูลฝึกฝนทั้งหมด

หลังจากนั้นชุดข้อมูลจะถูกนำไปประมวลผลก่อนที่จะเก็บลงฐานข้อมูล ในส่วนขั้นตอนการทดสอบจะเป็นการเก็บพารามิเตอร์ของสัญญาณชนิดเดียวกันกับที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.2.4 อัลกอริทึมการวิเคราะห์แบบ K จุดข้างเคียงที่สุด (K-Nearest Neighbor Algorithm: KNN)

KNN เป็นเทคนิคในการตัดสินใจวิธีหนึ่งที่ต่างจากวิธีการรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ที่สามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้นโดยการตรวจสอบ K จำนวนที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน K ตัว แสดงดังรูปที่ 2.5



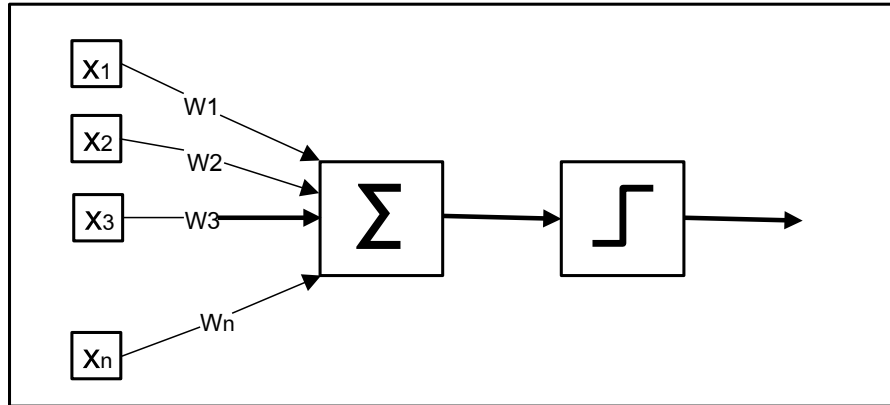
รูปที่ 2.5 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน K ตัว [8]

เทคนิคนี้จะเป็นการหาผลรวม (Count Up) ของจำนวนเงื่อนไข หรือกรณีต่าง ๆ สำหรับแต่ละการตัดสินใจ การนำอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน K ตัวไปใช้นั้นเป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละตัวแปร (Attribute) ในข้อมูล ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ

2.2.5 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Algorithm: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 2.6 เพื่อให้คอมพิวเตอร์มีการเรียนรู้ได้เหมือนมนุษย์ โดยสามารถฝึกฝนให้จดจำรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการอุปมาความรู้ และการนำทักษะที่ได้ไปแก้ปัญหาต่าง ๆ โครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นการนำเอาแนวคิดของโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพในสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบไปด้วย เซลล์ประสาท

(Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า โยประสาทนำเข้า (Dendrite) ซึ่งเป็นอินพุต และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า แกนประสาทนำออก (Axon) ซึ่งเปรียบเสมือนเอาต์พุตของเซลล์ประสาท

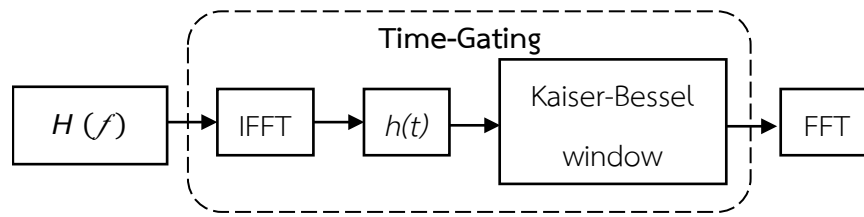


รูปที่ 2.6 โครงข่ายประสาทเทียม [7]

สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยข้อมูลอินพุต ซึ่งในแต่ละข้อมูลนั้นจะมีค่าน้ำหนัก และถูกส่งไปยังฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) เพื่อทำการตัดสินใจและได้ข้อมูลเอาต์พุตออกมา

2.2.6 เทคนิคการเกตเวลา (Time-Gating Technique)

เทคนิคการเกตเวลาเป็นการใช้วินโดว์คูณกับสัญญาณในโดเมนเวลาเพื่อเป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเท่าเดิม และช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามการใช้วินโดว์จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการขึ้น วินโดว์ที่ทำให้มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยจะต้องมีคุณสมบัติในโดเมนความถี่คือ โลบหลักจะต้องแคบและมีความชันมาก โลบข้างจะต้องมีระดับต่ำ เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติเหล่านี้วินโดว์พื้นฐานชนิดต่าง ๆ เช่น วินโดว์สี่เหลี่ยม วินโดว์บาร์ทเลทท์วินโดว์แฮมมิง วินโดว์ฮานนิง และวินโดว์เบลคแมน จะต้องใช้ความยาวของวินโดว์มากและอันดับวินโดว์สูง วินโดว์ที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อยและใช้ความยาวของวินโดว์น้อยจะต้องใช้วินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้าง แต่วินโดว์ชนิดนี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มาก วินโดว์โคเซอร์-เบสเซลเป็นวินโดว์ที่ประมาณมาจากวินโดว์ทรงคล้ายทรงกลมแบนข้างให้อยู่ในทอมทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น แล้วยังคงคุณสมบัติที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดน้อย [10] ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซล โดยแสดงบล็อกไดอะแกรมเทคนิคการเกตเวลา แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของเทคนิคการเกตเวลา [10]

การเกตเวลาเป็นวิธีการลดการรบกวนหลายวิธีและเพิ่มความแม่นยำในการวัดซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนความถี่ของการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับไม่สามารถทำได้โดยตรงในโดเมนความถี่ จึงจำเป็นต้องใช้การแปลงฟูริเยร์เพื่อแปลงให้อยู่ในโดเมนเวลาก่อน ดังนั้นจึงนำมาใช้ในการวัดสัญญาณวิทยุอิมพัลส์โดยนำเทคนิคการเกตเวลามาประยุกต์ใช้ลดผลกระทบของการเชื่อมต่อระหว่างสายอากาศส่งกับสายอากาศรับในโดเมนเวลา เมื่อวินโดว์โคเซอร์-เบสเซล $w(t)$ แสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$w(t) = \begin{cases} I_0(\pi\alpha) \sqrt{1 - \left\{ \frac{2[t - t_p]}{T} \right\}^2} & , t_p - \frac{T}{2} \leq t \leq t_p + \frac{T}{2} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อฟังก์ชันเบสเซลที่ถูกแก้ไขอันดับที่ศูนย์ของชนิดแรก $I_0(x)$ สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.2

$$I_0(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{x \cos(\theta)} d\theta \quad (2.2)$$

เมื่อ

T	คือ ความกว้างของหน้าต่าง
$t_p(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s)$	คือ เวลาสูงสุดของหน้าต่าง
α	คือ ขอบเขตของหน้าต่าง

การเกตเวลา โดยใช้วินโดว์โคเซอร์-เบสเซลในโดเมนเวลาเพื่อที่จะกรองคลื่นหลายวิธีที่มาซ้ำออก ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบของฟังก์ชันการถ่านโอนและผลตอบสนองอิมพัลส์ได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$H_{\text{tg}}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h_c(t) w(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

$$h_{\text{tg}}(t) = \text{IFFT}(H_{\text{tg}}(f)) \quad (2.4)$$

2.3 สรุป

ในบทความนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาและหลักการทำงานของเทคโนโลยีวิหุยมพัลส์ ข้อดี – ข้อเสียของเทคโนโลยีวิหุยมพัลส์ การประยุกต์ใช้งานรวมถึงข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น คณะกรรมาธิการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา กลุ่มที่เจรจากับคณะกรรมาธิการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป รวมถึงมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง อีกทั้งยังได้กล่าวถึงทฤษฎีวิธีการและเทคนิคที่ใช้ในการหาตำแหน่ง ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3 วง เทคนิคการหาตำแหน่ง Min-Max เทคนิคการหาตำแหน่งการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง เทคนิคการวิเคราะห์แบบ K จุดข้างเคียงที่สุด โครงข่ายประสาทเทียม และเทคนิคการเกิดเวลา ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เทคนิคการหาตำแหน่งการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง เนื่องจากมีความง่ายต่อการวิเคราะห์โดยจะทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ไว้ในฐานข้อมูลก่อน จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ขึ้นตอนการทดสอบมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล และใช้สายอากาศด้านส่งเพียงตัวเดียวทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อการใช้งาน แต่มีจุดด้อยเพราะว่าเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการใช้เทคนิคการเกิดเวลาเพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดความผิดพลาดในการหาตำแหน่งภายในอาคาร

บทที่ 3

การวิเคราะห์ช่องสัญญาณส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคารตามข้อกำหนดแถบความถี่รวมเพื่อนำมาประเมินหาผลกระทบของร่างกายต่อช่องสัญญาณการส่งผ่านโดยนำทฤษฎีและหลักการการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส (Friis' transmission formula) มาพิจารณาเป็นหลักรวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง อย่างเช่น ผลการกระจายทางเวลา ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และ เวลาการมาถึงของสัญญาณซึ่งหลักการและทฤษฎีพื้นฐานทั้งหมดนี้มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาและประเมินช่องสัญญาณการแผ่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

การสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารไร้สายที่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบในปัจจุบันต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของสัญญาณที่แตกต่างไปจากเดิม ระดับของกำลังงาน แม้กระทั่งเวลาประวิงที่เกิดขึ้นซึ่งค่าเหล่านี้มีความสำคัญที่ต้องนำมาวิเคราะห์ช่องสัญญาณของระบบการสื่อสาร โดยที่เมื่อระบบทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือช่องสัญญาณจะส่งผลกระทบต่อสิ่งที่กล่าวไว้จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดนั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองวัดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

3.2 ทฤษฎีการประยุกต์สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส สำหรับระบบการส่งผ่านสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง (Extension of Friis' transmission formula)

[12]

ในระบบสื่อสารไร้สายสัญญาณที่ต้องการจะส่งจะถูกป้อนไปยังสายอากาศเพื่อที่จะแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กเมื่อคลื่นสัญญาณผ่านอากาศมาถึงภาครับสายอากาศก็จะทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกด้วยในที่นี้การส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้นมักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) ซึ่งมีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกกันโดยทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission equation) [21] ได้แสดงตามสมการที่ 3.1 สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางและสามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณสำหรับช่องสัญญาณในระดับสายตา (Line of sight) อีกด้วย

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)G_f(f) \quad (3.1)$$

โดย

- $G_{\text{Friis}}(f)$ คือ อัตราการขยายของฟรีส
- $P_r(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน
- $P_t(f)$ คือ กำลังของสัญญาณด้านส่งในรูปของกำลังงาน
- $G_f(f)$ คือ อัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างแสดงดังสมการที่ 3.2
- $G_r(f)$ คือ อัตราการขยายของสัญญาณด้านรับ ในหน่วยเดซิเบล
- $G_t(f)$ คือ อัตราขยายของสัญญาณด้านส่ง ในหน่วยของเดซิเบล

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = \left(\frac{c}{4\pi d f} \right)^2 \quad (3.2)$$

โดยที่ $G_f(f)$ คืออัตราการขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างหรือทิศทางที่มองเห็น (Line of sight : LOS) หรือสามารถคำนวณหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของอวกาศว่างได้เป็นสมการที่ 3.3 เป็นการเขียนในรูปแบบของฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณ

$$H_{\text{Friis}}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d)\mathbf{H}_r(f)\mathbf{H}_t(f) \quad (3.3)$$

โดยที่

- H_f คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่าง
- \mathbf{H}_r คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านรับ
- \mathbf{H}_t คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านส่ง
- V_r คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับ
- V_t คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านส่ง
- f คือ ความถี่
- d คือ ระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก (Isotropic)

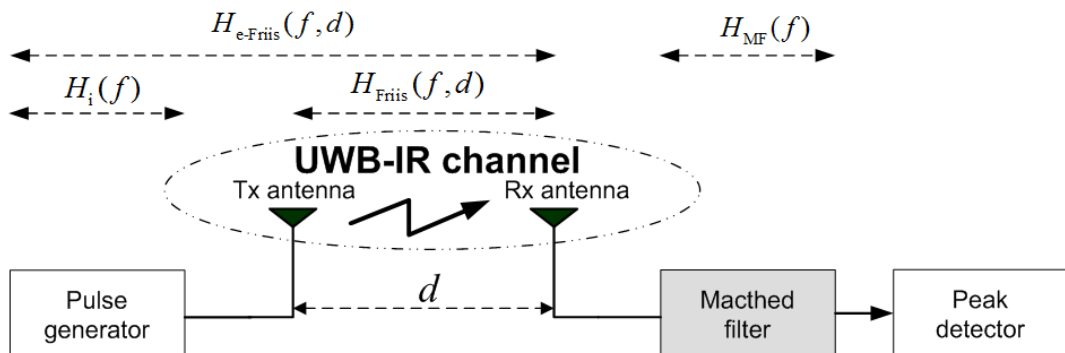
$$H_{\text{Friis, Iso}}(f) = H_f H_i \quad (3.4)$$

สามารถคำนวณหาฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.5

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} \exp(-jkd) \quad (3.5)$$

$$\text{เมื่อที่ } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ในระบบแบบแถบแคบค่าลิงค์บัตเจท (Link budget) ของการสูญเสียการแพร่กระจายในอวกาศว่างปกติถูกประเมินค่าโดยสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสดังสมการที่ 3.1 ได้กล่าวมาในข้างต้นแต่ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้โดยตรงกับการวิเคราะห์ระบบช่องสัญญาณการแพร่กระจายวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งยวดที่มีการแสดงด้วยฟังก์ชันของความถี่นั้นแสดงว่าสมการที่ 3.1 จะมีความเหมาะสมกับค่าความถี่บางช่วงเท่านั้นและไม่สามารถนำมาใช้กับระบบแบบแถบกว้างยิ่งยวดได้โดยตรงจึงมีการปรับปรุงสมการการส่งผ่านของฟรีสให้เหมาะสมกับระบบสื่อสารแถบกว้าง ซึ่งเรียกว่า การขยายสมการการส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis's transmission formula) [22] โดยจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการส่งผ่านโดยการเพิ่มฟังก์ชันการส่งผ่านของสัญญาณส่งจากวงจรกรองกำเนิดพัลส์ (Pulse generator filter, H_i) เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งผ่านโดยการประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส โดยมีแมตซ์ฟิลเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยวด [23]

จึงนำการประยุกต์ของสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสมาประยุกต์ใช้กับรูปคลื่นการส่งผ่าน ได้ดังนี้

$$H_{e-Friis}(f, d) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_f(f, d)H_i(f)H_r(f) \cdot H_t(f) \quad (3.6)$$

เมื่อ

$H_f(f, d)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง

$H_i(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณส่ง

$H_r(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านส่ง

$\mathbf{H}_t(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศด้านรับ

รูปแบบสัญญาณทางด้านรับ $v_r(t, d)$ หาได้จากสมการ

$$v_r(t, d) = v_t(t) \otimes h_{\text{Friis}}(t, d) \quad (3.7)$$

เมื่อที่

$v_t(t)$ คือ รูปแบบสัญญาณทางด้านส่ง

\otimes คือ คอนโวลูชัน

$h_{\text{Friis}}(t, d)$ คือ ผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ของการขยายสมการของฟรีส

และผลตอบสนองทางอิมพัลส์ของอวกาศว่างสามารถคำนวณได้จากการแปลงฟูริเยร์ผกผันแบบเร็ว (Invert fast fourier) ดังสมการที่ 3.8

$$h_{\text{e-Friis}}(t, d) = F^{-1}\{H_{\text{e-Friis}}(f, d)\} \quad (3.8)$$

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก (Isotropic)

$$H_{\text{e-Friis, Iso}}(f) = H_f H_i \quad (3.9)$$

3.3 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างที่ได้จากการจำลอง

รูปคลื่นสัญญาณส่งที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการทดสอบความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นสัญญาณการรับของระบบการส่งผ่านแบบแถบกว้างได้ แต่ผลของความผิดเพี้ยนของสัญญาณรูปคลื่นนั้นจะเห็นได้ชัดเจนมากเมื่อความกว้างของแถบความถี่นั้นกว้างขึ้น ดังนั้นจะพิจารณาตลอดช่วงความถี่ของเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์ที่กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสาร [13] โดยใช้รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซ์โคซายน์ (Root Raised Cosine Waveform) มีช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ มีความถี่ศูนย์กลางเท่ากับ 6.85 จิกะเฮิรตซ์ และสเปกตรัมแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.37 จิกะเฮิรตซ์ ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านรากที่สองของโรซ์โคซายน์ แสดงได้ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5)

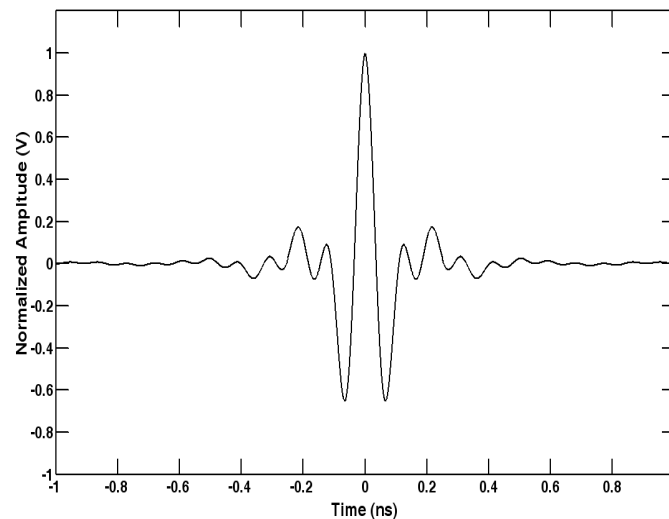
$$V_{t,ro}(f) = \begin{cases} 1 & |f - f_c| \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A \frac{(1-\beta)}{2T} & \frac{(1-\beta)}{2T} < |f - f_c| \leq \frac{(1+\beta)}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.4)$$

เมื่อ

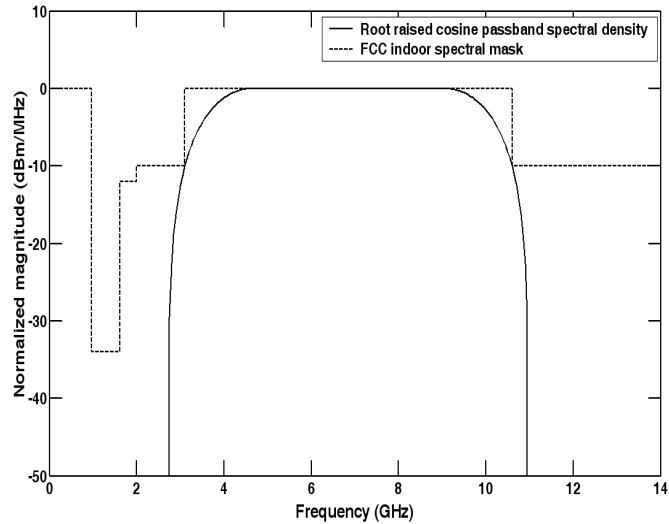
$$A = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi T}{\beta} \left[|f - f_c| - \frac{1-\beta}{2T} \right] \right) \right]} \quad (3.5)$$

- $T = 1/f_b$ คือ ส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์
 f_b คือ สเปกตรัมแบนด์วิดท์
 f_c คือ ความถี่กลาง
 $\beta = 0.3$ คือ ตัวประกอบโรลล์ออฟ (Roll - off Factor)

รูปที่ 3.2 แสดงถึงรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ในโดเมนเวลา โดยแกน x แสดงถึงค่าของเวลาและแกน y แสดงถึงขนาดของแอมพลิจูดที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างมีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ รูปที่ 3.3 แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังงานของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่งผ่านระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างในโดเมนความถี่ โดยมีแกน x แสดงถึงค่าความถี่และ แกน y แสดงถึงความหนาแน่นสเปกตรัมในหน่วยของดีบีเอ็มต่อเมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคชายนท์ที่ถูกลนอร์มัลไลซ์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ [26]



รูปที่ 3.3 ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของโรซโคซายน์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ [26]

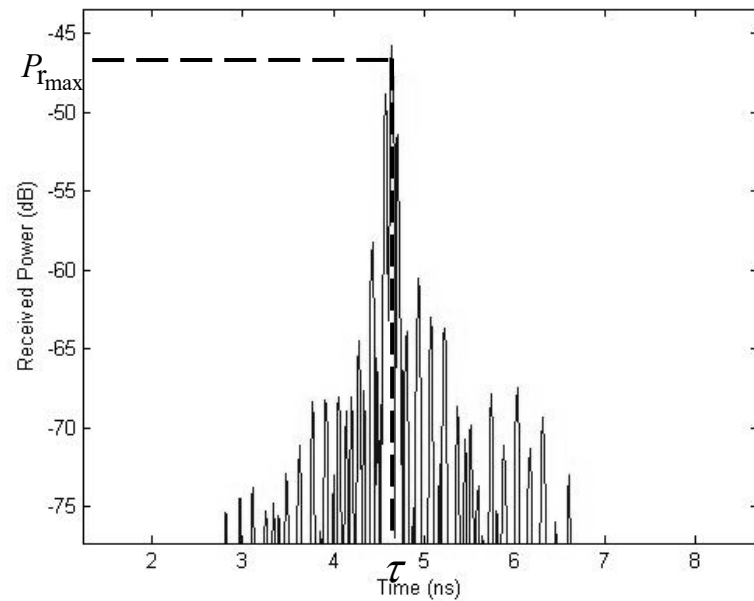
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งโดยใช้สัญญาณแถบกว้าง

งานวิจัยนี้จะพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่ง 2 แบบ คือ พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ และพารามิเตอร์เวลาที่สัญญาณมาถึง โดยจะนำสัญญาณที่รับได้แบบแถบกว้างยิ่งมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ทั้งสองแบบ โดยจากบทที่ 2 สัญญาณแบบแถบกว้างยังเป็นสัญญาณที่มีความละเอียดทางเวลามาก ทำให้สามารถสังเกตเห็นกำลังงานที่รับได้มากที่สุด และเวลาที่สัญญาณมาถึงได้ ซึ่งรูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้แบบแถบกว้างยิ่งจะแสดงในรูปที่ 3.4 โดยจะนำไปหาพารามิเตอร์ทั้ง 2 แบบเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งต่อไป

3.4.1 พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้

ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะเป็นการพิจารณาค่ากำลังงานของสัญญาณที่รับได้ โดยจะสามารถวิเคราะห์ได้จากกำลังงานของสัญญาณที่รับได้มากที่สุด โดยกำลังงานของสัญญาณที่รับได้มากที่สุด $P_{r_{\max}}$ ในหน่วยเดซิเบล สามารถแสดงได้ดังสมการนี้

$$P_{r_{\max}} = 20 \log [\max |v_r(t)|] \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.4 รูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้แบบแถบกว้างยิ่ง

จากนั้นจะหาระยะทางระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับเมื่อวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ d_{RSS} สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$d_{RSS} = d_0 \cdot 10^{\left|P_0 - P_{r,max}\right| / (10n)} \quad (3.7)$$

เมื่อ d_0 คือ ระยะทางอ้างอิง (วิทยานิพนธ์นี้กำหนดเป็น 1 เมตร จากสายอากาศส่ง)
 P_0 คือ กำลังงานที่รับได้ที่ระยะทางอ้างอิง คือที่ระยะ 1 เมตร (วิทยานิพนธ์นี้ได้ทดลองวัดกำลังงานที่รับได้ที่ระยะ 1 เมตร จากสายอากาศส่ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ -46.0928 เดซิเบล)
 n คือ เลขยกกำลังการสูญเสียเชิงวิถี (path loss exponent) (วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ค่าเท่ากับ 1.85 [17])

3.4.2 ภาพตัดขวางการประวิงกำลัง

การประวิงเวลาที่ลำดับสัญญาณที่ k เป็นค่าดีเลย์ และมีแอมพลิจูด a_k และขนาดกำลังงาน τ_k ค่าอิมพัลส์ที่เข้ามาเป็นคุณลักษณะของฟังก์ชันของความหนาแน่น น่าจะเป็นการประวิงเวลาจะมีความสอดคล้องกับมาตรฐานการเบี่ยงเบน เขียนอยู่ในสมการ (3.8)

$$\sigma_\gamma = \sqrt{\tau^2 - (\tau)^2} \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} \quad (3.9)$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} \quad (3.10)$$

3.5 การวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน

การวิเคราะห์หาความแม่นยำของเทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งบนพื้นฐานเครือข่ายพื้นที่ไร้สายจะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดระยะทาง โดยกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากเทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง และกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_e, y_e) เป็นพิกัดที่ถูกต้อง ค่าความผิดพลาดของระยะทาง e_d จะสามารถคำนวณได้จาก

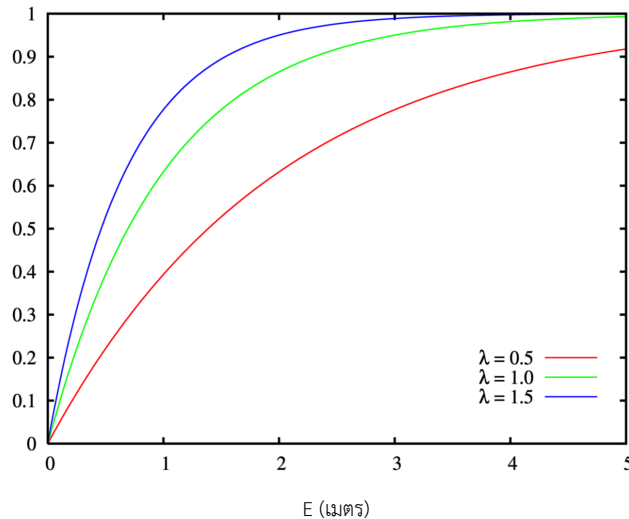
$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (3.11)$$

ค่าความผิดพลาดของระยะทางนี้จะแปรเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งบนพื้นฐานเครือข่ายพื้นที่ไร้สาย ซึ่งจะมีความแม่นยำมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

3.6 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเป็นการแสดงการแจกแจงที่มาสะสมด้วยกันโดยจะดูที่ความชันของเส้นกราฟซึ่งในทางทฤษฎีเส้นกราฟจะมีความตรง (Linear) แต่ในความเป็นจริงจะเป็นอย่างไรนั้นต้องดูจากผลการทดลองซึ่งค่าของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมสามารถหาได้จากสมการ

$$P(R) = Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.12)$$

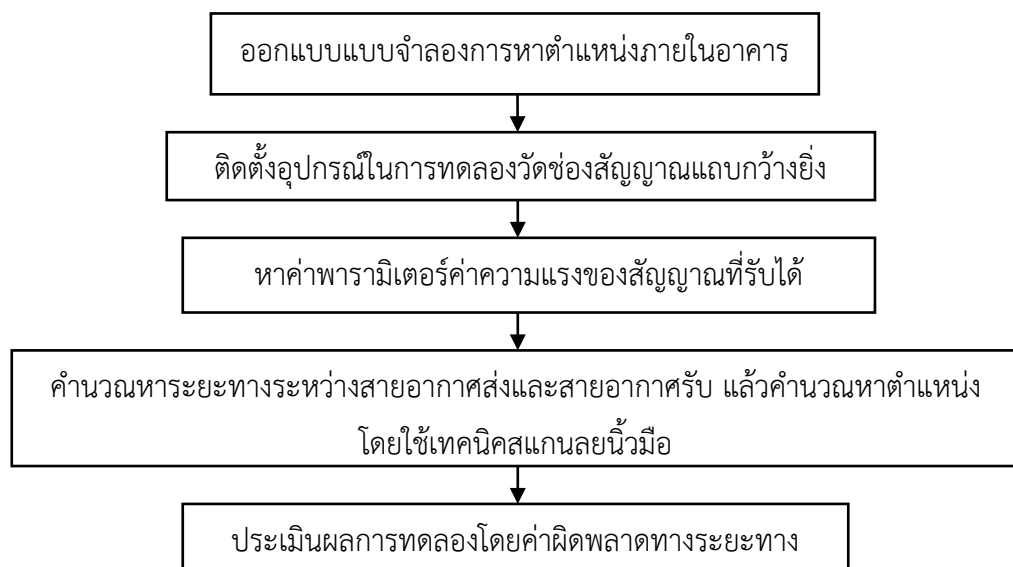


รูปที่ 3.5 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสม [28]

จากรูปที่ 3.5 เป็นตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูลของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ จะถูกนำมา แสดงข้อมูลผลการทดลองโดยกำหนดค่าจำนวนจริงให้กับ λ ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก และใน แนวแกน x คือค่าของระยะทางความผิดพลาด E เมื่อเทียบกับ CDF

3.7 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคาร

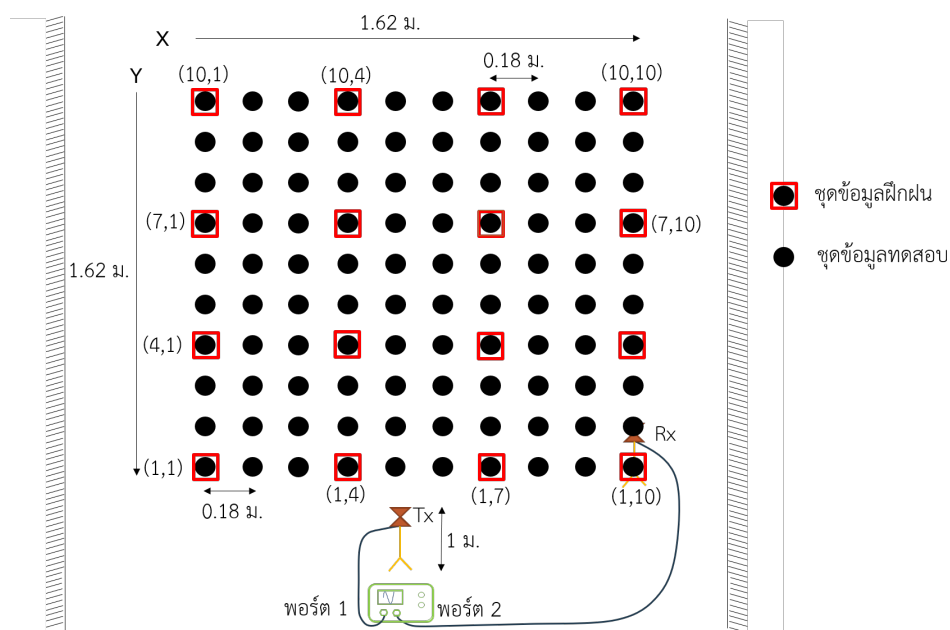
สำหรับการออกแบบการหาตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ในการทดสอบมีขั้นตอนการหาตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.6 และใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 มาพิจารณาในการออกแบบแบบจำลองแสดงดัง รูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3.1 จิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์
ช่วงของกำลังของสัญญาณ	80 เดซิเบล
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ประเภทสายอากาศ	สายอากาศกรวยคู่
ความสูงของสายอากาศส่ง – รับ	1 เมตร
จำนวนจุดที่ใช้ในการทดสอบ	100 จุด



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการวัดของการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยสัญญาณวิทยุอิมพัลส์

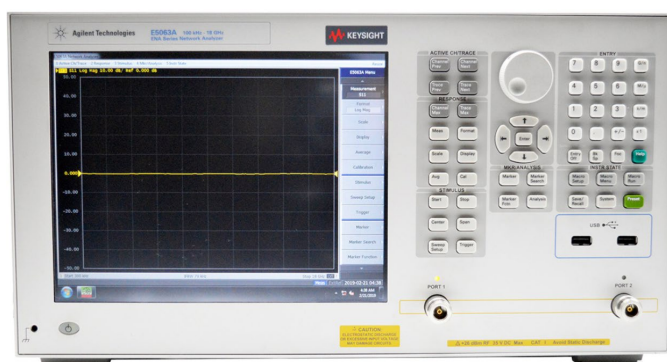
จากรูปที่ 3.7 แบบจำลองการหาตำแหน่งนี้แสดงการออกแบบแบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณวิทยุอิมพัลส์กำหนดจุดสำหรับการวัดทั้งหมด 100 จุด ซึ่งในแต่ละจุดห่างกันในแนวแกน x และ y เป็นระยะทาง 0.18 เมตร ในการออกแบบการหาตำแหน่งภายในอาคารมีการติดตั้งและจัดทำอุปกรณ์การทดสอบ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ สายอากาศสำหรับการทดสอบเป็นสายอากาศกรวยคู่ทั้งด้านส่งและด้านรับ โดยที่พอร์ต 1 ถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศส่งด้วยสายนำสัญญาณที่ระดับความสูงของสายอากาศ 1 เมตร และพอร์ต 2 เชื่อมต่อกับสายอากาศรับด้วยสายนำสัญญาณที่ระดับความสูงของสายอากาศ 1 เมตร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ปรับเทียบอุปกรณ์ในการทดสอบสายอากาศกรวยคู่ก่อนเชื่อมต่อสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
2. ติดตั้งสายอากาศกรวยคู่เข้ากับเสาโดยให้อยู่บนแท่นหมุนและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์
3. ปรับทิศทางของสายอากาศรับภายใต้การทดสอบ
4. ติดตั้งสายอากาศส่งในแนวแกนที่ต้องการทดสอบและทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างขั้วของสายอากาศส่งเข้ากับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

3.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองวัด

3.7.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

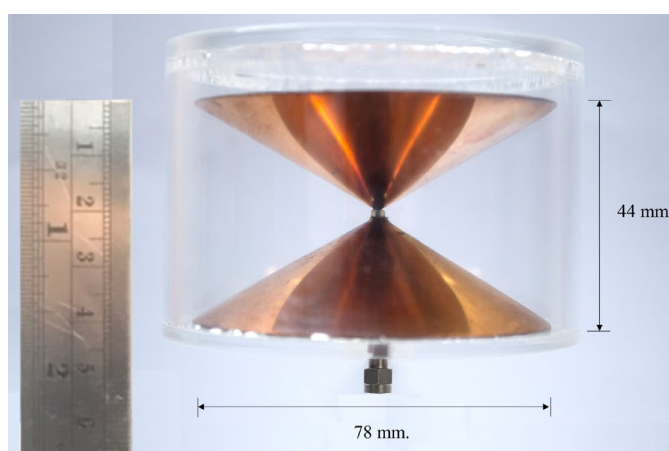
การทดลองวัดช่องสัญญาณของสัญญาณแถบกว้างยิ่งจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือเฉพาะทาง ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือวัดดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะประกอบไปด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีความสามารถในการตรวจวัดช่องสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตหรือสองพอร์ตก็ได้ การทดลองวัดนี้เป็นการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Transmitted) และพอร์ตที่สองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Received) จากนั้นปลายของทั้งสองพอร์ตจะต่อเข้ากับสายอากาศ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นสายอากาศส่ง (Transmitted antenna) และสายอากาศรับ (Received antenna) ผลการทดลองวัดช่องสัญญาณที่ได้จะอยู่ในโดเมนความถี่ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งต่อไป



รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

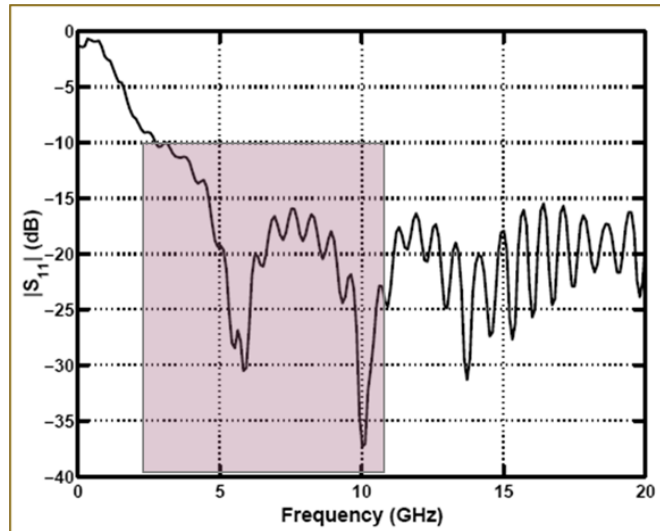
3.7.1.2 สายอากาศแบบกรวยคู่

การทดลองวัดช่องสัญญาณจำเป็นที่จะต้องใช้สายอากาศเพื่อใช้ในการรับส่งสัญญาณ โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองวัดนี้คือสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งการทดลองนี้ได้นำมาใช้ทั้งด้านส่ง และด้านรับ โดยสายอากาศแบบกรวยคู่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางในมุมกวาด (Azimuth) ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้มีอัตราขยาย (Gain) อยู่ระหว่าง 1.5 dBi ถึง 15.0 dBi มีช่วงความถี่การแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้ทดลองวัด คือ ช่วงความถี่แถบกว้างยิ่ง ซึ่งลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงบวกมาก มีสนามระยะไกล (Farfield) ที่ระยะ 0.2578 เมตร โครงสร้างของสายอากาศจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของกรวย คือ 65.34 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างฐานกรวยทั้งสอง คือ 37 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9



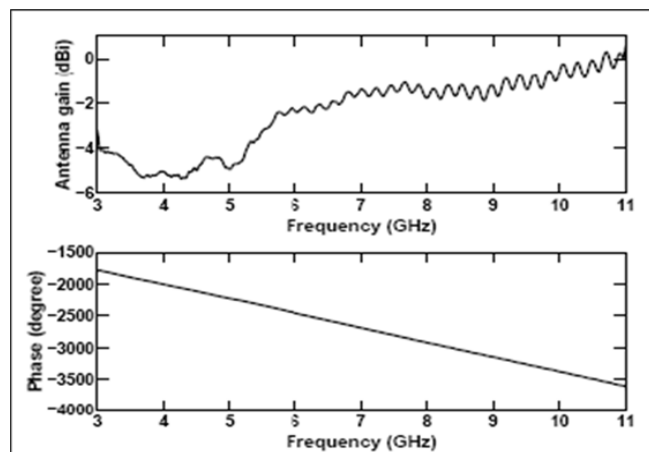
รูปที่ 3.9 สายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด [20]

ในการทดลองวัดนี้ได้ใช้สัญญาณแถบกว้างยิ่งซึ่งมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งต่ำกว่า -10 dB ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่นี้สามารถนำมาใช้ในงานความถี่ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.10 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด [20]

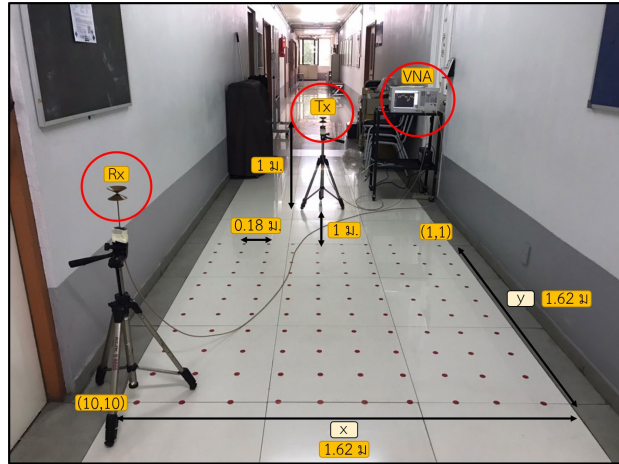
ในการพิจารณาสายอากาศที่ใช้ในการทดลองวัด คุณสมบัติอีกอย่างที่สำคัญ คือขนาด และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศ ซึ่งขนาด และเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ในการทดลองวัดนี้จะแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่ที่ใช้ทดลองวัด [20]

3.7.2 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบวัดช่องสัญญาณแถบกว้าง

ทำการวัดที่อาคารภาควิชาโทรคมนาคม ชั้น 2 บริเวณทางเดิน แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แบบจำลองการวัดช่องสัญญาณที่วัดจริง

3.8 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบแบบจำลองการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยประยุกต์ใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสและวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับ ซึ่งมีการกำหนดจุดสำหรับการวัดทั้งหมด 100 ตำแหน่ง บนทางเดินภายในอาคารจากนั้นใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์และสายอากาศรยคู่ทั้งด้านส่งและด้านรับวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ เพื่อดูการกระจายความแรงของสัญญาณในพื้นที่ที่ใช้ทดสอบ โดยข้อมูลการทดสอบที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในบทถัดไป

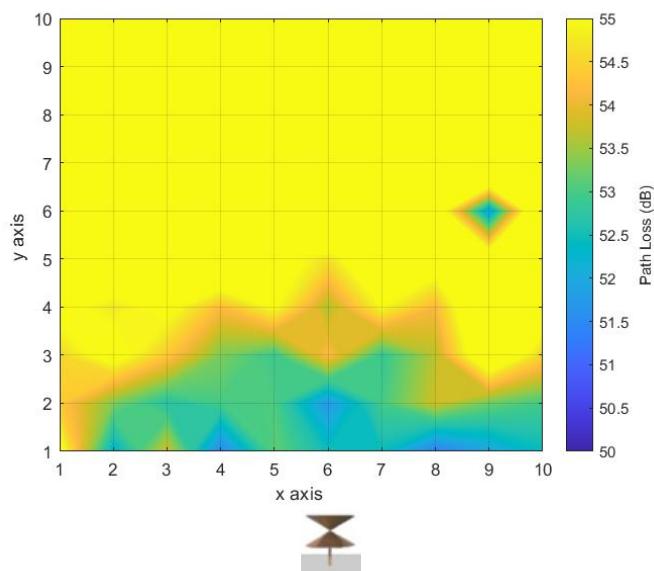
บทที่ 4

ประเมินผลการทดลองวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลการหาตำแหน่งภายในอาคาร

4.1.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

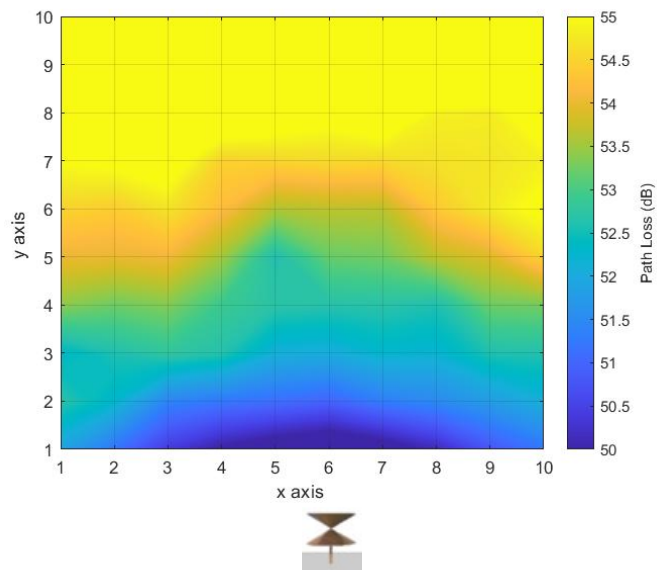
จากการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณเพื่อวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณที่แปรผันตามระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ โดยจะแสดงผลและเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างที่ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์ และการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา สามารถแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์

จากรูปที่ 4.1 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ในแต่ละพิกัดตำแหน่ง โดยกำหนดแต่ละแถบสีแทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ ดังนี้

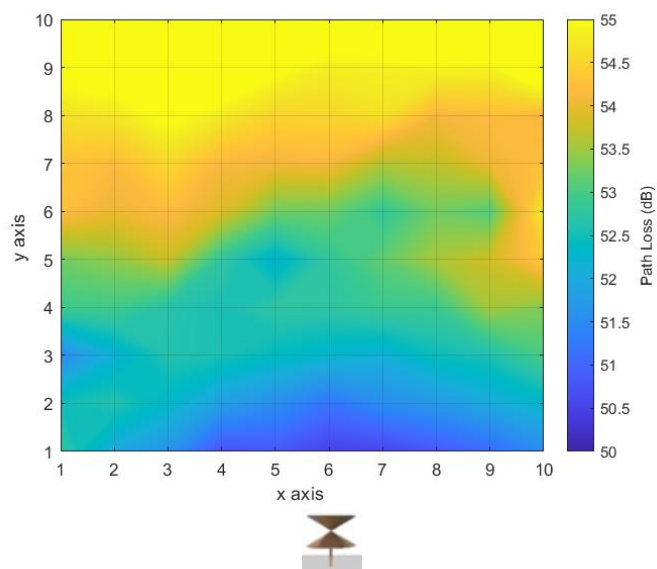
- สีน้ำเงินเข้มถึงสีฟ้าอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 50 ถึง 52 เดซิเบล
- สีเขียวเข้มถึงสีเขียวอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 52.5 ถึง 53.5 เดซิเบล
- สีเหลืองเข้มถึงสีเหลืองอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 54 ถึง 55 เดซิเบล



รูปที่ 4.2 การสูญเสียเชิงวิถีของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์

จากรูปที่ 4.2 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรกรองแมตซ์ โดยกำหนดแต่ละแถบสีแทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในแต่ละพิกัดตำแหน่ง ดังนี้

- สีน้ำเงินเข้มถึงสีฟ้าอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 50 ถึง 52 เดซิเบล
- สีเขียวเข้มถึงสีเขียวอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 52.5 ถึง 53.5 เดซิเบล
- สีเหลืองเข้มถึงสีเหลืองอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 54 ถึง 55 เดซิเบล



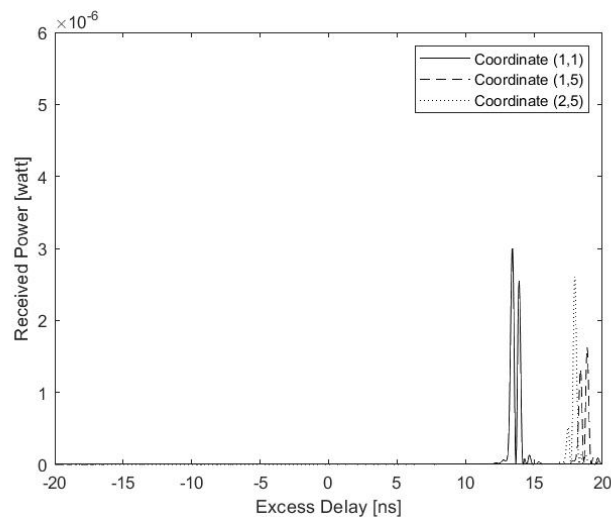
รูปที่ 4.3 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา

จากรูปที่ 4.3 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ แลกกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา โดยกำหนดแต่ละแถบสีแทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณในแต่ละพิกัดตำแหน่ง ดังนี้

- สีน้ำเงินเข้มถึงสีฟ้าอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 50 ถึง 52 เดซิเบล
- สีเขียวเข้มถึงสีเขียวอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 52.5 ถึง 53.5 เดซิเบล
- สีเหลืองเข้มถึงสีเหลืองอ่อน แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถีเท่ากับ 54 ถึง 55 เดซิเบล

4.1.2 ค่าการประวิงเวลาของสัญญาณ

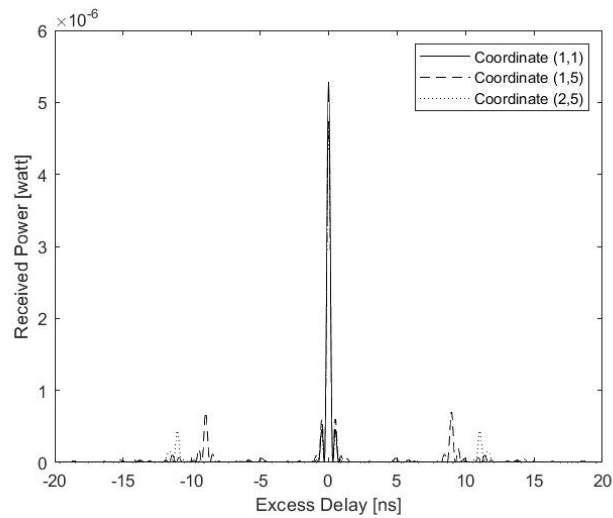
การแสดงผลค่าการประวิงเวลากำลังงานของสัญญาณนั้น แสดงในรูปแบบของกราฟ 2 มิติ โดยแกน x คือค่าการประวิงเวลากำลังงาน และแกน y คือกำลังงานของสัญญาณ ซึ่งจากรูปจะเปรียบเทียบค่าการประวิงเวลากำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแลกเปลี่ยนที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี ดังนี้ ค่าการประวิงเวลากำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแลกเปลี่ยนโดยปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแลกเปลี่ยนโดยใช้วงจรรองแมตซ์ การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแลกเปลี่ยนโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา โดยจะแสดงเพียงพิกัดตำแหน่งที่ 1,1 1,5 และ 2,5 ของแต่ละกรณีเท่านั้น เพราะพิกัดดังกล่าวสามารถทำให้เห็นความแตกต่างของทั้ง 3 กรณีได้อย่างชัดเจน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)

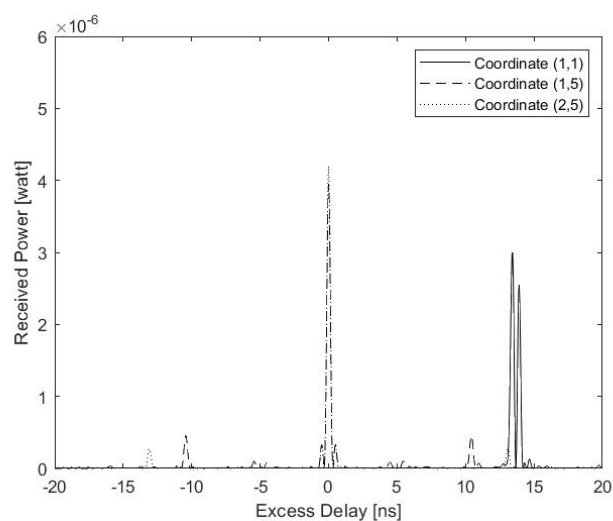
จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าการประวิงเวลากำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแลกเปลี่ยนโดยปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ โดยกำหนดให้เส้นทึบแทนค่าการ

ประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,1 เส้นประแทนค่าประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,5 และเส้นจุดแทนค่าการประวิงเวลาที่พิกัด 2,5 และจากรูปพบว่ามืค่ากำลังงานสูงสุดที่ 3.00 ไมโครวัตต์



รูปที่ 4.5 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์ที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าการประวิงเวลากำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรกรองแมตซ์ โดยกำหนดให้เส้นที่บแทนค่าการประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,1 เส้นประแทนค่าประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,5 และเส้นจุดแทนค่าการประวิงเวลาที่พิกัด 2,5 และจากรูปพบว่ามืค่ากำลังงานสูงสุดที่ 5.27 ไมโครวัตต์

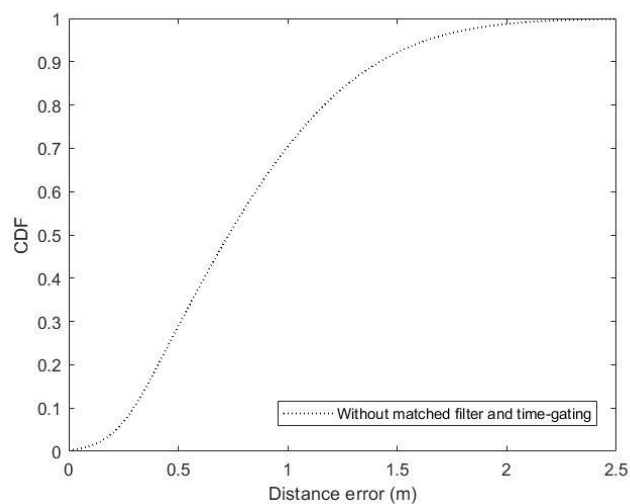


รูปที่ 4.6 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ใช้เทคนิคการเกตเวลาที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5)

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าการประวิงเวลากำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้การเกตเวลา โดยกำหนดให้เส้นที่แทนค่าการประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,1 เส้นประแทนค่าการประวิงเวลากำลังงานที่พิกัด 1,5 และเส้นจุดแทนค่าการประวิงเวลาที่พิกัด 2,5 และจากรูปพบว่ามืค่ากำลังงานสูงสุดที่ 4.20 ไมโครวัตต์

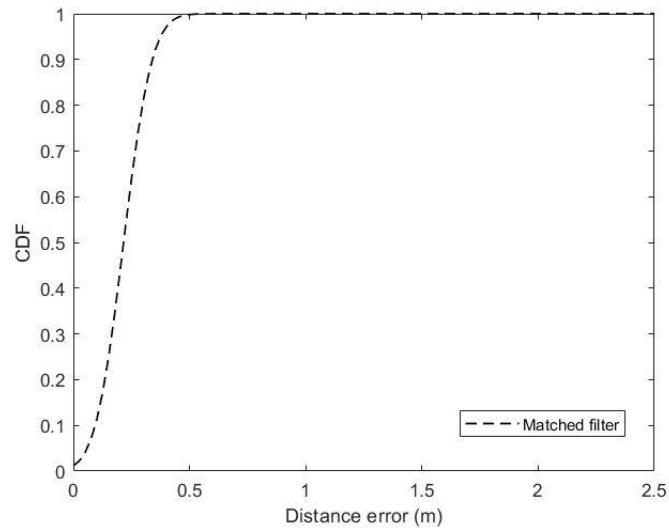
4.1.3 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง

จากการวิเคราะห์หาความผิดพลาดของทางระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี ได้แก่ ความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างที่ปราศจากเทคนิคการเกตเวลาและวงจรรองแมตซ์ การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์ และการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกตเวลาสามารถแสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10 ตามลำดับ



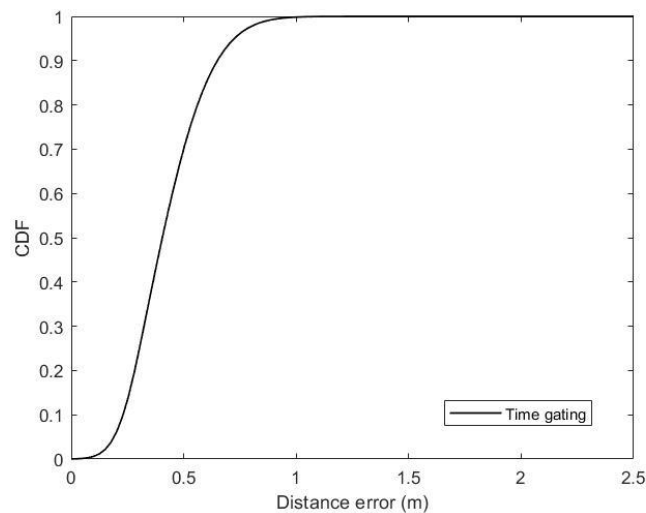
รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุ อิมพัลส์

จากรูปที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างที่ปราศจากเทคนิคการเกตเวลาและวงจรรองแมตซ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.81 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.71 เมตร



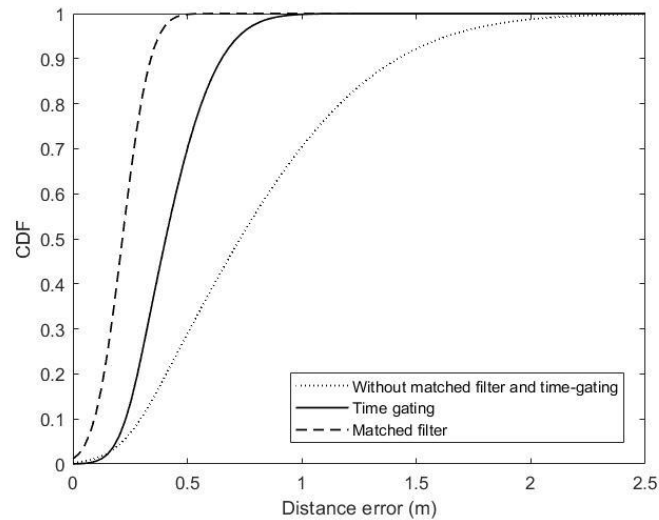
รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางจากด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์

จากรูปที่ 4.8 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรกรองแมตซ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.22 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.40 เมตร



รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกตเวลา

จากรูปที่ 4.9 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกตเวลา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.42 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.83 เมตร



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ทั้ง 3 กรณี

รูปที่ 4.10 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดขึ้นจากการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือได้เปรียบเทียบ 3 กรณีดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรรองแมตซ์ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดต่ำที่สุดคือ 0.38 เมตร และความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ที่ปราศจากเทคนิคการเกตเวลาและวงจรรองแมตซ์ มีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดมากที่สุดคือ 1.71 เมตร

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศผลการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศกรวยคู่สำหรับใช้ในระบับวิทยุอิมพัลส์ พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือ สัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ขนาดและเฟสของสายอากาศ ซึ่งการพิจารณาพารามิเตอร์เหล่านี้ของสายอากาศ จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมานั้นจะสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน $|S_{11}|$ ควรมีค่าต่ำกว่า -10 เดซิเบล อีกทั้งได้มีการนำเสนอผลการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยนำเทคนิคการเกตเวลามาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน และหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำและประเมินผลการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน สุดท้ายแสดงผลในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างเมื่อพิจารณาทั้ง 3 กรณี พบว่าการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ที่ปราศจากเทคนิคการเกตเวลาและวงจรรอง

แมตซ์มีค่าการสูญเสียเชิงวิธีมากที่สุด รองมาคือการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา และสุดท้ายการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่าการสูญเสียเชิงวิธีน้อยที่สุด จากการพิจารณาค่าการสูญเสียเชิงวิธีของทั้ง 3 กรณี ผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นเพราะ กรณีที่ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์นั้นไม่มีการใช้เทคนิคใด ๆ ในการปรับปรุงสัญญาณที่รับได้ให้ดีขึ้น ดังนั้นจึงมีค่าการสูญเสียเชิงวิธีมากที่สุด และกรณีใช้วงจรรองแมตซ์ วงจรรองแมตซ์เป็นวงจรในอุดมคติซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณที่รับได้ให้มีคุณภาพเท่ากับสัญญาณส่ง ดังนั้นกรณีใช้วงจรรองแมตซ์จึงมีค่าการสูญเสียเชิงวิธีน้อยที่สุด

จากการพิจารณาค่าการประวิงเวลาพบว่า กำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างที่ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์มีค่ากำลังงานต่ำที่สุด คือ 3.00 ไมโครวัตต์ และกำลังงานที่ได้จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่ากำลังงานมากที่สุดคือ 5.27 ไมโครวัตต์

ความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์ที่ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.81 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 1.71 เมตร

ความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.42 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.83 เมตร

ความผิดพลาดของระยะทางจากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรรองแมตซ์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ 0.22 เมตร และมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดที่ 0.40 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยสัญญาณวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งและเทคนิคการเกิดเวลา ซึ่งทำการวัดในช่วงความถี่ 3.1 จิกะเฮิรตซ์ถึง 10.6 จิกะเฮิรตซ์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โคจรข่ายแบบเวกเตอร์วัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณในบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งทั้งหมด และทำการเก็บพารามิเตอร์ซึ่งคือ ค่าการสูญเสียเชิงวิถีและการประวิงเวลาของสัญญาณเพื่อนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์ต้นแบบ ส่วนที่สองคือทำการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ต้องการเป็นเอกลักษณ์ทดสอบโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา วงจรกรองแมตซ์ และไม่ใช้ทั้งเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรกรองแมตซ์ จากนั้นทำการเก็บค่าการสูญเสียเชิงวิถีและค่าการประวิงเวลาของสัญญาณมาทำการเปรียบเทียบประมาณการหาตำแหน่ง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำของการหาตำแหน่งด้วยค่าความผิดพลาดระยะทางยูคลิเดียน แสดงผลของความเที่ยงตรงในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณีแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียเชิงวิถี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 ได้ว่าการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลามีค่าสูญเสียเชิงวิถีดีกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรกรองแมตซ์อยู่ที่ 4.74 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้วงจรกรองแมตซ์มีค่าสูญเสียเชิงวิถีดีกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรกรองแมตซ์อยู่ที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลามีค่าสูญเสียเชิงวิถีดีกว่ากรณีใช้วงจรกรองแมตซ์อยู่ที่ 0.54 เปอร์เซ็นต์

จากการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณีแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการประวิงเวลากำลังงาน โดยจากรูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงค่าประวิงกำลังงานที่ -20 ถึง 20 นาโนวินาที เนื่องจากต้องการดูกำลังงานของสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ ที่พิกัด (1,1) (1,5) และ (2,5) โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิธีของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 กรณี

ค่าการสูญเสียเชิงวิธี	ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ (เดซิเบล)	วงจรรองแมตซ์ (เดซิเบล)	เทคนิคการเกิดเวลา (เดซิเบล)
ค่าการสูญเสียเชิงวิธีต่ำที่สุด	51.29	49.42	50.51
ค่าการสูญเสียเชิงวิธีเฉลี่ย	56.13	53.77	53.47
ค่าการสูญเสียเชิงวิธีมากที่สุด	61.02	56.88	55.70

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบกำลังงานของสัญญาณของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี

กำลังงาน	ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ (ไมโครวัตต์)	วงจรรองแมตซ์ (ไมโครวัตต์)	เทคนิคการเกิดเวลา (ไมโครวัตต์)
ค่ากำลังงานต่ำที่สุด	0	0	0
ค่ากำลังงานเฉลี่ย	0.02	0.06	0.04
ค่ากำลังงานมากที่สุด	3.00	5.27	4.20

จากตารางที่ 5.2 สามารถสรุปได้ว่าการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคการเกิดเวลามีค่ากำลังงานสูงกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์อยู่ที่ 40.00 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่ากำลังงานสูงกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์อยู่ที่ 75.67 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่ากำลังงานสูงกว่ากรณีใช้เทคนิคการเกิดเวลาอยู่ที่ 35.67 เปอร์เซ็นต์

จากผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของระยะทางที่ได้จากการวัดคุณลักษณะช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของระยะทางด้วยช่องสัญญาณการส่งผ่านวิทยุอิมพัลส์โดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี

ความผิดพลาดของระยะทาง	ปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์ (เมตร)	วงจรรองแมตซ์ (เมตร)	เทคนิคการเกิดเวลา (เมตร)
ความผิดพลาดของระยะทางต่ำที่สุด	0	0	0
ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ย	0.81	0.22	0.42
ความผิดพลาดของระยะทางเฉลี่ยมากที่สุด	1.71	0.40	0.83

จากตารางที่ 5.3 สามารถสรุปได้ว่าการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลามีค่าความผิดพลาดของระยะทางดีกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์อยู่ที่ 48.15 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่าความผิดพลาดของระยะทางดีกว่ากรณีปราศจากเทคนิคการเกิดเวลาและวงจรรองแมตซ์อยู่ที่ 72.84 เปอร์เซ็นต์

การวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณแถบกว้างโดยใช้วงจรรองแมตซ์มีค่าความผิดพลาดของระยะทางดีกว่ากรณีใช้เทคนิคการเกิดเวลาอยู่ที่ 24.69 เปอร์เซ็นต์

การใช้วงจรรองแมตซ์สามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณได้ดีที่สุด เพราะเป็นวงจรรองสัญญาณในอุดมคติ ซึ่งการใช้เทคนิคการเกิดเวลาสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ดีขึ้นได้เช่นกัน เพราะเทคนิคการเกิดเวลาเป็นการใช้วินโดว์ควบคู่กับสัญญาณในโดเมนเวลาเพื่อเป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณมีค่าประมาณเท่าเดิม แต่ถึงอย่างไรก็ตามเทคนิคการเกิดเวลาไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ดีเท่ากับวงจรรองแมตซ์

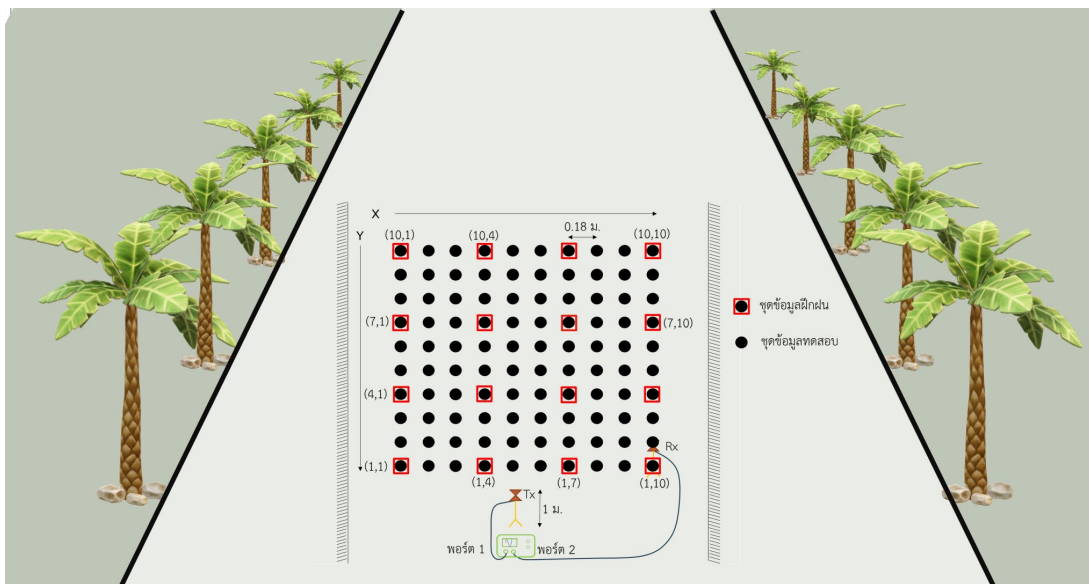
จากการประเมินผลของการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้นำเสนอกล่าวคือได้มีการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเทคนิคที่นำมากำจัดสัญญาณรบกวน โดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถี และการประวิงเวลากำลังงาน และสุดท้ายได้แสดงผลความผิดพลาดของระยะทางในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางวิจัยในอนาคต

การเตรียมอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดสอบค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน เพราะต้องทำเครื่องหมายลงบนแต่ละพิกัดทั้งหมด 100 ตำแหน่ง และการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ และการวัดคุณลักษณะของช่องสัญญาณนั้นค่อนข้างใช้เวลานานเช่นกัน เนื่องจากต้องทำการวัดทุก ๆ พิกัดตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ และต้องเคลื่อนย้ายเครื่องรับไปเรื่อย ๆ โดยเริ่มต้นจากพิกัดจุด (1,1) ไปจนถึงพิกัดจุด (10,10) ซึ่งมีทั้งหมด 100 ตำแหน่ง

ข้อจำกัดของเทคนิคการเกตเวลาคือ การเลือกใช้วินโดว์ซึ่งมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณในช่วงเวลาที่ต้องการขึ้น วินโดว์ที่ทำให้มีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยจะต้องมีคุณสมบัติในโดเมนความถี่ คือ โลกหลักจะต้องแคบและมีความชันมาก โลกข้างจะต้องมีระดับต่ำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาผลที่ได้จากการวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคเสมือนการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับเทคนิคการเกตเวลาเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนก่อนนำผลมาวิเคราะห์ ซึ่งได้ทำการศึกษาเฉพาะสภาวะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ในการใช้งานจริงสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคตจะพิจารณาในสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการหาตำแหน่งภายนอกอาคาร

บรรณานุกรม

- [1] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, Ultra-wideband Positioning Systems. Cambridge University Press, 2008.
- [2] B. Rose. Home Networks: A Standards Perspective. IEEE Communications Magazine, vol. 39, no. 12, 2001. pp. 78-85.
- [3] H. Shinde and M. Borse. High-Rate Wireless Personal Area Network. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (ICPWC), 2005. pp. 19-23.
- [4] S. Promwong, Ultra Wideband Technology. ECTI E-magazine, vol. 4, no. 4, Oct.-Dec. 2010.
- [5] N. Chahé, D. Charles and A. Sofiène, Geolocation in Mines With an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks. 2006 IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, no. 3, March 2006.
- [6] A. Toak, N. Kandil, S. Affes and S. Georges, Fingerprinting localization using Ultra-Wideband and neural networks. 2007 International Symposium on Signals Systems and Electronics, pp. 529–532, Jul. 2007.
- [7] วิภัตสร วจินชัยกุล, “การจำลองการแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยโครงข่ายประสาท.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [8] R. Uppahad, J. Sangthong, and S. Promwong, "Uwb localization with 2-d interpolation and k-nearest neighbor based on measurement data," International Symposium on Antennas and Propagation, October, 2011.
- [9] รัชชานนท์ ภูมิวิจิตร, “แบบแผนการวัดภาคตัดขวางเป้าเรดาร์แบบกิ่งรวยสายอากาศส่งรับโดยใช้เทคนิคการเกิดเวลา.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561.
- [10] S. K. Mitra and J. F. Kaiser, Handbook for Digital Signal Processing. New York : John Wiley. 1993.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] ชัยรัชช์ ดีปัญญา, “สายอากาศแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบมิเดียกว้าง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตร์โทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.
- [12] K. Kaemarungsi, Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique. Ph.D.Thesis, Faculty of Information Science, Pittsburgh University. 2005.
- [13] Federal Communications Commission, Revision of Part 15 of the Commission’s Rule Regarding Ultra-wideband Transmission Systems. First Report and Order, FCC 02-48, Apr. 2002.
- [14] Ghavami, L. B. Michael, and R. Kohon. Ultra wide band signals and systems in communication engineering. John Wiley-Sons, Ltd. 2004.
- [15] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [16] K. Siwiak and D.McKeown, Ultra-wideband Radio Technology. John Wiley & Sons, 2004.
- [17] Zhang, Jinyun, et al. UWB systems for wireless sensor networks. Proceedings of the IEEE 97.2 (2009): 313-331.
- [18] K. langendoen and N. Reijers, Distributed localization in wireless sensor network: a quantitative comparison. Elsevier, 2003.
- [19] A. Migel, J. Alfredo and M. Pedro, Location-Based Information Systems Developing Real-Time Tracking Applications. Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science Series.
- [20] H. Laitinen, J. Lahteenmaki and T. Nordstrom, Database Correlation Method for GSM Location. IEEE Vehicular Technology Conference, vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
- [21] C. A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. NJ. : John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [22] Warren, L. Stutzman and A. Gary. Antenna Theory and Design. 2 nd ed, NJ. : John Wiley and Sons, 1997.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [23] Joshua, S. LaPlant. Design of Broadband Discone Antenna. University of North Carolina, 2017.
- [24] K. Rapin, S. Nipapon, M. Komsak, and K. Sompol. Design of a Compact Biconical Antenna for UWB Applications. : International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 2011.
- [25] K. Siwiak. Ultra-wideband radio: A new pan and positioning technology. IEEE Vehicular Technology Society News. (February 2002): 4-9.
- [26] F. Nekoogar. Ultra-wideband Communications: Fundamentals and Applications. United States of America: Prentice-Hall PTR, Aug. 2005.
- [27] Keysight. Product Fact Sheet Keysight E5063A-2H5 2-port, 100 kHz to 18 GHz ENA Network Analyzer Technical Overview.
- [28] กัณฑ์ณ โตรัตน์, “การออกแบบไมซ์พารามิเตอร์อัลกอริทึมแบบเซนทรอยด์สำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคาร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตรโทคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2562.

ภาคผนวก
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษาในระดับ
ปริญญาโท

บทความที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการนานาชาติ

- [1] Y. Muangmee, M. M. Maw and S. Promwong, "Indoor Localization Model with Impulse Radio Transmission for Short-Range Wireless Communication Systems," 2022 8th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST), Chiang Mai, Thailand, 2022, pp. 64-66, doi: 10.1109/ICEAST55249.2022.9826329

Indoor Localization Model with Impulse Radio Transmission for Short-Range Wireless Communication Systems

Yannapas Muangmee
*Department of Telecommunications
 Engineering, School of Engineering,
 King's Institute of Technology
 Ladkrabang,
 Bangkok, Thailand
 64601038@kmitl.ac.th*

Myo Myint Maw
*Department of Computer Engineering
 and Information Technology,
 Faculty of Engineering
 Mandalay Technological University,
 Mandalay, Myanmar.*

Sathaporn Promwong
*Department of Telecommunications
 Engineering, School of Engineering,
 King's Institute of Technology
 Ladkrabang,
 Bangkok, Thailand
 sathaporn.pr@kmitl.ac.th*

Abstract—Impulse radio is another wireless communication technology developed for short-range communications, with low transmission power and wideband frequency. Which compliance with communication systems that require the speed of transmitting large amounts of data. Therefore, this project has designed and fabrication a biconical antenna. Furthermore, perform the antenna's performance test for an indoor impulse radio localization in the frequency range of 3.1 GHz to 10.6 GHz with a vector network analyzer. The results of the measurements were analyzed and evaluated in comparison with the distance error with matched filter and time-gating techniques. The results obtained from the study of this project are based on theory and very useful for basic information in the research and development of short-range wireless communication systems and positioning by impulse radio transmission.

Keywords—indoor positioning, short-range communications, UWB impulse radio, time-gating, fingerprinting.

I. INTRODUCTION

Wireless communication technology has played an enormous role in daily life, including having developed rapidly. It can also provide simultaneous communication services for data, images, and sounds. A variety of devices have been adapted to wireless technology. All devices will be compatible.

Wireless communication technology has been applied in many fields, from the medical field to patient monitoring, business such as land and air transportation [1], and positioning. Specify the current position in GPS (Global Positioning System: GPS) is a navigation system that uses communications via satellite. Moreover, the speed of light traveling to the receiving device is a limitation if used inside a building. Alternatively, an enclosed location will prevent it from calculating the location.

For this reason, guidelines for indoor positioning have been developed by applying Impulse Radio Ultra-Wideband (IR-UWB) technology. A future was developed to support broader bandwidth requirements. Moreover, it is a technology that has received much attention because it is a technology that has a wide frequency band. It has a bandwidth of 7.5 GHz, in the frequency range between 3.1 GHz and 10.6 GHz [1]. It has a large channel capacity, allowing large amounts of data to be transmitted. It also uses low power. And the transmission rate is high. In addition, devices using broader band technology are cheaper than other devices. It is a technology that is used for short to medium-distance wireless systems

such as wireless monitoring network systems and Wireless Personal Area Network (WPAN) [2]

The advantage of an impulse radio signal is its high-accuracy positioning. Due to the impulse radio signal, it has a wide bandwidth, resulting in the receiver can eliminate the problems caused by the multipath component [3]. Therefore, impulse radio technology. The arrival time of the first trajectory signal can be accurately predicted. As a result, the positioning accuracy is high.

For indoor positioning systems, high accuracy is required. A number of positioning techniques have been proposed to make predictions. Such techniques [4] include trilateration techniques, received signal strength (RSS) techniques, and time of arrival techniques: TOA). These techniques determine the direction of power and time of the received signal. Another technique is [5] fingerprint scanning method [6] which uses channel characteristics to create a unique identity. The locations are then processed by comparing the test identities of that location with the underlying identities saved in the database. This technique can help reduce the impact that causes a position error from the indoor environment, making indoor location predictions more accurate, accurate, and reliable. By comparing the data, a data-matching pattern algorithm, which is responsible for processing the current position and the position in the database, is used to make decisions.[7] There are many methods used in the algorithm, such as K-Nearest Neighbor (KNN) analysis technique [8]. Artificial Neural Networks (ANN) [7] and [9] time gating techniques.

In this paper, the fingerprinting method is applied. However, it is a comparison between the prototype identity. Moreover, test identity to make predictions on target position. In this paper, the time-gating technique is applied in indoor localization analysis as it improves the signal quality in the time-domain of the impulse radio waveform using Windows Kaiser- Bessel [10]. To reduce the time delay of the impulse radio waveform due to the effect of propagation, improving the accuracy of the position prediction.

II. IMPULSE RADIO POSITIONING

A. Fingerprinting Method

Fingerprinting is a method that is similar to the human finger scan method. It uses a database to determine the location. The desired signal parameters are stored in the database in the first step. The target position was then determined by comparing the signal parameters to the unique

location for which the signal parameters were previously stored in the database. The resulting target position is the position that, when compared, is the closest possible [5]. By this method, at least one transmitting device can be found. The disadvantage of using this method is that it takes much time to store the parameters to be considered in the database when the search area is large.

By fingerprinting, the desired signal parameters are stored in the database first. This is referred to as the training process. In the process of locating signal parameters, they are stored and compared to a previously stored database. After that, the position with the least difference in signal parameters is displayed. This is called the testing process. For the training process, It stores signal parameters that represent the uniqueness of the position. This is called a training data set (S) and can be written in the form of an equation as follows.

$$S = \{(m_1, P_1), (m_2, P_2), (m_3, P_3), \dots, (m_n, P_n)\}, \quad (1)$$

when

$$\begin{aligned} m_i & \text{ is the signal parameter in the position } i \\ P_i = (x_i, y_i) & \text{ is the position of the coordinate } x \text{ and } y \\ n & \text{ is the total number of training data} \end{aligned}$$

Afterward, the data set will be processed before being stored in the database. In the test procedure, the parameters of the same signal type are stored in the database. Then compare it with the data in the database.

B. Time-gating Technique

The time-gating is a method of reducing multipath interference and improving measurement accuracy. The frequency-transfer function of the nonconnection between the transmit antenna and the receiving antenna cannot be directly eliminated in the frequency domain. Therefore, it is used to measure radio impulse by applying the time gating technique to reduce the effect of transmit antenna coupling and receiving antenna in the time domain. [10]. Therefore, in this paper, Windows Kaiser-Bessel has been chosen, by showing a block diagram of the time gate technique as shown in Fig. 1.

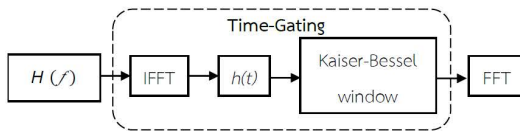


Fig. 1. Time-gating technique [10].

III. METHOD OF IR-POSITIONING

A. System Analysis

The indoor positioning uses impulse radio signals using fingerprinting techniques and time-gating techniques. The radio impulse channels were measured at a frequency range of 3.1 GHz to 10.6 GHz. Then measure the received signal strength in each position. Evaluate the distance error values from the cumulative distribution function. Also, in the evaluation, time gating techniques were used compared to those that did not use time-gating techniques, as shown in Fig. 2.

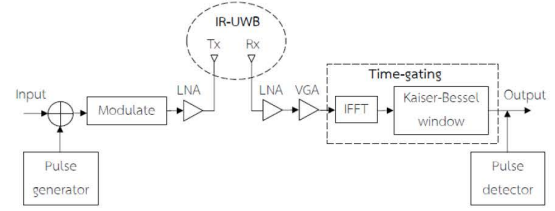


Fig. 2. Block diagram of IR-localization analysis with time-gating

B. Transmission Waveform

The transmit waveform obtained by computer simulation can be used to test the distortion of the receiving waveform of a wideband transmission system. Nevertheless, the effect of waveform distortion is very noticeable when the bandwidth is wider. Therefore, the entire frequency range of impulse radio technology established by the Federal Communications Commission [11] is determined using the root-raised cosine waveform, as shown in [12].

C. Experimental Model

The experiment is located within the building used for testing. The parameters in Table 1 are taken into account in the model design, as shown in Fig. 3.

TABLE I. IR LOCALIZATION PARAMETERS

Parameters	Values
Frequency range	3.1 GHz to 10.6 GHz
Number of frequency sweeping point	801 points
Tx and Rx antenna type	Biconical antenna
Tx and Rx antenna height	1 meter
Number of training points	16 points
Number of testing points	100 points

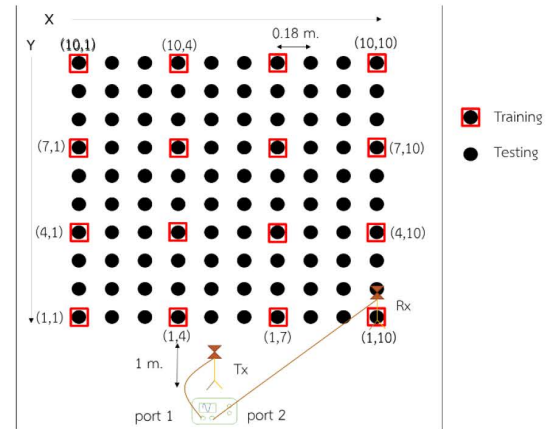


Fig. 3. IR-localization experimental diagram.

From Fig. 3, this positioning model illustrates the design of an indoor localization model using a total of 100 testing points, each axially and distance apart at 0.18 m. A vector network analyzer is used to collect the data, and the antennas area biconical antenna on both the transmitted and received

sides, where port 1 is connected to the transmit antenna with a carrier cable at an antenna height of 1 m, and port 2 is connected to the receiving antenna with a carrier antenna. The antenna's height is 1 meter.

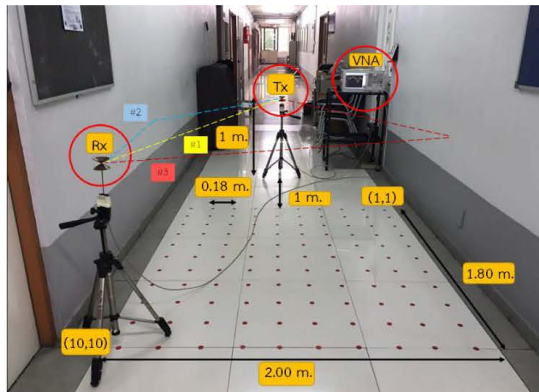


Fig. 4. IR-localization experimental arrangement.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. IR-Localization Distance Error

By analyzing distance errors arising from positioning using techniques like scanning a fingerprint. This is displayed in the form of the cumulative distribution function of the distance error obtained by measuring the channel characteristics of different wideband channels. It measures wide band channel characteristics using a matched filter circuit and broadband channel characteristics measurement using the time-gating technique. It can be shown in figure 5.

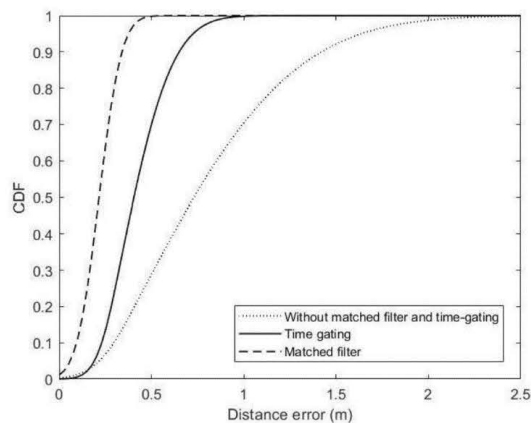


Fig. 5. Comparison of CDF of IR-localization distance error between without matched filter and time-gating technique, time-gating technique, and matched filter.

Fig. 5 shows the cumulative distribution function of distance errors from positioning using the fingerprinting technique comparing three cases. It can be concluded that Distance error from measuring wide band channel characteristics using matched filter circuit. It has the lowest mean error of 0.38 m and distance error from wideband channel characteristic measurements without time-gating and matched filter techniques. The average error was 1.71 m.

V. CONCLUSION

This paper presents the alternative indoor localization model using impulse radio transmission technology. By introducing the time-gating technique at the receiver side, expect that the time-gating technique can be used to decrease the distance error. The experiment was conducted indoors while the biconical antennas were transmitted and received. The experimental data were measured and recorded by the VNA. The results were discussed with the comparison of the CDF of distance error in three different cases. It was found that in the case without the time-gating technique and matched filter, the average distance error was 0.81 m, and the maximum distance error was 1.71 m. The average distance error was 0.22 m, and the maximum distance error was 0.40 m using only a matched filter. And the average distance error and maximum distance error in the case of using the only time-gating technique were 0.42 m and 0.83 m, respectively. The contribution of this paper is meaningful for further research and development in indoor localization.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank Mr. Sakdipat Kameiad, Miss. Sakonwan Thoongkam, and Miss. Natchanan Ngamsakulderm from the telecommunications engineering department, KMITL, for help in the prepare the equipment and measuring the data.

REFERENCES

- [1] Z. Sahinoglu, S. Gezici and I. Guvenc, *Ultra-wideband Positioning Systems*. New York: Cambridge University Press, 2008.
- [2] S. Promwong, *Ultra Wideband Technology*. ECTI E-magazine, vol. 4, no. 4, Oct.-Dec. 2010.
- [3] J. Karaoguz, "High-rate wireless personal area networks," *IEEE communications Magazine*, 39(12), 96-102, 2001
- [4] B. Rose, "Home Networks: A Standards Perspective," *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 12, pp. 78-85, 2001.
- [5] N. Chahé, D. Charles and A. Sofiene, "Geolocation in Mines With an Impulse Response Fingerprinting Technique and Neural Networks," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 3, March 2006.
- [6] A. Toak, N. Kandil, S. Affes and S. Georges, *Fingerprinting localization using Ultra-Wideband and neural networks*. 2007 International Symposium on Signals Systems and Electronics, pp. 529-532, Jul. 2007.
- [7] A. Bensky, *Wireless positioning technologies and applications*. London: Artech House. 2016.
- [8] W. Winitchaikul, J. Sangthong, K. Limpisawat, P. Supanakoon, and S. Promwong, "Performance Comparison of UWB-Fingerprinting Positioning with RBF Neural Network and k-Nearest Neighbor in an Indoor Environment," in *Journal of Information Science and Technology*, 3(1), pp.16-22, 2012.
- [9] L. Tan and J. Jiang, *Digital signal processing: fundamentals and applications*. London: Academic Press. 2018.
- [10] M. M. Maw, "Measurement and Modeling of Furniture Effect in an Indoor Propagation Channel," Ph.D. dissertation, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2015.
- [11] S. Promwong, "Quantitative Evaluation of Waveform Distortion Due to Antenna in Ultra Wideband Impulse Radio," Ph.D. dissertation, Department of Communications and Integrated Systems, Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2009.
- [12] S. Promwong, P. Supanakoon, and J. I. Takada, "Waveform distortion and transmission gain on ultra wideband impulse radio," *IEICE transactions on communications*, 93(10), pp.2644-2650, 2010. J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายญาณโณภาษ ม่วงมี
ที่อยู่	6/2 อาคาร ชิดลมเพลส ชั้น 12 ห้อง A แขวง ลุมพินี เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
ประวัติการศึกษา	2560 - ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) สายอากาศแถบกว้าง 2.) เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 3.) การหาตำแหน่งภายใต้สาย