

กรมทอณูวิทยาและมาตรวิทยา

**การวัดภายในอาคารและรูปแบบการจำลองของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับ
โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล
Indoor Measurement and Modeling of UWB Impulse Radio for Personal Area
Network**



โดย
นายณัฐวุฒิ อະสุนทร
นางสาวจิรวรรณ เขียวมรกต
นายพีรภัทร สังข์จันทร์

เลขที่ ๒๗.
๓๖๓๖๒๗
๒๕๕๐
เลขที่ ๘๓๒๔๘
วันเดือนปี ๑๑ ๘ ๒๕๕๑

๑๑๙๖๖๘๖๗

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Indoor Measurement and Modeling of UWB Impulse Radio for Personal Area
Network**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN DEPARTMENT
OF INFORMATION ENGINEERING**

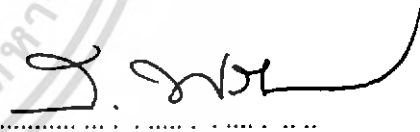
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวัดภายในอาคารและรูปแบบการจำลองของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวุฒิ	ยะสุนทร	รหัสประจำตัว 48015576
	นางสาวจิรวรรณ	เขียวมรกต	รหัสประจำตัว 48015754
	นายพิรภัทร	สังข์จันทร์	รหัสประจำตัว 48015626
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



 (อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวัดภายในอาคารและรูปแบบการจำลองของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐวุฒิ	ยะสุนทร	รหัสประจำตัว 48015576
	นางสาวจิรวรรณ	เขี้ยวมรกต	รหัสประจำตัว 48015754
	นายพิรภัทร	สังข์จันทร์	รหัสประจำตัว 48015626
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาทดลองวัดภายในอาคารและการจำลองรูปแบบสำหรับการวัดของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล ได้ใช้ทฤษฎีของฟรีสและได้ใช้เมทริกซ์ทิศทางด้านรับ เพื่อให้มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูง ส่วนผลที่ได้จากการวัดจะนำมาทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการศึกษาวิจัยได้ทำการทดลองที่ห้องสมุดของภาควิศวกรรมสารสนเทศ โดยได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ทำการวัดและบันทึกผลส่วนสายอากาศด้านส่ง และ ด้านรับได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งได้แสดงผลที่ได้จากการทดลองวิจัยและการวิเคราะห์ใช้ในปริญญานิพนธ์ครบถ้วน นอกจากนี้แล้วสิ่งที่ได้จากการทำโครงการนี้ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาวิจัยของช่องสัญญาณวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งต่อไป

Thesis Title	Indoor Measurement and Modeling of UWB Impulse Radio for Personal Area Network	
Student	Mr. Natthawuth	Hasoonthorn
	Miss Jeerawan	Khiewmorakot
	Mr. Peerapat	Sangjan
Adviser	Mr.Sathaporn	Promwong
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2007	

ABSTRACT

This thesis has study about simulation pattern, and measurement in indoor environment of Ultra wideband (UWB) Impulse Radio for wireless personal area network. By Friis's Transmission Formula. Main Objective of arranging the thesis is to investigate and define the simulation pattern and measurement. Moreover, in order to analyze characteristics of the signal. Which append in both frequency domain and time domain in frequency range of UWB. Thesis, We will analyze the Path Loss value, Transmission Gain, and Bit Error Rate (BER).

For the measuring signal, we arrange the antenna in several positions in the designed room. While the transmitted antenna. Will be fix in one position. We use the biconical Antenna for this experiment. In this experiment, frequency domain will be used to analyze the signal by designed model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้ คำนะนำการทดลองจนกระทั่งสามารถหาข้อสรุปครบถ้วนตาม จุดมุ่งหมายและการแก้ไข้ปัญหา โดยเฉพาะค่านะนำจาก ท่านอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้า ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมปริญญาบัตร ทางผู้จัดปริญญาบัตร และ สนับสนุนส่งเสริมผลงานทางด้านการวิจัยและพัฒนาให้รู้คหน้าอย่างรวดเร็ว ขอขอบพระคุณใน ความกรุณาทั้งหมดที่มีให้ด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณความเกื้อกูลจาก นายสนิท เตียวฉิม และ นายณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัยที่ แบ่งปันประสบการณ์และข้อเสนอข้อคิดที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างข่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดและเป็นทุกสิ่งทุกอย่างในชีวิตเป็นกำลังใจที่ ดีที่สุด

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้

นายณัฐวุฒิ

นางสาวจิรวรรณ

นายพิรภัทร

อะสุนทร

เขี้ยวมรกต

สังข์จันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่ง	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	4
2.3 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.4 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสารแบบกว้างยิ่ง	6
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	6
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	7
2.5 การนำไปใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่ง	9
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์	9
2.5.2 การหาตำแหน่งและระบุตำแหน่ง	11
2.5.3 เรดาร์	12
2.6 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	13
2.6.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์	13
2.6.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน 2.6.3 การมอดูเลตแบบสองเฟสเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 สรุป	15
บทที่3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์	16
3.1 คำนำ	16
3.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์	16
3.3 คุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์	20
3.3.1 ความเป็นเชิงเส้น	20
3.3.2 ค่าสังยุคเชิงซ้อน	21
3.3.3 การขยายค่าตัวแปร	21
3.3.4 ความทวนคู่	21
3.3.5 การเลื่อนเวลา	21
3.3.6 การเลื่อนความถี่	22
3.3.7 การทำอนุพันธ์และการทำปริพันธ์	22
3.3.8 การทำคอนโวลูชัน	22
3.4 คุณสมบัติในโดเมนความถี่ของระบบเชิงเส้น	23
3.5 วิธีการมอดูเลตในระบบการสื่อสาร UWB	24
3.5.1 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAN)	25
3.5.2 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM)	25
3.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-phase)	26
3.6 สมการการถ่ายโอนของฟรีส (Friis's Transmission Formula)	27
3.7 การประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis's Transmission Formula)	28
3.8 การประมาณค่าจากสมการในทางทฤษฎี	29
3.9 ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	29
3.10 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission gain)	29
3.11 ทฤษฎี Power Delay Profile	30
3.11.1 Mean excess delay ($\bar{\tau}$)	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.11.2 RMS delay spread (σ)	30
3.12 อัตราความผิดพลาดบิต (BER)	31
3.13 ช่องทางการแพร่กระจายสัญญาณ	32
3.14 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation Mechanism)	32
3.14.1 การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณ (Deflection)	32
3.14.2 การแตกกระเจิงของสัญญาณ (Scattering)	32
3.14.3 การสะท้อนของคลื่นสัญญาณ (Reflection)	32
3.15 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)	32
3.16 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน (Cumulative Distribution Function)	33
3.17 สรุป	34
บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง	35
4.1 กล่าวนำ	35
4.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณ	35
4.3 Vector Network Analyzer	39
4.4 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)	39
4.5 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง	40
4.6 ปัจจัยที่กำหนดในการวัดสัญญาณ	42
4.7 สรุป	42
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	43
5.1 กล่าวนำ	43
5.2 สัญญาณอินพุต (Input Singnal)	43
5.1.1 การวิเคราะห์ผลจากสัญญาณอินพุต	44
5.3 การวิเคราะห์สัญญาณ	45
5.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.1. ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 1	45
5.4.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	46
5.4.1.2 การสูญเสียเชิงวิถี	48
5.4.1.3 อัตราขยายการส่งผ่าน	48
5.4.1.4 อัตราความผิดพลาด	49
5.4.1.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ	50
5.4.1.6 ผลการทดลองของฟังก์ชันความหนาแน่นของความหนาจะเป็น	51
5.4.1.7 ผลการทดลองฟังก์ชันการกระจายรวมกัน	51
5.4.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 2	52
5.4.2.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	53
5.4.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี	54
5.4.2.3 อัตราขยายการส่งผ่าน	55
5.4.2.4 อัตราความผิดพลาด	56
5.4.2.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ	56
5.4.2.6 ผลการทดลองของฟังก์ชันความหนาแน่นของความหนาจะเป็น	58
5.4.2.7 ผลการทดลองฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน	58
5.5 สรุปการทดลอง	59
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	60
6.1 กล่าวนำ	60
6.2 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ	60
6.3 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	66
ภาคผนวก ข การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค ห้องที่ใช้ในการทดลอง

72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	7
2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	8
4.1 ตาราง Parameter	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกักระบบอื่นๆ	5
2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร	8
2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร	9
2.4 แสดงการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะ โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล	10
2.5 ดาวโหลดไฟลวีดีโอแบบไร้สายจากแหล่งบริการข้อมูล	11
2.6 การระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงในอาคารที่ถูกไฟไหม้	12
2.7 แสดงการประยุกต์ใช้งานในระบบตรวจจับเพื่อหลีกเลี่ยงการชนของรถยนต์	13
2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 2 ระดับ	13
2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์ (PPM)	14
2.10 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส	14
3.1 พังก์ชันพัลส์ $A\delta(t - t_0)$	17
3.2 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ	18
3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณเข้าออกของระบบ	23
3.4 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	25
3.5 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง	26
3.6 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส	26
3.7 แบบจำลองการสูญเสียการส่ง Wireless	27
3.8 การประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส	28
3.9 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี	33
3.10 แสดงฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี	34
4.1 รูปแบบจำลองห้องการทดลองระหว่างห้องที่ 1 กับห้องที่ 2	35
4.2 รูปแบบลักษณะห้องสมุคภาควิศวกรรมสารสนเทศที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3 การจำลองตำแหน่งการรับสัญญาณ Rx	36
4.4 การจำลองห้องทั้ง 2 ห้องที่อยู่ติดกันเป็นประตูคู่	37
4.5 รูปแบบการจำลองการวัดสัญญาณ Tx และ Rx	37
4.6 ตำแหน่งแถวของ Rx ที่นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.7 ตำแหน่งที่ทำการการวัดสัญญาณ Rx	38
4.8 เครื่อง Vector Network Analyzer	39
4.9 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศรวอยู่ที่ใช้ปฏิบัติการ	40
5.1 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งของ สัญญาณแถบกว้างยิ่ง	44
5.2 ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ส่งของแถบกว้างยิ่ง	45
5.3 แบบจำลองที่หนึ่งและตำแหน่งแฉกที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ ทั้ง 2 ห้อง	46
5.4 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดค่าในตำแหน่งที่ 5 โดยระยะทางที่ 2.5-7 เมตร	47
5.5 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดจุดที่ [5, 7] ของห้องที่ 1	47
5.6 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] ห้องที่ 1	48
5.7 แสดงค่าอัตราขยายการส่งผ่านของ [5, 7] ห้องที่	49
5.8 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดของแฉกที่ 5 ห้องที่ 1	49
5.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่าง ๆ	50
5.10 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่าง ๆ	50
5.11 ความหนาแน่นและความหน้าจะเป็นของห้องที่ 1	51
5.12 การกระจายร่วมกันของห้องที่ 1	52
5.13 แบบจำลองที่หนึ่งและตำแหน่งแฉกที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ ในห้องที่ สอง	53
5.14 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดค่าในตำแหน่งที่ 5 โดยระยะทางที่ 2.5-7 เมตร	54
5.15 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดจุดที่ [5, 7] ของห้องที่ 2	54
5.16 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] ห้องที่ 2	55
5.17 แสดงค่าอัตราขยายการส่งผ่านของ [5, 7] ห้องที่ 2	55
5.18 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดของตำแหน่งที่ 5 ห้องที่ 2	56
5.19 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่าง ๆ	57
5.20 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่าง ๆ	57
5.21 ความหนาแน่นและความหน้าจะเป็นของห้องที่ 2	58
5.22 การกระจายร่วมกันของห้องที่ 2	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เริ่มมีความก้าวหน้ามากขึ้นและความสะดวกสบายในการใช้งานสูงขึ้นด้วย ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อภายในอาคาร สำนักงานและนอกอาคารสำนักงานหรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่สะดวกสบายและนิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย ไร้สาย บลูทูธ (Bluetooth) และเทคโนโลยีคลื่นสั้น (short range) อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจในเรื่องเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra - Wideband) ขึ้นมา

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาผลที่เกิดจากการส่งผ่านวัสดุที่มีผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากการส่งสัญญาณทางด้านส่งและทางด้านรับในสภาวะแวดล้อมของห้องที่ต่างกัน และวิเคราะห์ผลจากการส่งสัญญาณจากการทดลองจะประกอบไปด้วย การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการส่งผ่าน ค่าความผิดพลาดของบิต และการหา Power Delay Profile ผลที่ได้จะนำมาสรุปเพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและกำหนดรูปแบบการจำลองและการวัด ภายในอาคารของวิทยุอิมพัลส์แบบ แถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล

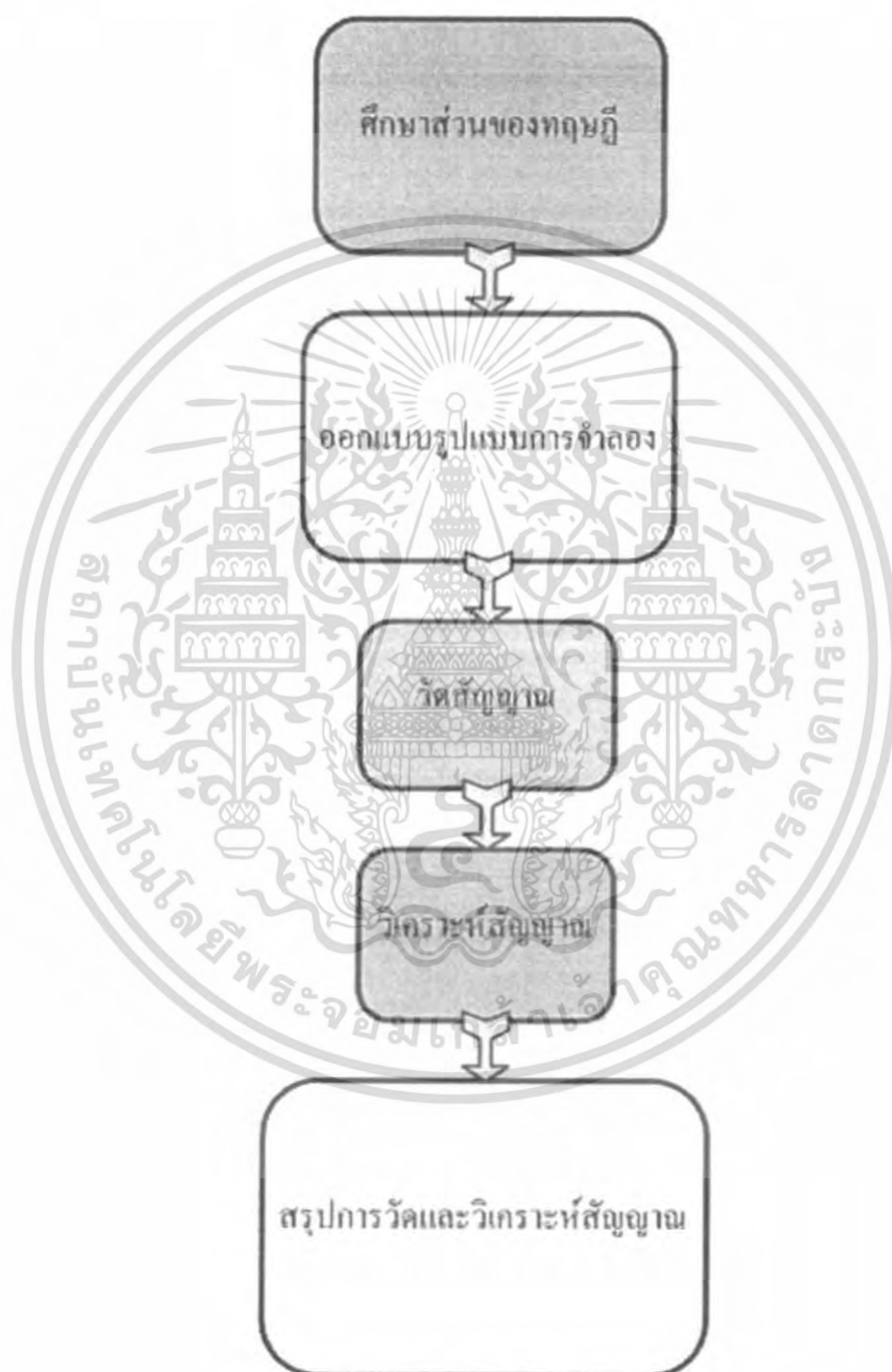
1.2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสัญญาณทั้งใน โดเมนความถี่เวลาและในโดเมนเวลา

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบการจำลองและวัดช่องสัญญาณภายในอาคาร ในย่านความถี่วิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินโครงการได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นส่วนๆดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

ในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีของระบบ การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband : UWB) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่ ที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ต่างจาก การส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบแถบความถี่แคบ (Narrowband) และ การส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread-Spectrum) เช่น Bluetooth และ ไวร์ฟาย (Wi-Fi) ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน UWB เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มพันธมิตร Multiband OFDM Alliance (MBOA) ที่ได้เริ่มก่อตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน 2003 และปัจจุบันมีสมาชิกมากกว่า 50 ราย นำโดย Texas Instruments (TI), Intel, Samsung Electronics, Mitsubishi Electric, Philips, Nokia, Sony, Infineon Technologies โดยเทคโนโลยีดังกล่าวจะแตกต่างจากเทคโนโลยีไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น Wi-Fi หรือ Bluetooth ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ขณะที่ UWB จะเป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ ภายในระยะทาง 10 เมตร UWB ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า Personal Area Network (PAN) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลาย

นอกเหนือจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว UWB ยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดยคณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission - FCC) ตั้งความหวังไว้ว่า UWB จะเข้ามาช่วยคลี่ปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบัน จะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุด และจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ ก็จะมีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปมากขึ้นด้วย

เทคโนโลยี UWB ได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย FCC อยู่ที่ 3.1 GHz - 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่องสัญญาณย่อย ซึ่งแต่ละช่องมี แบนด์วิธ 500 MHz

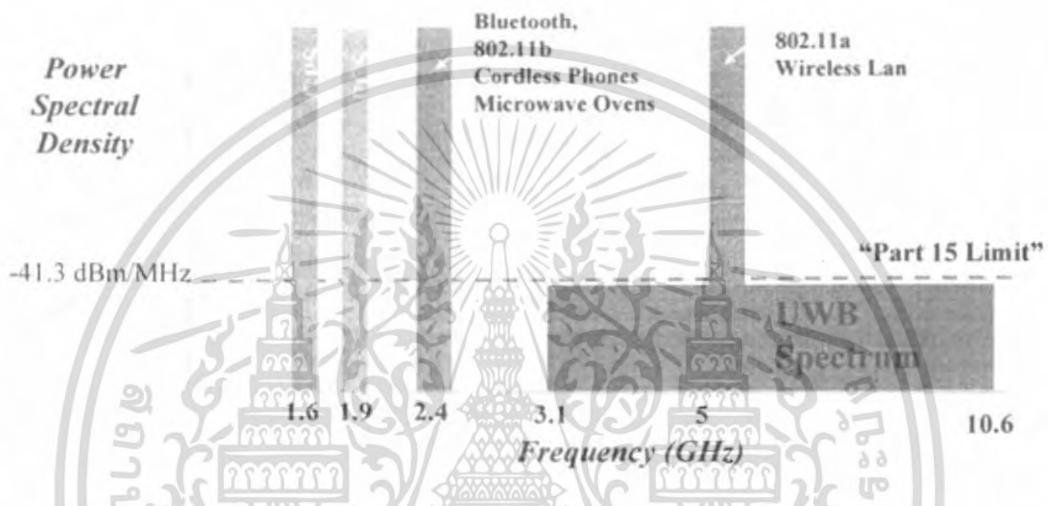
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ UWB ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการค้นหาวัตถุ โดยมันมีความสามารถในการอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ซึ่งถือว่าสูงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี จีพีเอส (Global Positioning System . GPS) ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ มันยังสามารถใช้เป็นเครื่องเรดาร์ตรวจสอบได้ผิวดิน รวมไปถึงความสามารถในการจับภาพทะลุกำแพงที่อาจจะนำมาเป็นเป็นอุปกรณ์ของตำรวจที่ใช้ในการตรวจสอบก่อนเข้าจับกุมคนร้ายได้จากประสิทธิภาพที่เหนือกว่าดังกล่าว ทำให้ยักษ์ใหญ่ในอุตสาหกรรมไอทีต่างให้ความสนใจที่จะทำการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นอย่างมาก โดยกลุ่มพันธมิตรมัลติเบนค์โอเอฟดีเอ็ม ซึ่งนำโดย Texas Instruments ได้วางแผนจะเปิดตัวชิพซิลิคอนตัวอย่างในช่วงไตรมาสสุดท้ายของปี 2004 ขณะที่โมเดลรวมจะเปิดตัวในช่วงไตรมาสแรกของปี 2005 และคาดว่าอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี UWB จะเริ่มวางตลาดได้ภายในไตรมาส 2 ของปี 2005 อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นที่ทุกคนคาดหวังเอาไว้ก็คือการเร่งให้เกิดชิพเซ็ต และระบบที่รองรับเทคโนโลยีดังกล่าวออกมาอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้หนึ่งในการพัฒนาที่น่าจับตามองมากที่สุดก็คือ แผนการพัฒนาของ Extreme Spectrum Inc ซึ่งมีแผนจะผลิตชิพเซ็ตตัวอย่างสำหรับเครื่องเล่นวีดีโอ - ดีวีดีแบบไร้สาย ด้วยความเร็วในการส่งข้อมูลที่ 100 Mbps และใช้พลังงานที่ต่ำเพียง 200 มิลลิวัตต์ ขณะที่ Intel ก็เป็นอีกบริษัทหนึ่งที่ให้ความสนใจกับเทคโนโลยี UWB เป็นอย่างมาก โดยบริษัทฯ ได้ทำการตั้งทีมค้นคว้าวิจัยอยู่ใน Intel Architecture Labs มาตั้งแต่ปี 2000 และมีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ออกมามากมาย นอกจากนี้ ทีมค้นคว้าวิจัยของ Intel ยังประสบความสำเร็จในการสร้างระบบต้นแบบที่สามารถส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 100 Mbps ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าที่ผ่านมาโลกของเราได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ออกมามากมาย แต่การที่ผลิตภัณฑ์ขาดการสนับสนุนอย่างเพียงพอก็ได้ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสูญหายไปจากตลาดเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ สิ่งที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ UWB เป็นจริงขึ้นมาได้จะต้องขึ้นอยู่กับว่า กลุ่มผู้พัฒนาจะสามารถหาพันธมิตรที่มีความแข็งแกร่ง และเกิดการร่วมมือระหว่างกัน

2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากและยังมีข้อแตกต่างจากระบบการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ คือ เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์โดยจะทำการส่งสัญญาณที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ซึ่งจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างในระดับนาโนวินาที (Nana second, ns) เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลาด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบมีความหนาแน่นของแถบกำลังงาน (Power Spectral Density, PSD) ครอบคลุมในช่วงความถี่ที่กว้างมากอยู่ในระดับกิกะเฮิรตซ์ (GHz) ในโดเมนความถี่ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงแต่ด้วยข้อจำกัดในระดับของกำลังงานที่ใช้ส่งจึงทำให้ระยะทางในการให้บริการถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE802.15.3a หรือ WPAN โดยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบกว้างขั้วงโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างขั้วงกับระบบอื่นๆ

ลักษณะเฉพาะ โดยทั่วไปของสัญญาณ UWB เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องสามารถทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งจะถูกรอกแบบเพื่อให้สามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่น UWB นั้นต้องทำการออกแบบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ต้องอยู่ในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างขั้วง และค่าแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดโดยวัดที่ระดับต่ำลงมา 10 dB จากระดับสูงสุดของการแพร่กระจายเท่ากับ 500 MHz โดยระดับสูงสุดที่อนุญาตให้การแพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบ UWB นั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz เพราะฉะนั้นในการออกแบบสัญญาณ UWB นั้นมีความต้องการแบนด์วิดท์ต่ำสุดที่ระดับ 10 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะของพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบที่ใช้ในเทคโนโลยี UWB จะมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารแถบแคบ

- มีความจุของช่องสัญญาณมาก
- ใช้กำลังในการส่งต่ำ
- มีโอกาสที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก
- มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ (Jammimg)
- ใช้กำลังในการส่งต่ำ
- มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก
- มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี

2.4 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตามยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบอบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือนซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [MHz]	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 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

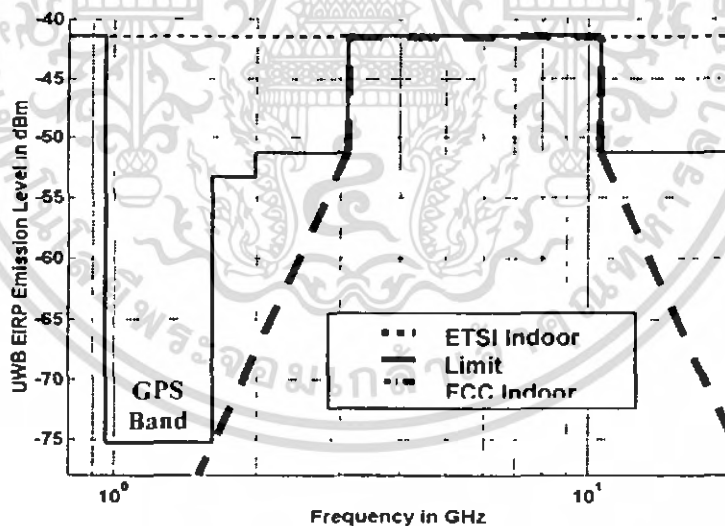
ปัจจุบันโครงสร้างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบต่อบริการเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
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	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

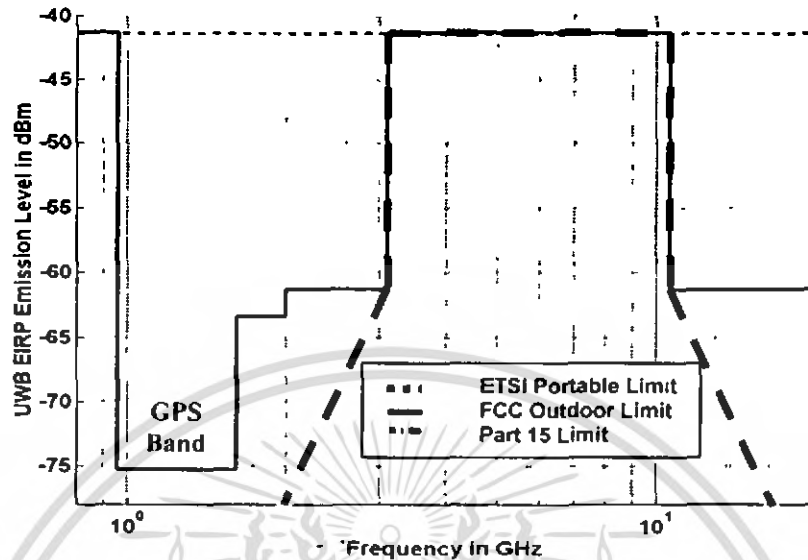
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่ง
ภายนอกอาคาร

2.5 การนำไปใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่ง

จากข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย โดยจะแบ่งประเภทการใช้งานเป็น 3 ประเภท คือ

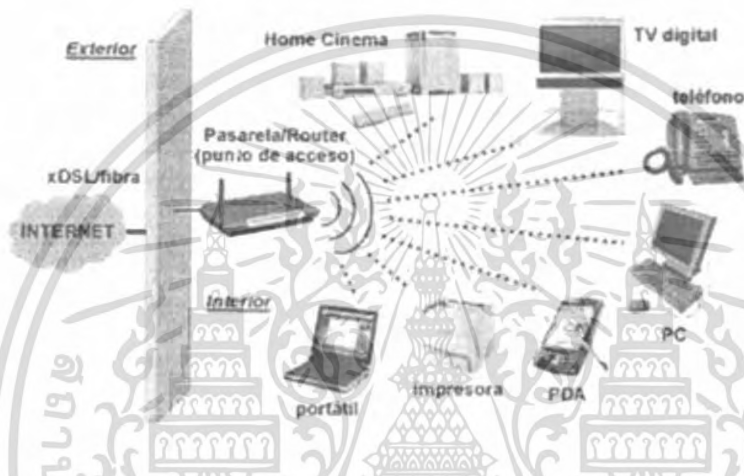
1. การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์
2. การหาตำแหน่งการติดตาม
3. เรดาร์

ในตอนแรกนั้นกลุ่มที่นำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งานจะเป็นกลุ่มทางการทหารและแผนกรักษาความปลอดภัย แต่ต่อมาได้ระบบแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจมากขึ้น จึงทำให้มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ด้วย

2.5.1 การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง จึงทำให้มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที ซึ่งทำให้รองรับกับระบบมัลติมีเดียที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงอยู่แล้ว ซึ่งแนวคิดในการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้ในด้านติดต่อสื่อสารหรือการรับส่งข้อมูลก็คือระบบโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลหรือ WPAN นั่นเอง โดยจะเป็นการรับส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

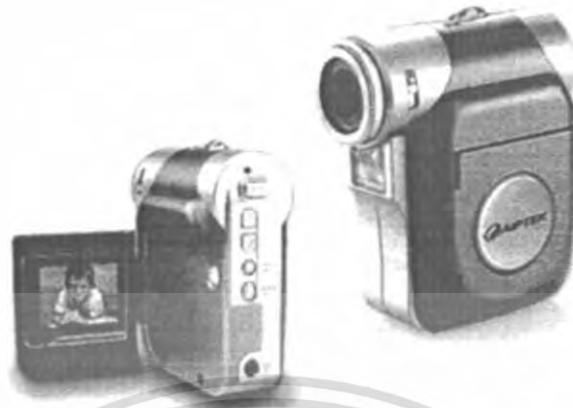
ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน หรืออาคารสำนักงาน ซึ่งต่อไปในอนาคต เราสามารถดูวิดีโอที่อัปเดตจากกล้องวิดีโอพกพาผ่านทางหน้าจอโทรทัศน์ได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการเชื่อมต่อสายให้ยุ่งยาก หรือสามารถสั่งพิมพ์ภาพจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่คนละห้องกันกับเครื่องพิมพ์ได้โดยไม่ต้องเดินสายเป็นต้น ซึ่งรูปที่ 2.4 แสดงการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะ โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล



รูปที่ 2.4 แสดงการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะ โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล

การใช้งานดาวโหลดมัลติมีเดียต้องมีความละเอียดของภาพและเสียงก็สามารถรับส่งได้โดยปราศจากการเดินทางสาย ยกตัวอย่างดาวโหลดข้อมูลที่เป็น ไฟล์วิดีโอจากแหล่งที่ให้บริการดาวโหลดหรือจากแหล่งที่ขายไฟล์วิดีโอต่าง โดยสามารถดาวโหลดได้สะดวกและรวดเร็วซึ่งไม่ต้องทำการต่อสายก่อนการดาวโหลดเลย ดังแสดงรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ควาโพลวิดีโอวีดีโอเบ ไร้สายจากแหล่งบริการข้อมูล

ในการนำเทคโนโลยีแถบกว้างมาใช้ในระบบเซ็นเซอร์นั้น ที่เห็นกันทุกๆ ไปก็จะเป็นการใช้งานในระบบรักษาความปลอดภัยตามสถานที่ต่างๆ หรือเป็นการตรวจจับสิ่งผิดปกติดังกล่าว

2.5.2 การหาตำแหน่งและระบุตำแหน่ง

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่เราสามารถใช้ค้นหาตำแหน่งหรือพิกัดต่างๆ บนโลกได้โดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) แต่ในการนำเทคโนโลยีแถบกว้างมาใช้ ซึ่งใช้ภายในอาคารเป็นหลักมีความเหมาะสมมากสำหรับปัญหาในระบบระยะสั้น ซึ่งมันสามารถที่จะระบุตำแหน่งได้แม่นยำในระดับเซนติเมตรเลยทีเดียวซึ่งสามารถค้นหาคนหรือสิ่งของต่างๆ ได้ เช่น การหาจุดตกของของที่อยู่ในห้องหรือในบ้าน การตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า หรือการระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงที่เข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ในอาคารที่ถูกไฟไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

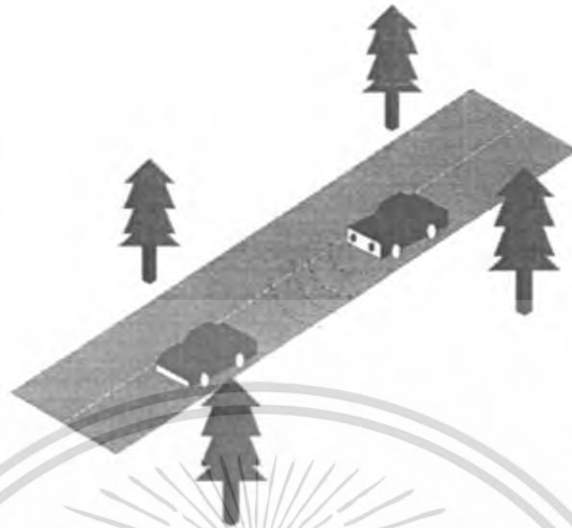


รูปที่ 2.6 การระบุตำแหน่งของนักผจญเพลิงในอาคารที่ถูกไฟไหม้

2.5.3 เรดาร์

สัญญาณแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพงและถูกนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเรดาร์ที่มีความสามารถเพิ่มขึ้น ระบบเรดาร์จะมีการเจริญเติบโตทางการตลาดอย่างมาก การประยุกต์ใช้งานเรดาร์ในรูปแบบใหม่โดยเทคโนโลยีแถบกว้างจะถูกนำมาใช้ในระบบเซนเซอร์รถยนต์ เช่น เซอร์ตรวจจับเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน เช่น เซอร์ระบบความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบในพื้นที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น ที่เก็บทรัพย์สินมีค่าหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวด หรืออาจนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบท่อผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคาร เช่น ไม้ อีฐ อิฐบล็อก ไฟเบอร์ พลาสติกและคอนกรีต ซึ่งในอดีตระบบเรดาร์ได้ถูกพัฒนาและใช้เพื่อการทหารแต่ในอนาคตอันใกล้ระบบเรดาร์จะถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ มากขึ้นเรื่อยๆ โดยในรูปที่ 2.7 แสดงการประยุกต์ใช้งานในระบบตรวจจับเพื่อหลีกเลี่ยงการชนของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการประยุกต์ใช้งานในระบบตรวจจับเพื่อหลีกเลี่ยงการชนของรถยนต์

2.6 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบแถบกว้างยิ่งนั้น มีความจำเป็นต้องการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิทัลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อกหรือในความหมายของการมอดูเลต โดยในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นวิธีการมอดูเลตอยู่มากมายที่ดูน่าสนใจ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงถึงวิธีการทั่วไปของการมอดูเลตดังนี้

2.6.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางขนาดของพัลส์ (PAM) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาด โดยมีทั้งหมด 2 ระดับ



รูปที่ 2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์

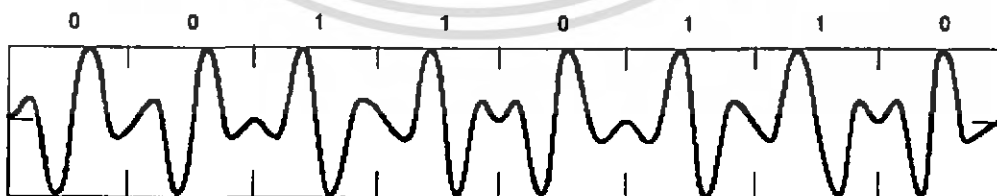
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ทางตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยในรูปที่ 2.9 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง โดยในรูปที่ 2.9 นั้นบิต "0" จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal- Position) และบิต "1" จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์ (PPM)

2.6.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟส (Bi-phase) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

2.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความเ็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างซึ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงข้อกำหนดต่างๆ ของเทคโนโลยีแถบกว้างซึ่งซึ่งออกโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FCC ซึ่งว่าด้วยเรื่องของช่วงความถี่ที่ใช้ กำลังงานในการส่งทั้งในสภาวะแวดล้อมในและภายนอกอาคาร นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงจุดเด่นและประโยชน์ของเทคโนโลยีแถบกว้างซึ่ง จากการที่เทคโนโลยีนี้มีจุดเด่นในเรื่องความเร็วในการส่งที่สูง แบนด์วิธที่กว้างใช้กำลังงานในการส่งที่ต่ำทำให้มีการใช้งานได้หลากหลาย โดยไม่ไปรบกวนหรือถูกรบกวนจากระบบอื่นๆ ซึ่งการนำไปใช้งานหลักๆ จะแบ่งเป็น 3 ประเภทการใช้งานคือ การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์ การหาตำแหน่งและการติดตาม และสุดท้ายคือเรดาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

3.1 กล่าวนำ

สภาวะแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่นนั้นจะส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ จะเกี่ยวโยงไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้าง ขั้วทั้งสภาวะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ ถ้าช่องสัญญาณมี คุณลักษณะที่ติแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถ ที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่าง หนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้อามาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบน พื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสภาวะแวดล้อมที่ชัดเจน

3.2 ผลตอบสนองอิมพัลส์

การแสดงบอกคุณสมบัติของระบบสามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยม คือ การแสดงด้วย ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบนั้น เพื่อให้เข้าใจในเรื่องจำเป็นต้องรู้จักค่านิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (impulse function) ไว้ก่อน

ฟังก์ชันอิมพัลส์ไม่ใช่ฟังก์ชันธรรมดาเช่นฟังก์ชันทั่วไป

ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และคุณสมบัติดังนี้ คือ

$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t), a < t_0 < b \\ 0, \end{cases} \text{ เมื่อ } t_0 \text{ มีค่าอื่น} \quad (2-1)$$

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่องที่ค่าเวลา $t = t_0$ และเมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

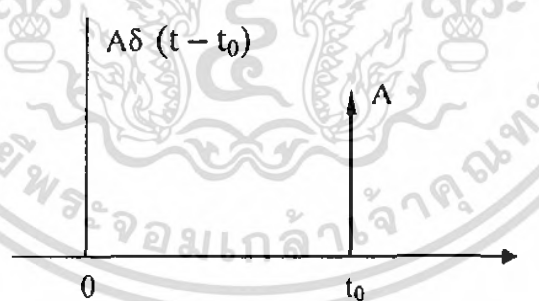
$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)dt = 1 \quad (2-2)$$

แก่นักทฤษฎีกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จะกล่าวได้ว่า พื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย ค่าที่ได้จากการทำงานปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่าน้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้น ดังนั้นเราจะพบว่า น้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้น มีชื่อว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (unit impulse function) รูปลักษณะของ $\delta(t-t_0)$ นั้นไม่เหมือนฟังก์ชันธรรมดาเพราะมันจะมีขนาดที่มากจนกำหนดค่าไม่ได้ที่เวลา $t = t_0$ และไม่มีค่าที่เวลาอื่นๆกล่าวคือ

$$\delta(t-t_0) = \begin{cases} \infty, & t = t_0 \\ 0, & t \neq t_0 \end{cases} \quad (2-3)$$

ให้สังเกตว่า $\delta(t-t_0)$ จะมีค่าเป็นศูนย์ตลอด ยกเว้นที่เวลา $t = t_0$ และพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ จะเท่ากับ 1 เพราะฉะนั้นขนาดของ $\delta(t-t_0)$ ที่เวลา $t = t_0$ นี้จึงควรมีค่าเข้าสู่อนันต์ การเขียนกราฟแทน $A\delta(t-t_0)$ มีดังแสดงในรูปที่ 2.3 เนื่องจากเราไม่สามารถแทนขนาดของ $\delta(t-t_0)$ ได้จริงจึงใช้เครื่องหมายลูกศรแทน เพื่อแสดงว่ามันมีค่าพุ่งขึ้นไปไม่มีกำหนดที่เวลา t_0 และเมื่อต้องการจะแสดงว่าฟังก์ชันอิมพัลส์มีน้ำหนักเท่าใดก็จะตัวอักษรแสดงค่าน้ำหนักเท่าใดก็จะใช้ตัวอักษรแสดงค่าน้ำหนักกำกับไว้ข้างลูกศรนั้น



รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันพัลส์ $A\delta(t-t_0)$

คุณสมบัติฟังก์ชันพัลส์ที่ควรสนใจมีดังนี้ คือ

คุณสมบัติการสมมาตร

$$\delta(t) = \delta(-t) \quad (2-4)$$

คุณสมบัติการขยายอัตราส่วนเวลา

$$\delta(at) = \frac{1}{|a|} \delta(t), \quad \text{เมื่อ } a \text{ เป็นค่าคงที่} \quad (2-5)$$

คุณสมบัติการคูณอิมพัลส์กับฟังก์ชันอื่น

$$f(t)\delta(t-t_0) = f(t_0)\delta(t-t_0) \quad (2-6)$$

แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ แต่ในทางทฤษฎีแล้วมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบอย่างมาก โดยเฉพาะเรื่องคุณสมบัติของระบบ ดังจะพบต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ

เมื่อพิจารณาระบบ $\alpha\{\}$ ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ผลตอบสนองของระบบ $\alpha\{\}$ นี้ที่เกิดจากสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย $\delta(t)$ จะถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ โดยใช้ $h(t)$ เป็นสัญญาณแทนผลตอบสนองอิมพัลส์ กล่าวคือ

$$h(t) = \alpha\{\delta(t)\} \quad (2-7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบ เพราะมันสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้ และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ค่าเอาต์พุต $g(t)$ ของระบบที่จากสัญญาณอินพุต $f(t)$ ใดๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} f(t-\tau)h(\tau)d\tau \quad (2-8)$$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ (2-8) ทำได้ง่ายดังนี้คือ ตามระบบตามรูปที่ 2.4 จะได้ความสัมพันธ์

$$g(t) = \alpha\{f(t)\} \quad (2-9)$$

และ

$$h(t) = \alpha\{\delta(t)\} \quad (2-10)$$

เมื่ออาศัยคุณสมบัติของระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะได้

$$h(t-t_0) = \alpha\{\delta(t-t_0)\} \quad (2-11)$$

และด้วยความสัมพันธ์ (2-1) เราสามารถเขียนฟังก์ชัน $f(t)$ ได้ในรูป

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0)\delta(t_0-t)dt_0 \quad (2-12)$$

เมื่อแทน (2-12) ใน (2-9) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(t) = \alpha \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0) \delta(t - t_0) dt_0 \right\} \quad (2-13)$$

โดยคุณสมบัติสมมาตร (2-4) ทำให้

$$g(t) = \alpha \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0) \delta(t - t_0) dt_0 \right\} \quad (2-14)$$

เนื่องจาก $\alpha \{ \cdot \}$ เป็นตัวปฏิบัติการเชิงเส้นที่เกี่ยวเนื่องกับเวลา t ดังนั้น (2-14) จึงสามารถเขียนได้ ดังต่อไปนี้คือ

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0) \alpha(t - t_0) dt_0 \quad (2-15)$$

อาศัย (2-11) แทนใน (2-15) จะได้

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_0) h(t - t_0) dt_0 \quad (2-16)$$

เมื่อแทนที่ t_0 ด้วย τ จะเห็นได้ว่า (2-16) ก็คือ (2-8) ในส่วนแรกและเมื่อเปลี่ยนแทนที่ $t - t_0 = \tau$ ใน (2-16) ก็จะได้ส่วนสุดท้ายของ (2-8) ตามต้องการ โดยการทำให้ปริพันธ์ในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า การคอนโวลูชัน (CONVOLUTION) ระหว่าง $f(t)$ และ $h(t)$ ซึ่งมีสัญลักษณ์แทนด้วย คือ

$$g(t) = f(t) \otimes h(t) = h(t) \otimes f(t) \quad (2-17)$$

3.3 คุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์

3.3.1 ความเป็นเชิงเส้น

คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างโดเมนทั้งสองนี้ คือ ถ้า $f_1(t) \leftrightarrow F_1(\omega)$ และ $f_2(t) \leftrightarrow F_2(\omega)$ แล้วจะได้ว่า

$$a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t) \leftrightarrow a_1 F_1(\omega) + a_2 F_2(\omega) \quad (2-18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้เ้าได้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้ a_1 และ a_2 เป็นค่าคงที่ใดๆ ที่กำหนดตามพอใจ

3.3.2 ค่าสังยุคเชิงซ้อน

คุณสมบัติความสัมพันธ์ของค่าสังยุคเชิงซ้อน (Complex conjugate) นั้น มีความเกี่ยวข้องกับค่าฟังก์ชันปรกติดังนี้ คือ ถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ แล้วจะได้

$$f^*(t) \leftrightarrow F^*(-\omega) \quad (2-19)$$

3.3.3 การขยายค่าตัวแปร

เมื่อมีการขยายค่าตัวแปร (Coordinate scaling) ในโดเมนหนึ่ง จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในอีกโดเมนหนึ่งตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ จะได้

$$f(\alpha t) \leftrightarrow \frac{1}{|\alpha|} F\left(\frac{\omega}{\alpha}\right) \quad (2-20)$$

เมื่อ α เป็นค่าคงที่ที่กำหนดให้

3.3.4 ความควบคู่

คุณสมบัติความควบคู่ (duality) มีดังนี้ ถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ แล้วจะได้

$$F(\omega) \leftrightarrow 2\pi f(-\omega) \quad (2-21)$$

3.3.5 การเลื่อนเวลา

การเลื่อนเวลา (Time shifting) ของการเกิดสัญญาณ ทำให้เกิดการเลื่อนเฟสในสเปกตรัมของสัญญาณ ตามคุณสมบัติดังนี้คือ ถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ จะได้

$$f(t-t_0) \leftrightarrow F(\omega)e^{-j\omega t_0} \quad (2-22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การเลื่อนความถี่

การเลื่อนค่าความถี่ (Frequency shifting) ของสัญญาณในโดเมนความถี่นั้น จะส่งผลทำให้เกิดการมอดูเลตในโดเมนเวลา กล่าวคือ ถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ จะได้

$$f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega - \omega_0) \quad (2-23)$$

3.3.7 การทำอนุพันธ์และการทำปริพันธ์

ถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$ และ $f(t)$ นั้นเป็นฟังก์ชันที่มีค่าอนุพันธ์ที่กำหนดได้ เราจะได้ว่า

$$\frac{df(t)}{dt} \leftrightarrow j\omega F(\omega) \quad (2-24)$$

และ

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) d\tau \leftrightarrow \frac{1}{j\omega} F(\omega) + \pi F(0)\delta(\omega) \quad (2-25)$$

โดยในที่นี้

$$F(0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) d\tau \quad (2-26)$$

3.3.8 การทำคอนโวลูชัน

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติในโดเมนเวลาและในโดเมนความถี่ เกี่ยวกับการทำคอนโวลูชันมีดังนี้ $f_1(t) \leftrightarrow F_1(\omega)$ และ $f_2(t) \leftrightarrow F_2(\omega)$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau \leftrightarrow F_1(\omega) F_2(\omega) \quad (2-27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_1(t)f_2(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F_1(\mu)F_2(\omega - \mu)d\mu \tag{2-28}$$

3.4 คุณสมบัติในโดเมนความถี่ของระบบเชิงเส้น

เราได้ว่าสำหรับระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงเวลานั้น สัญญาณออก $g(t)$ ของระบบ จะมีค่าเท่ากับผลการทำคอนโวลูชันของสัญญาณเข้า $f(t)$ กับผลตอบสนองอิมพัลส์ $h(t)$ ของระบบ กล่าวคือ

$$g(t) = f(t) \otimes h(t)$$

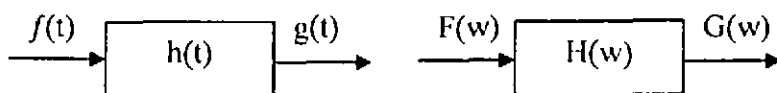
ดังนั้นถ้า $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$; $h(t) \leftrightarrow H(\omega)$ และ $g(t) \leftrightarrow G(\omega)$ แล้วอาศัยสมบัติ 2-28 เราจะได้

$$G(\omega) = F(\omega)H(\omega) \tag{2-29}$$

หรือ

$$H(\omega) = \frac{G(\omega)}{F(\omega)} \tag{2-30}$$

$H(\omega)$ มีชื่อเฉพาะที่รู้จักกันดีว่าคือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้า และออกของระบบใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่นั้น เมื่ออาศัยรูปมาช่วยแสดงจะเป็นดังนี้



(ก) ความสัมพันธ์ระบบในโดเมนเวลา (ข) ความสัมพันธ์ของระบบในโดเมนความถี่

รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณเข้าออกของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้กฎหมายลิขสิทธิ์ของประเทศไทย ซึ่งผู้จัดทำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อแยกแยะให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฟส θ ของสัญญาณด้วยสมการ (2-29) อาจเขียนเป็นรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ละเอียดขึ้นดังนี้

$$\begin{aligned} |G(\omega)e^{j\theta G(\omega)} &= |F(\omega)|e^{j\theta F(\omega)} |H(\omega)|e^{j\theta H(\omega)} \\ &= |F(\omega)H(\omega)|e^{j\theta H(\omega)+\theta F(\omega)} \end{aligned} \quad (2-31)$$

โดยในที่นี้ $\theta G(\omega)$ และ $\theta F(\omega)$ คือค่าเฟสของสัญญาณ $g(t)$ และ $f(t)$ ตามลำดับ และ $\theta H(\omega)$ คือ ค่าการเลื่อนเฟสของฟังก์ชัน $H(\omega)$ ความสัมพันธ์ (2-31) นี้ อาจแยกเขียนความสัมพันธ์ได้เป็นความสัมพันธ์ของขนาดคือ

$$|G(\omega)| = |F(\omega)||H(\omega)| \quad (2-32)$$

และได้เป็นความสัมพันธ์ของเฟส

$$\theta G(\omega) = \theta F(\omega) + \theta H(\omega) \quad (2-33)$$

สามารถกล่าวเป็นคำอธิบายได้ว่า ขนาดของฟังก์ชันความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของผลตอบสนองของระบบ หาได้จากผลคูณของขนาดฟังก์ชันความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของสัญญาณเข้ากับขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบนั้น จะมีค่าเท่ากับผลบวกของค่าเฟสของฟังก์ชันความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของสัญญาณเข้า กับค่าเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบนั้น

3.5 วิธีการมอดูเลตในระบบการสื่อสาร UWB

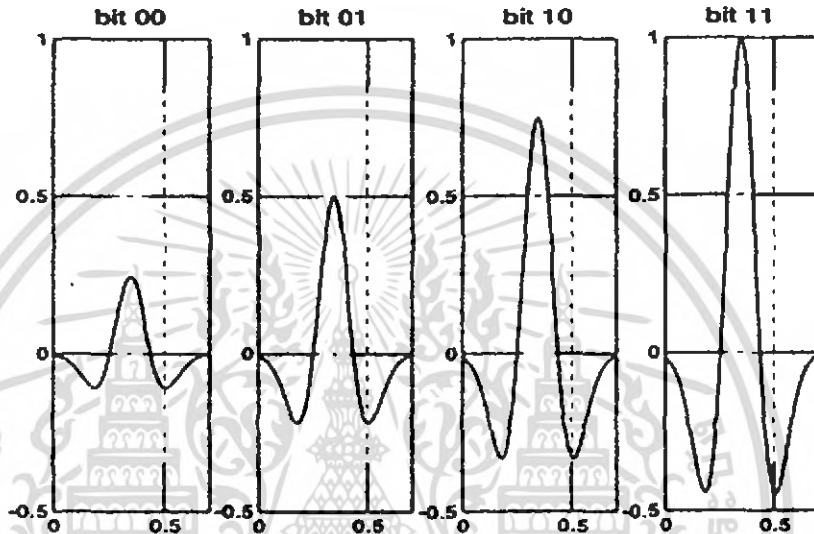
ในการส่งสัญญาณข่าวสารในระบบการสื่อสาร UWB นั้นสามารถทำการมอดูเลตได้หลายวิธีแค่นี้ขียนนำมาใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

1. การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi – Phase Modulation)
2. การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (Pulse Position Modulation)
3. การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาดของสัญญาณ (Pulse Amplitude Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM)

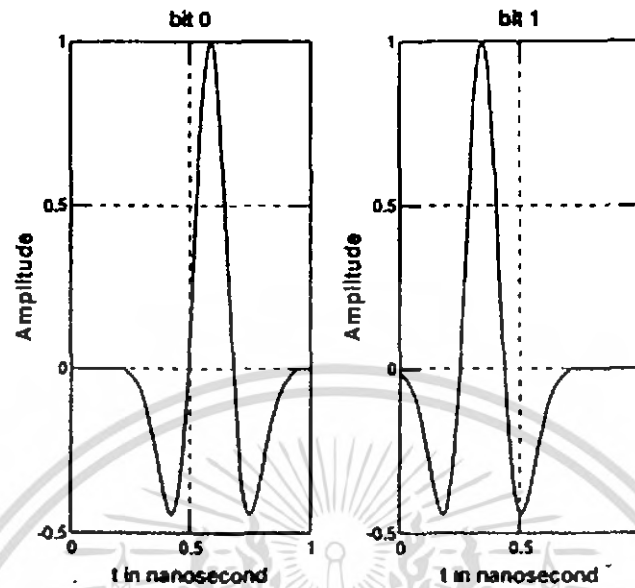
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามขนาด (PAM) นั้นจะอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยในรูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณข้อมูลในระบบการสื่อสาร UWB ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาดโดยมีทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งการมอดูเลตตามขนาดนั้นจะมีข้อเสียในด้านข้อผิดพลาดต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.4 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

3.5.2 การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM)

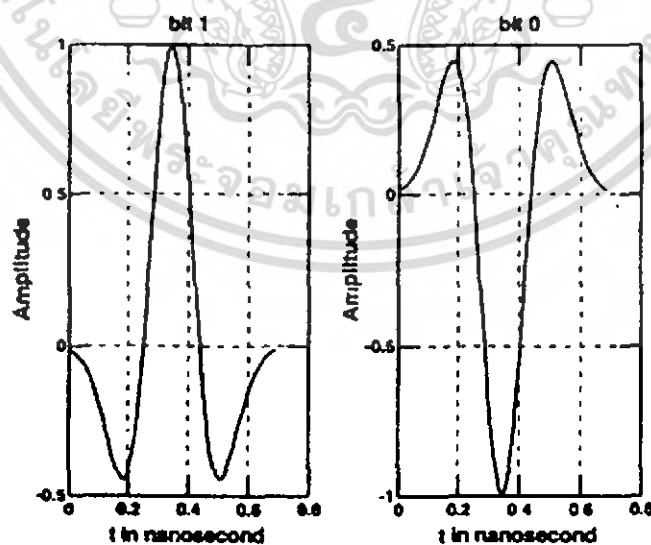
การมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่ง (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามตำแหน่งของสัญญาณพัลส์โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยที่ในรูปที่ 2.10 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งแบบ 2 ตำแหน่ง โดยที่ในรูปที่ 2.10 นั้นบิต "0" จะแทนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่อยู่หลังตำแหน่งปกติ (Nominal-Position) และบิต "1" จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลาประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์



รูปที่ 3.5 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามตำแหน่ง

3.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-phase)

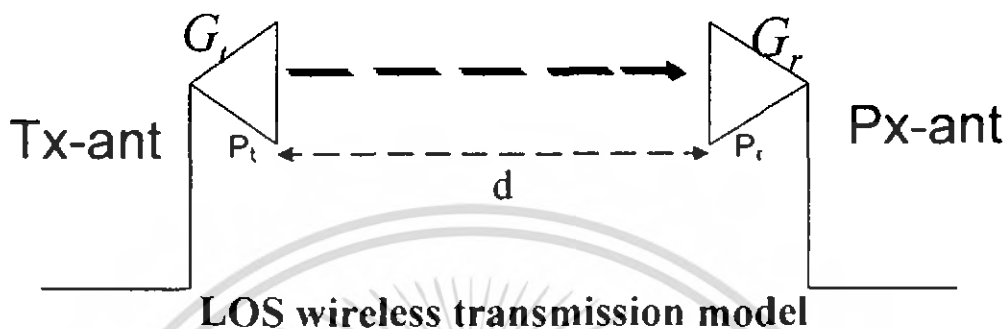
การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟสนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์โดยในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบสองเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis's Transmission Formula)



รูปที่ 3.7 แบบจำลองการสูญเสียการส่ง Wireless

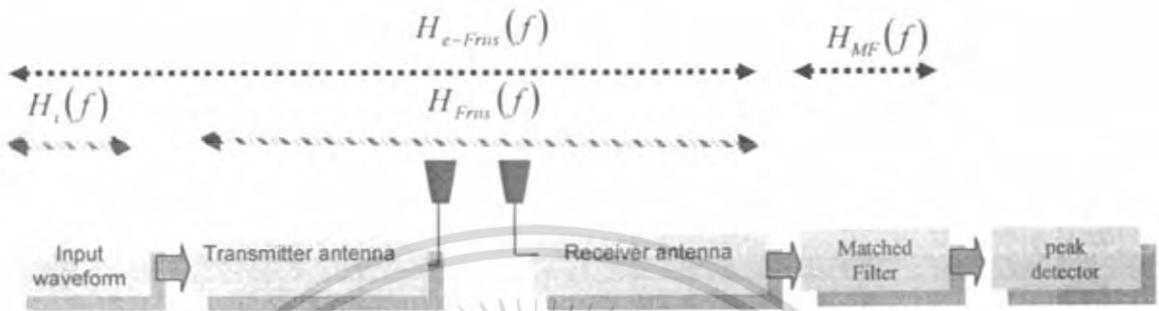
สมการการส่งผ่านของฟรีส ได้รับการยอมรับและนิยมในวงการวิจัยเกี่ยวกับระบบการสื่อสารอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นสมการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการวิเคราะห์โดยสมการทั่วไปสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_{Fris}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_t(f)G_r(f)G_s(f) \quad (2.34)$$

กำหนด $G_{Fris}(f)$	อัตราขยายของฟรีส
f	ความถี่
$G_t(f)$	อัตราขยายของด้านส่ง
$G_r(f)$	อัตราขยายในอวกาศว่าง
$G_s(f)$	อัตราขยายของด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส (Extension Friis's Transmission Formula)



รูปที่ 3.8 การประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส

เนื่องด้วยสมการของฟรีสที่ได้กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดพลาดของสัญญาณได้ เพราะว่สมการของข้างต้นที่ได้พูดไปดล้มนั้น ไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่โดยสมการที่ได้ เพราะว่าสมการที่ 2.6 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุต มาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่ โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบดังนี้

$$H_{e-Friis}(f, d) = H_t(f)H_r(f, d)H_i(f, d)H_o(f, d) \quad (2.35)$$

- กำหนดให้

$H_{e-Friis}(f, d)$	การถ่ายโอนของฟรีสที่ปรับแต่งแล้ว
$H_t(f)$	การถ่ายโอนของด้านส่ง
$H_r(f, d)$	การถ่ายโอนของด้านรับ
$H_i(f, d)$	การถ่ายโอนของสัญญาณอินพุต
$H_o(f, d)$	การถ่ายโอนของอวกาศว่าง

จากการที่สาขาอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณทำให้ค่าของการถ่ายโอนของอวกาศว่างต้องมีการระบุรูปแบบเสียใหม่มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp^{-jkd} \quad (2.36)$$

เมื่อ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และ $\lambda = \frac{c}{f}$

λ ความยาวคลื่น

c ค่าความเร็วแสงเท่ากับ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

3.8 การประมาณค่าจากสมการในทางทฤษฎี

ในการประมาณค่าในทางทฤษฎี จะทำการประมาณค่าในเรื่องการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) อัตราการขยายของการส่งผ่าน (Transmission gain) รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power delay profile) อัตราความผิดพลาดบิต BER

3.9 ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

การสูญเสียเชิงวิถี เป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) เทียบกับกำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver) เพื่อแสดงว่าระบบที่ใช้งานอยู่นั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับสัญญาณเป็นอย่างไร

$$PL(dB) = 10 \log \left[\max \left[\frac{V_T(t)}{V_R(t)} \right] \right]^2 \quad (2.37)$$

กำหนดให้

PL	การสูญเสียเชิงวิถี
$v_t(t)$	สัญญาณทางด้านส่ง
$v_r(t)$	สัญญาณทางด้านรับ

3.10 ทฤษฎีการขยายการส่งผ่าน (Transmission gain)

คืออัตราส่วนการของกำลังงานทางด้านรับเทียบกับกำลังทางด้านส่ง หรือก็คือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TG(dB) = 10 \log \left[\max \left[\frac{V_r(t)}{V_t(t)} \right] \right]^2 \quad (2-38)$$

กำหนดให้

TG	อัตราขยายส่งผ่าน
$v_t(t)$	สัญญาณทางด้านส่ง
$v_r(t)$	สัญญาณทางด้านรับ

3.11 ทฤษฎีค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)

ใช้บอกคุณลักษณะของการออกแบบทางเวลาสำหรับช่องสัญญาณแถบความถี่ยิ่งกว้าง และมี Multipath ประกอบด้วยค่า Time Dispersion Parameters ดังนี้

3.11.1 ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay $(\bar{\tau})$)

คำนวณได้จากสมการ

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2-39)$$

โดย $(\bar{\tau})$ คือค่า Mean excess delay, a_k คือ ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ตำแหน่ง k , τ_k คือ delay ที่ตำแหน่ง k , $P(\tau_k)$ คือ กำลังของสัญญาณที่ตำแหน่ง k

3.11.2 ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (RMS delay spread (σ))

คำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_r = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2}$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2.40)$$

โดย σ_τ คือค่า RMS (Root Mean Square) delay spread

3.12 อัตราความผิดพลาดบิต (BER)

นิยามเป็นจำนวนบิตที่ผิดพลาดหารด้วยจำนวนบิตที่ส่งไปทั้งหมด ในที่นี้เรากำหนดให้สัญญาณดิจิทัลมี 2 ระดับ คือ $f_1(t)$ และ $f_2(t)$ กำหนดให้เมื่อส่งสัญญาณ $f_1(t)$ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อสัญญาณที่รับได้มีระดับมากกว่าหรือเท่ากับ 0 นั้น ขนาดของสัญญาณรบกวน $n(t)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 และกำหนดให้เมื่อส่งสัญญาณ $f_2(t)$ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อสัญญาณที่รับได้มีระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 นั้น ขนาดของ $n(t)$ จะมีขนาดเท่ากับ -1 ซึ่งอัตราความผิดพลาดบิตรวมจะหาได้จากค่าเฉลี่ยระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตของ $f_1(t)$ และ $f_2(t)$ (กำหนดให้มีความน่าจะเป็นของการเกิด $f_1(t)$ เท่ากับ $f_2(t)$) นั้นจะได้

$$BER = \frac{1}{2} [P(x \geq 1) + P(x \leq -1)] \quad (2.41)$$

และสมการของ BER

$$BER = Q(\sqrt{2(Eb/No)Cc}) \quad (2.42)$$

โดยที่
$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0$$

Eb/No = อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน

Cc = พิงก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

3.13 ช่องทางการแพร่กระจายสัญญาณ

ในระบบสื่อสารข้อมูล สื่อกลางในการรับส่ง ข้อมูลถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะสื่อกลางที่มีความแตกต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่ต่างกันออกไป ในการสื่อสารไร้สายมีการนำเอาอากาศมาเป็นสื่อกลางในการรับ-ส่ง ข้อมูลระหว่างภาครับและภาคส่ง ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของสื่อจึงเข้าไปที่อากาศ จากการประมาณค่ามีการตั้งสมมติฐานว่า ในสื่อชนิดเดียวกันแต่มีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณอาจไม่เท่ากันเสมอไป และอาจเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารความแตกต่างกัน

3.14 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation Mechanism)

การที่สัญญาณเดินทางผ่านช่องสัญญาณ ไปสู่ตัวรับนั้นบางครั้งช่องสัญญาณที่เดินทางไม่ได้เป็นอากาศอย่างเดียว สัญญาณยังเดินทางผ่านไปยังสิ่งกีดขวางทำให้รูปแบบของการเดินทางเปลี่ยนไปโดยทั่วไปแล้วแบ่งออก

3.14.1 การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณ (Diffraction)

เป็นการที่สัญญาณเดินทางผ่านสื่อกลางแล้วไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ในทิศทางเดิม จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนทิศทางโดยการอ้อมสิ่งกีดขวางนั้นไป

3.14.2 การแตกกระเจิงของสัญญาณ (Scattering)

เป็นการที่สัญญาณเดินทาง ไปชนกับผิวของวัตถุแล้วมีการแตกกระจายออกของสัญญาณออกไปในหลายๆทิศทาง

3.14.3 การสะท้อนของคลื่นสัญญาณ (Reflection)

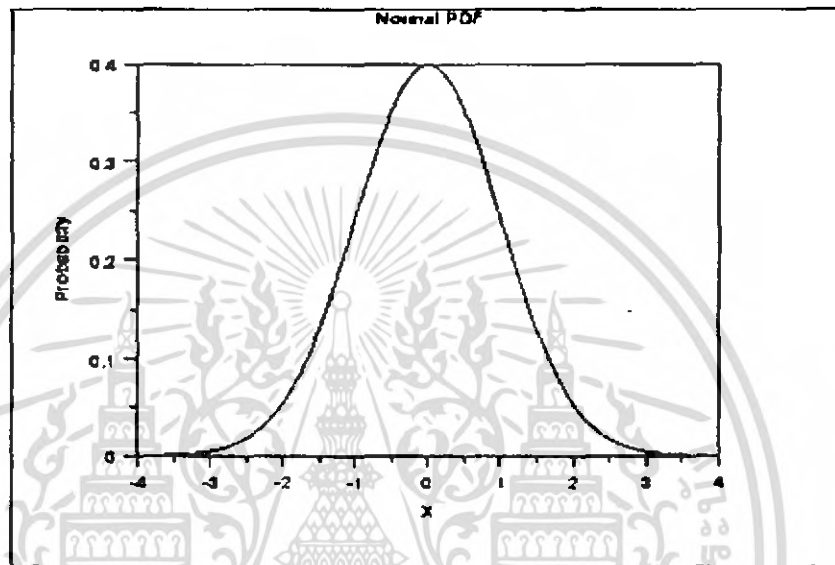
เป็นการที่คลื่นสัญญาณชนกับผิวของวัตถุแล้วมุมที่สะท้อนมีค่าเท่ากับมุมที่ตกกระทบ

3.15 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)

เป็นการแสดงค่าความน่าจะเป็นในเชิงสถิติของการที่จะเกิดของสัญญาณ โดยที่ดูจากความหนาแน่นที่เกิดโดยที่จุดที่มีความหนาแน่นสูงจะกำหนดให้มีค่าความน่าจะเป็นสูง โดยที่ค่าสูงสุดจะไม่เกิน 1 สำหรับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & r < 0 \end{cases}$$



รูปที่ 3.9 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี

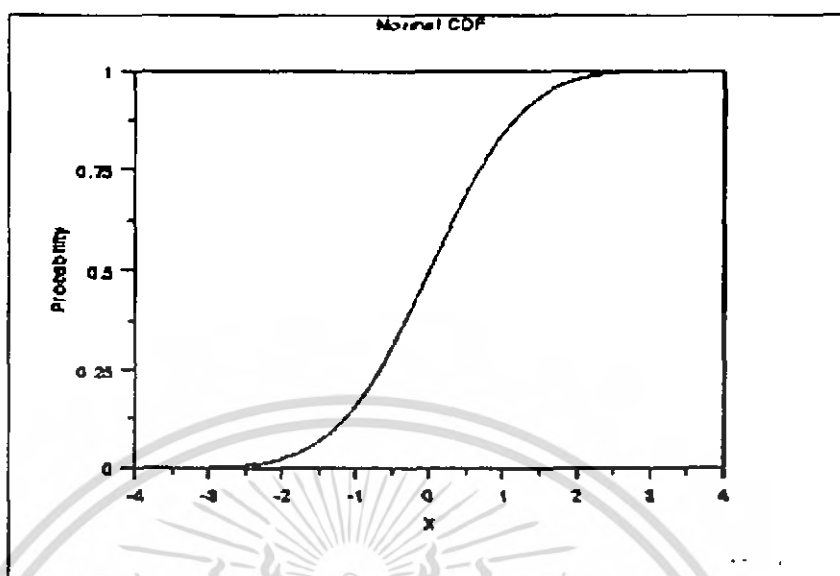
3.16 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน (Cumulative Distribution Function)

ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันเป็นการแสดงการกระจายที่มารวมกัน โดยจะดูที่ความชันของเส้นกราฟซึ่งในทางทฤษฎีเส้นกราฟจะมีความลิเนียร์ (Linear) แต่ในความเป็นจริงจะเป็นอย่างไรนั้นต้องดูจากผลการทดลองซึ่งค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันสามารถหาได้จาก

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

สำหรับสมการฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั้นเป็นส่วนกลับกันซึ่งเมื่อทราบตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถอีกตัวหนึ่งได้อย่างเช่นเมื่อเราทราบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเมื่อทำการอินทิกรัลสมการของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นก็จะได้ค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี

ซึ่งจะใช้สมการเหล่านี้มาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ สำหรับหลักการในการวิเคราะห์นั้น เมื่อทำการวัดสัญญาณ นำค่าสัญญาณที่ได้จากการทดลอง ไปหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งที่ดีที่สุด และเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นกับทฤษฎีเพื่อดูค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของปริยญาณิพนธ์นี้

3.17 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญในปริยญาณิพนธ์นี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณรวมไปถึงระบบการวัดสัญญาณซึ่งทำการวัดในโดเมนความถี่ และวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นไม่ว่าเป็น ผลการลดทอน การสูญเสียเชิงวิถี การบิดพลิ้วของรูปสัญญาณ จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อันเนื่องมาจากผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น

บทที่ 4

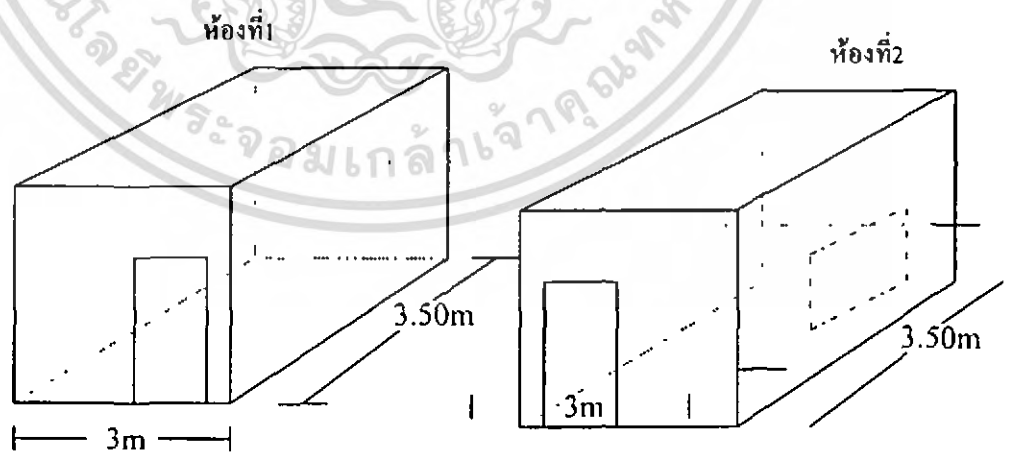
การออกแบบการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนและแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สาย สำหรับขั้นตอนในการวัดนั้น จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสถานะแวดล้อมที่ทำการวัด โดยในวิธานพจนันท์นี้จะทำการวิเคราะห์ในสถานะแวดล้อมระหว่างภายในอาคาร ซึ่งจะมีแบบจำลองการวัดอยู่หนึ่งแบบจำลอง

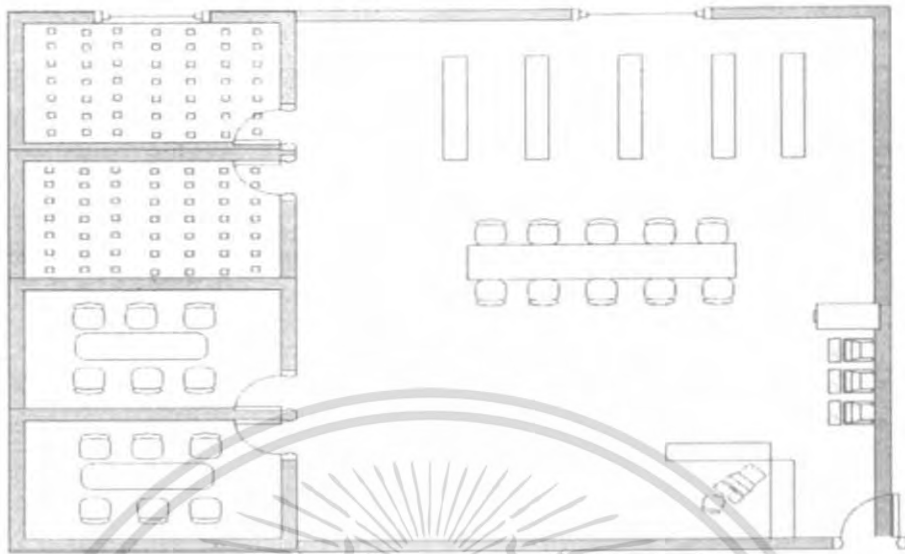
4.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณ

ในการออกแบบ แบบจำลองในการวัดค่าสัญญาณคลื่นสัญญาณในการทดลองได้ใช้ห้องสมุดภาควิศวกรรมสารสนเทศอาคาร E ชั้น ที่ 12 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นแบบจำลองมีความกว้างของห้อง 3 คูณ 3.50 เมตร โดยในการทดลองจะทดลอง 2 ห้อง โดยห้องที่ 2 จะมีกระจกอยู่ด้วย

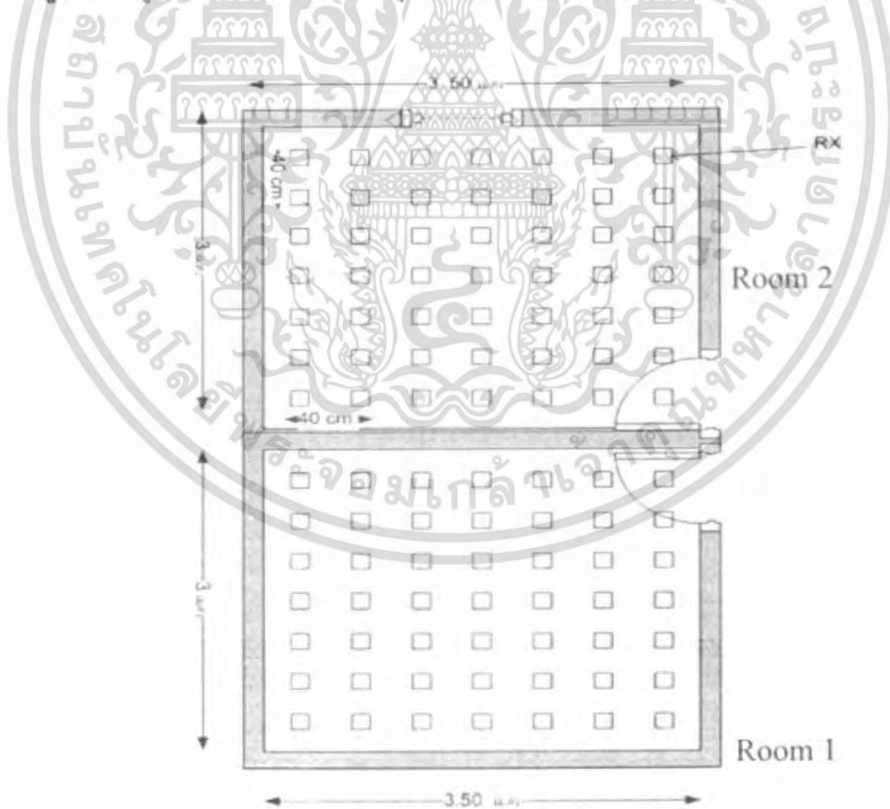


รูปที่ 4.1 รูปแบบจำลองห้องการทดลองระหว่างห้องที่ 1 กับห้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

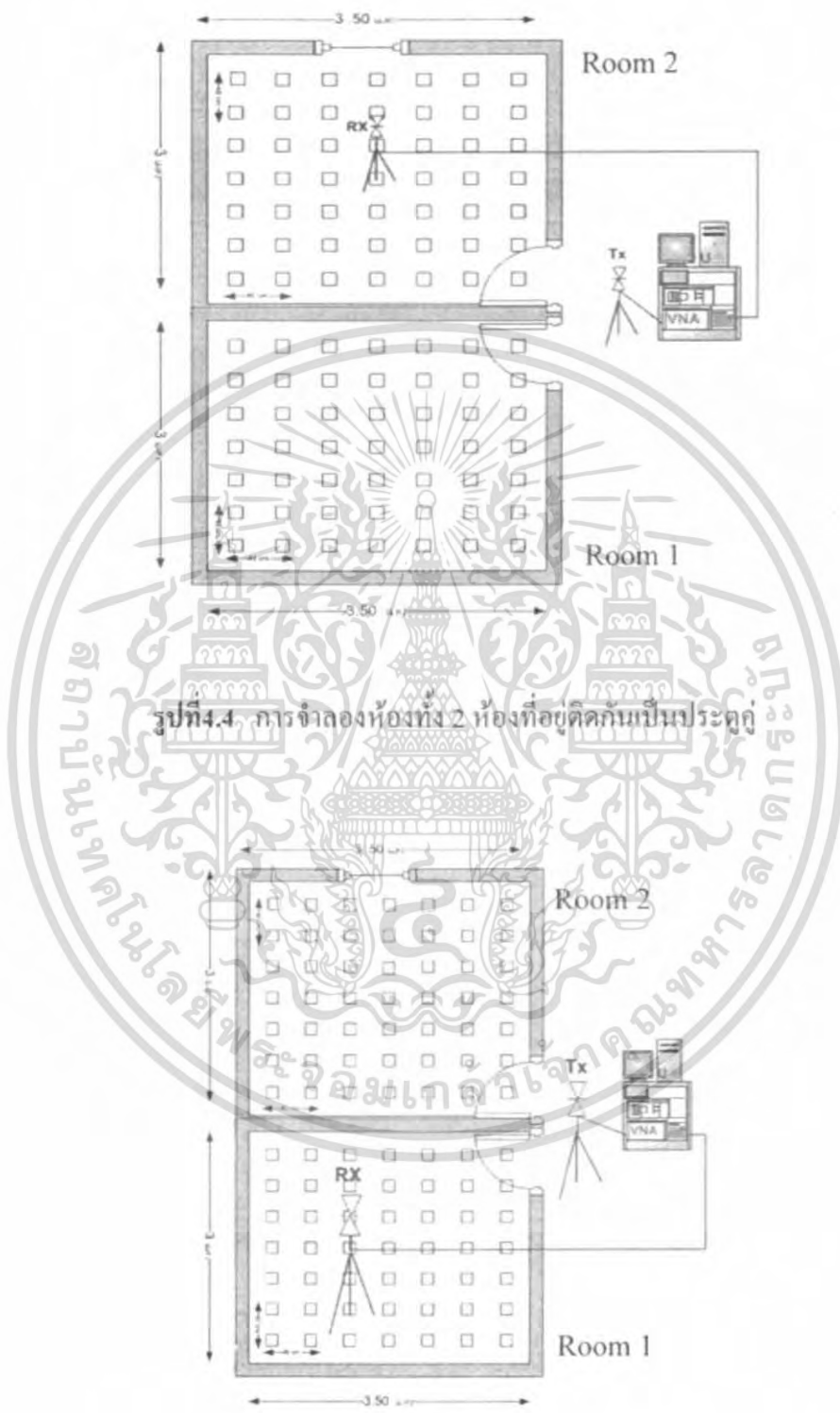


รูปที่ 4.2 รูปแบบลักษณะห้องสมุดกลางวิศวกรรมศาสตร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.3 การจำลองตำแหน่งการรับสัญญาณ Rx

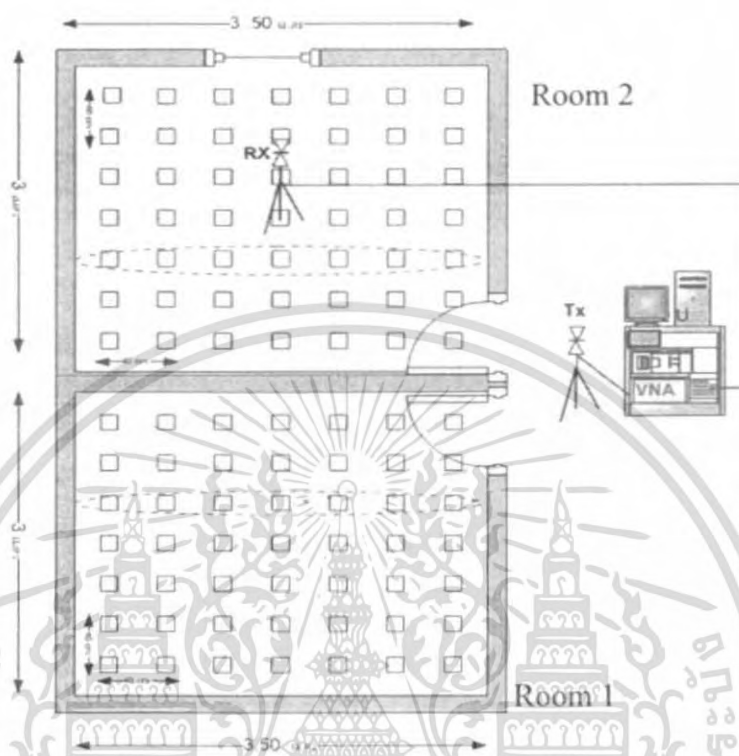
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การจำลองห้องทั้ง 2 ห้องที่ขุดคอกเป็นประตู

รูปที่ 4.5 รูปแบบการจำลองการวัดสัญญาณ Tx และ Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งทดลองของ Rx ที่นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

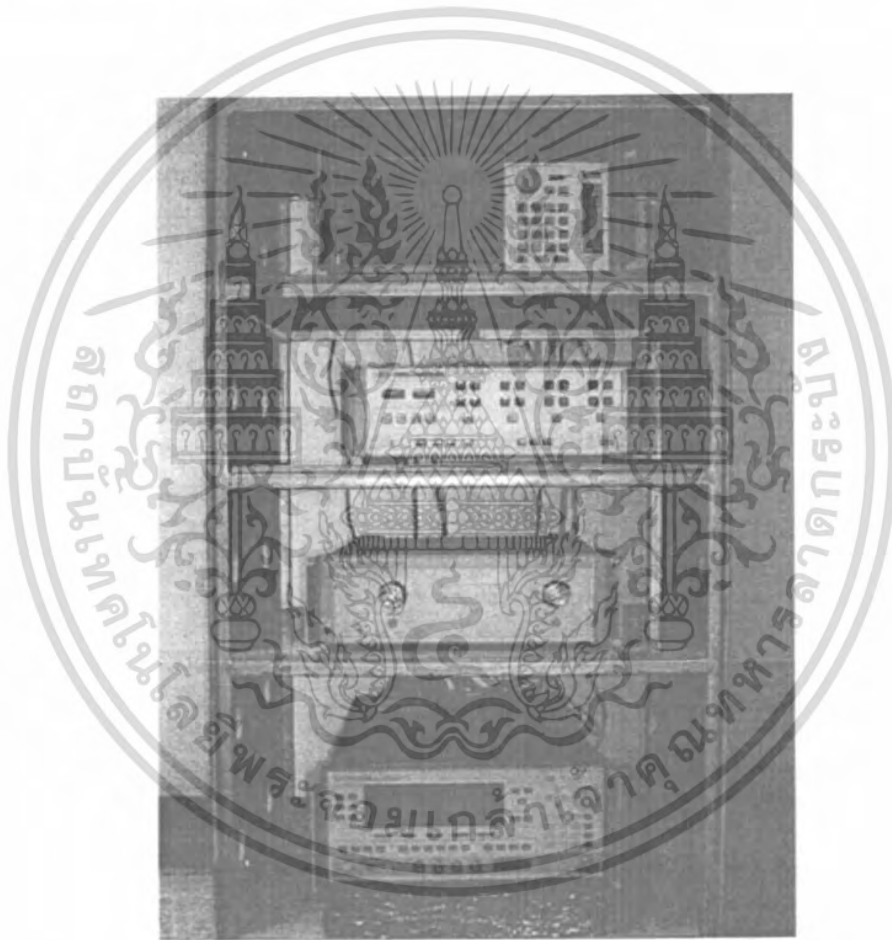


รูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่ทำกรการวัดสัญญาณ Rx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer)

ใช้ในการวัดสัญญาณวิทยุในโดเมนความถี่ โดยสัญญาณวิทยุจะถูกสร้างขึ้น ส่งและรับ โดยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ นี้ ซึ่งทำให้การจัดตั้งการวัดทำได้ค่อนข้างง่าย สัญญาณที่ส่งจะเป็นชุดของสัญญาณรูปไซน์ที่มีแถบความถี่แคบ ๆ กระจายตัวครอบคลุมตลอดทั้งแถบความถี่ที่ต้องการ ผลที่ได้จากเครื่องวัดนี้เรียกว่า S21-parameter หรือก็คือผลตอบสนองความถี่ต่อย่านความถี่ของช่องสัญญาณนั่นเอง



รูปที่ 4.8 เครื่อง Vector Network Analyzer

4.4 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)

ลักษณะการแพร่กระจายเป็นแบบทุกทิศทาง (Omni directional) สามารถคำนวณหาสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{2L^2}{\lambda}$$

สนามระยะไกลที่สุด $\lambda = c / f_{\max}$ เมื่อ f_{\max} มีค่าเท่ากับ 11 GHz, L มีค่าเท่ากับ 7.636 เซนติเมตร, c มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

ดังนั้น $R = \frac{2 \times (7.636 + 7.636)^2 \times 10^{-4} \times (11 \times 10^9)}{3 \times 10^8} = 1.71$ เมตร



รูปที่ 4.9 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศกรวยคู่ที่ใช้ปฏิบัติการ

4.5 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง

การทดลองที่

1

เรื่อง

รูปแบบการจำลองและการวัดภายในอาคารของวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับ โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาและกำหนดรูปแบบการจำลองและการวัด ภายในอาคารของวิทยุอิมพัลส์แบบ แถบกว้างยิ่งสำหรับ โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสัญญาณทั้งใน โดเมนความถี่ เวลาในย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	1. เครื่อง vector network analyzer VNA	1 เครื่อง
	2. สายอากาศแบบกรวยคู่: Biconical antennas	1 คู่
	3. สาย semi-rigid coaxial cable ยาว 5 เมตร	1 เส้น
	4. สาย semi-rigid coaxial cable ยาว 10 เมตร	1 เส้น
	5 ชุด calibrating tool kit	1 ชุด
	6. ชุดสำหรับติดตั้งสายอากาศทำจากเสาไม้บัลซาร์ พื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร สูง 1 เมตร	2 ชุด
	7. Personal computer with GPIB interface	1 เครื่อง
	8. แผ่นลดการสะท้อน. Absorber	

สถานที่ทดลอง อาคาร 12 ชั้น ห้องสมุดภาควิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมสถานที่ในการทดลอง กำหนดสภาพแวดล้อมเป็นห้องโล่ง ปราศจากสิ่งกีดขวาง
 - 1.1 กำหนดอาณาเขตในการตั้งสายอากาศ (measurement grid) ตัวรับ
ดังรูปที่ 3.2 โดยกำหนดตำแหน่งในการติดตั้ง จำนวน 98 จุด แต่ละ
จุด ห่างกันเป็นระยะทาง 40 เซนติเมตร
 - 1.2 ติดตั้งเสาอากาศตัวส่งที่จุดกึ่งกลางระหว่างหน้าประตูห้องทดลองทั้ง 2
ห้อง กำหนดตำแหน่งระยะ อ้างอิงที่ 2.5-7 เมตร พร้อมทั้งวัดระยะทาง
จากตำแหน่งที่ติดตั้งสาย อากาศตัวส่งไปยังแต่ละตำแหน่งที่จะทำการ
ติดตั้งสายอากาศตัวรับในแต่ละจุดภายในห้อง
 - 1.3 บันทึกระยะทางที่ได้จากถารวัด
2. จัดเตรียมเครื่องมือวัด
 - 2.1 ทำการอุ่นเครื่อง vector network analyzer ประมาณ 3 ชั่วโมง
 - 2.2 ติดแผ่นลดการสะท้อนรอบเครื่อง vector network analyzer
 - 2.3 ทำการ calibrate แบบ full two-port เครื่องมือวัดเข้ากับสาย Coaxial
cable ทั้ง 2 เส้น โดยกำหนดย่านความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz, จำนวน
จุดความถี่ (number of frequency points) ไว้ที่ 801 จุดพร้อมบันทึก
ค่าที่การทดลอง

2.4 ติดตั้งเข้ากับ port1 และสายอากาศตัวรับเข้ากับ port2 ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เริ่มทำการวัดโดยเลือก S_{11} -parameter
4. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลองที่ได้ไว้ที่ฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้บันทึกค่าติดต่อกัน 3 ครั้ง (3 snapshots) ต่อการวัดแต่ละจุด
5. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

4.6 ปัจจัยที่กำหนดในการวัดสัญญาณ

ตาราง Parameter

Parameter	Value
Frequency range	3GHz to 11GHz
Number of frequency points	801
Dynamic power range	80db
Tx antenna height	1.5m
Rx antenna height	1.5m
Distance between Tx and Rx	2.5-7m
Antenna type	Biconical

4.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีแบบจำลองมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศด้านรับเพื่อวิเคราะห์โดยโครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและบันทึกในโดเมนความถี่เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในห้องทั้ง 2 ห้อง ซึ่งทั้ง 2 ห้องมีการจำลองรูปแบบที่เหมือนกันที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 4 จากนั้นจะทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายการส่งผ่าน ค่าภาพหน้าตัด ข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ และอัตราความผิดพลาดบิต และจะนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองทั้งสองห้องมาทำการเปรียบเทียบและปรับปรุงค่าอัตราส่วนสัญญาณรบกวนโดยใช้แมตซ์ฟิลเตอร์ ซึ่งรายละเอียดของผลการวิเคราะห์จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

5.2 สัญญาณอินพุต (Input signal)

จากการประยุกต์ใช้สมการการส่งสัญญาณของฟรีส (Friis's Transmisson Formula) ทำให้จำเป็นต้องมีสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางด้านส่งเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้จากทางด้านรับเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ระบบที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณข้อมูล

รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบนี้ใช้สัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular Pulse) ซึ่งเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_r(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (5.1)$$

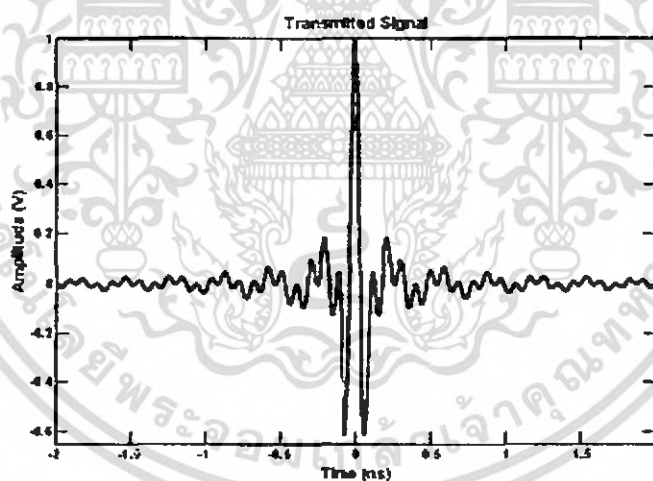
โดยที่

$V_r(t)$	แทนสัญญาณอินพุต
f_b	แทนค่าของช่วงความถี่ที่ใช้ (7.5 GHz)
f_{\max}	แทนค่าความถี่สูงสุดที่ใช้ในระบบ (10.6 GHz)
f_{\min}	แทนค่าความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในระบบ (3.1 GHz)
t	แทนค่าเวลา

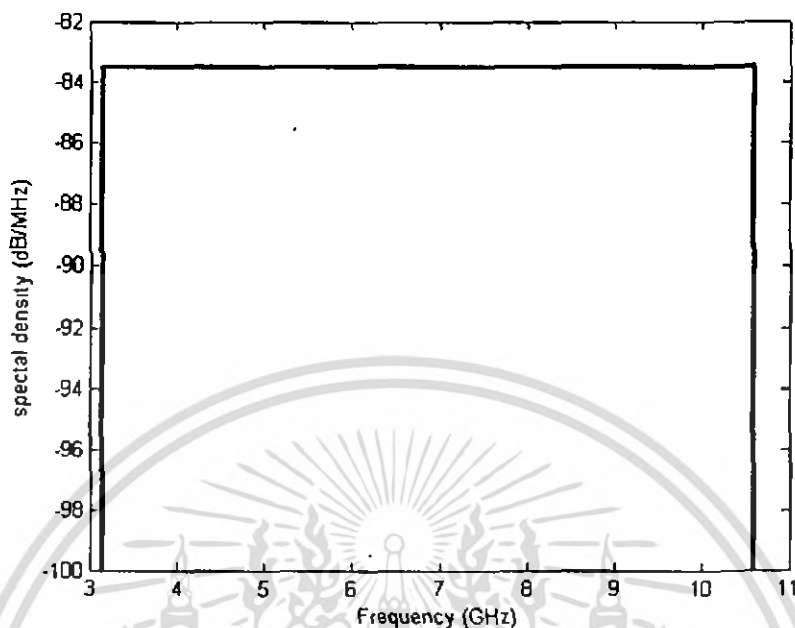
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การวิเคราะห์ผลจากสัญญาณอินพุต

สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบนี้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการวิจัย วิเคราะห์รูปแบบการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อมีการส่งผ่านช่องทางไปสู่ตัวรับ จุดเด่นของสัญญาณนี้ที่นำมาใช้ในการวิจัยได้แก่ การมีค่าของระดับสัญญาณเท่ากันทุกจุดเมื่ออยู่ในย่านความถี่ (Frequency Domain) การมีการกระจายตัวของแถบความถี่ที่ทั่วถึงตลอดช่วง (Maximum bandwidth) ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3 GHz ~ 10.6 GHz ได้ใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular pass band pulse) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของช่องสัญญาณ โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{min}) เท่ากับ 3.1 GHz ความถี่สูง (f_{max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz โดยสมการของรูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมแสดงดังสมการที่ 5.1 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งของ สัญญาณแถบกว้างยิ่งและขนาดของฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการส่งของ สัญญาณแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 5.2 พังค์ชั้นความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่ใช้ส่งของแถบกว้างยิ่ง

5.3 การวิเคราะห์สัญญาณ

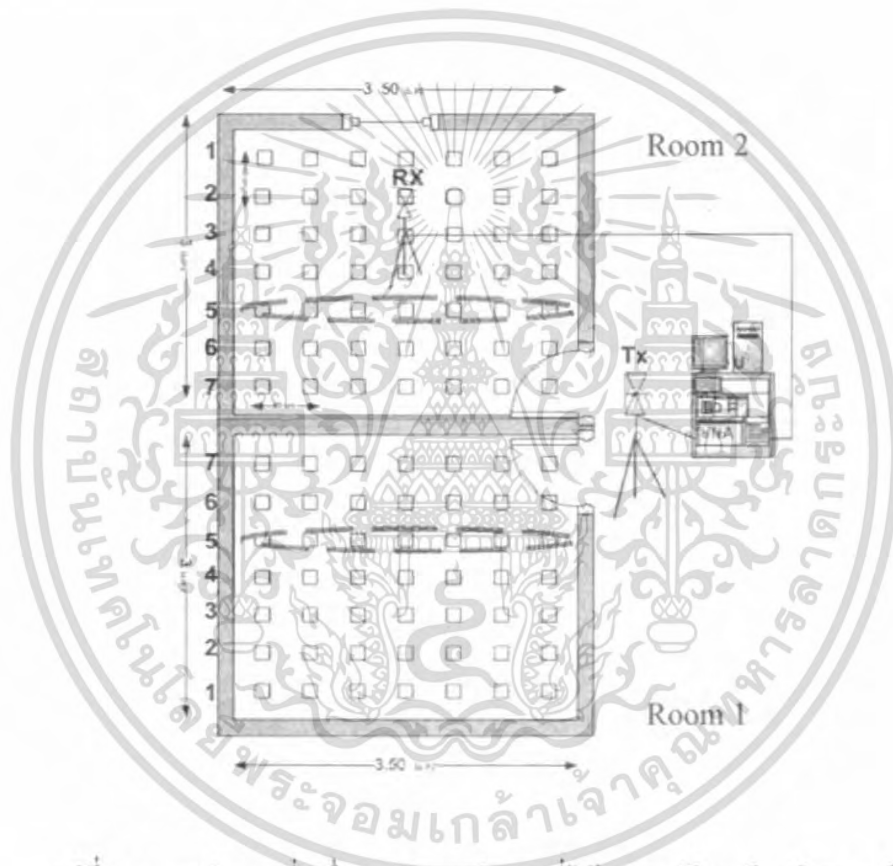
สิ่งที่ได้จากการวัดทดสอบสัญญาณ คือ ค่าของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ที่ 3 GHz ถึง 11 GHz ซึ่งเราได้นำผลนี้ไปทำการวิเคราะห์โดยประยุกต์ร่วมกับรูปสัญญาณที่ได้สร้างขึ้น ผลการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปแบบของค่าเมกนิจูด (Magnitude) และเฟส (Phase) ของฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่, ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ค่าการขยายการส่งผ่าน (Transmission gain) ค่าอัตราความผิดพลาด (BER) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) และภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ (Power Delay Profile)

5.4 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณ

5.4.1 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 1

ในแบบจำลองที่ 1 นี้กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งอยู่นอกห้องทดลอง และสายอากาศทางด้านรับอยู่ภายในห้องทดลองที่ 1 และจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดของสายอากาศด้านรับไปตามตำแหน่งละ 0.4 เมตร โดยระหว่างสายอากาศส่งและรับจะมีระยะทาง 2.56 เมตร และความสูงทั้งสองด้านอยู่ที่ 1.5 เมตร สายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

โดยค่าพารามิเตอร์บางค่าจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟในบางจุดการวัดเท่านั้นและจะแสดงเป็นตารางในทุกๆ จุดการวัดเนื่องจากถ้านำมาแสดงเป็นกราฟทุกจุดการวัดจะทำให้ยากต่อการพิจารณา เพราะในรูปแบบที่หนึ่งจะทำการวัดทั้งหมด 49 จุด การวัดผล [5] โดยที่รูปที่ 5.3 แสดงรูปแบบตำแหน่งแถวที่ได้นำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์การอ้างอิงตัวเลขตำแหน่งของผลวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 แบบจำลองที่หนึ่งและตำแหน่งแถวที่ได้นำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ ทั้ง 2 ห้อง

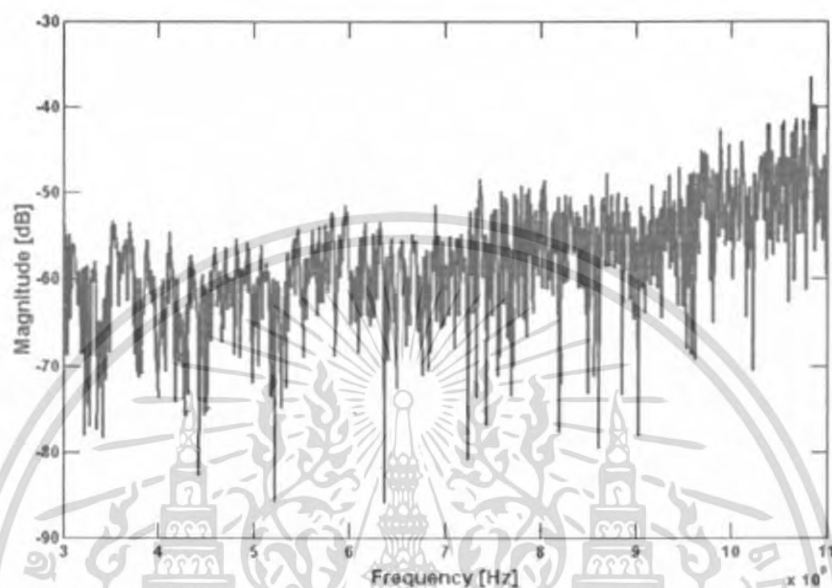
ระยะห่างตำแหน่งแต่ละตำแหน่งจากสายอากาศส่งยังสายอากาศรับ ห่างกันที่ 2.5-7 เมตร และระยะห่างระหว่างจุดทางด้านรับ 0.4 เมตร โดยทำการสุ่มจุดที่ [5, 7]

5.4.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณแอมบว้างยิ่ง

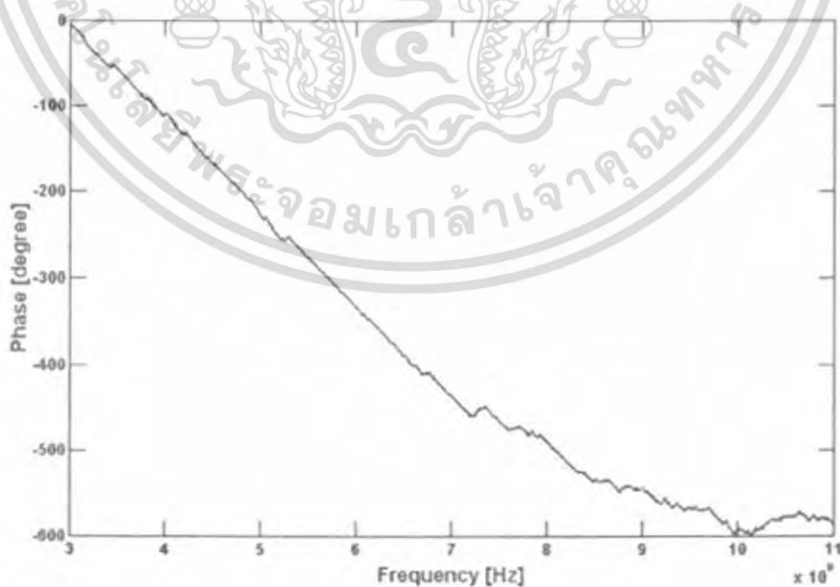
ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณของแบบจำลองที่หนึ่งนี้ได้แสดงผลของจุด [5, 7] ซึ่งอ้างอิงจากรูปที่ 5.3 คือระยะทาง 2.5-7 เมตร โดยรูปที่ 5.4 แสดงขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณและรูปที่ 5.5 แสดงเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณและจะสังเกตได้ว่าเฟสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความถี่ตั้งแต่ 7 GHz เริ่มจะ ไม่เป็นเชิงเส้นอาจเกิดจากสภาวะแวดล้อมในห้องมีผลกระทบต่อตัวสายอากาศ



รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดค่าในตำแหน่งที่ 5 โดยระยะทางที่ 2.5-7 เมตร

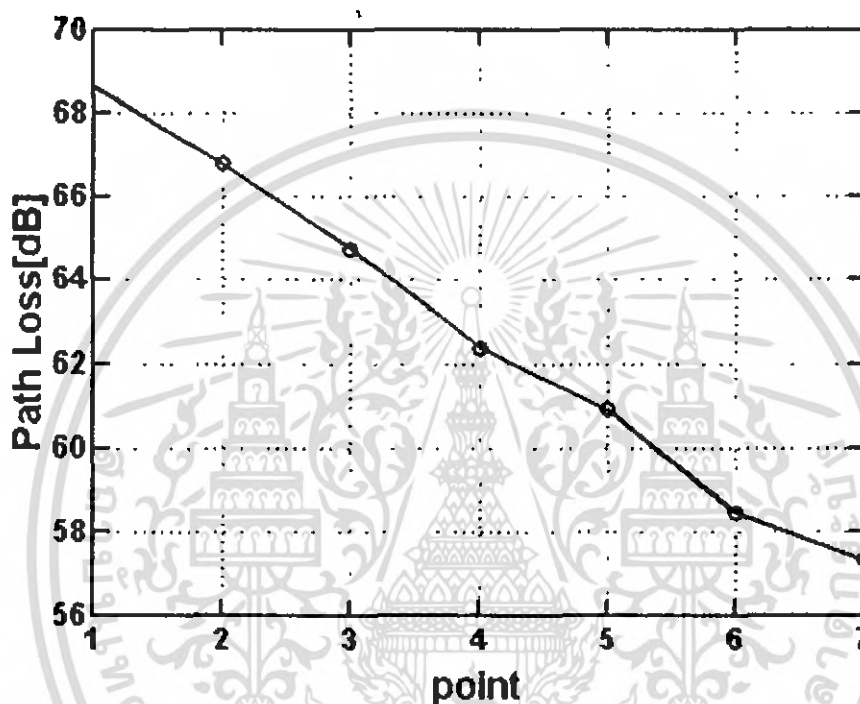


รูปที่ 5.5 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดจุดที่ [5, 7] ของห้องที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.2 การสูญเสียเชิงวิถี

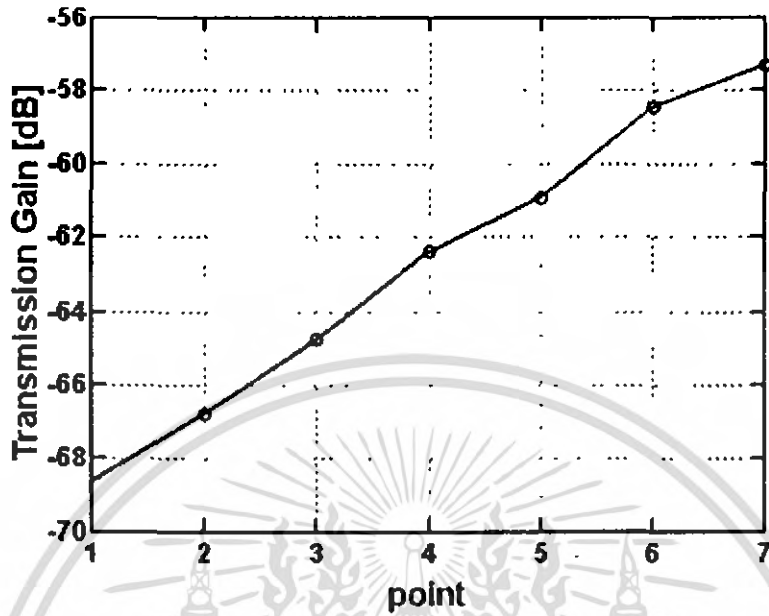
ในรูปที่ 5.6 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] จะเห็นว่ามีการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำเพราะตำแหน่งของ [5, 7] อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ Tx มากที่สุด



รูปที่ 5.6 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] ห้องที่ 1

5.4.1.3 อัตราขยายการส่งผ่าน

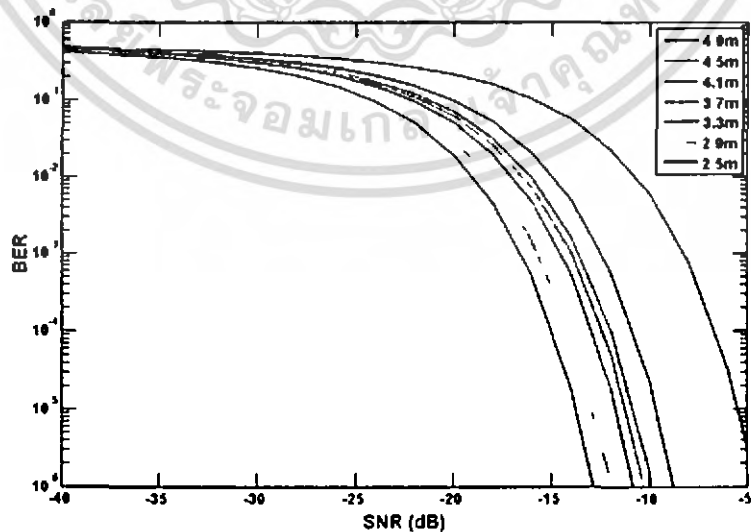
ในรูปที่ 5.7 แสดงค่าอัตราการขยายการส่งผ่านของ [5, 7] จะเห็นได้ว่าการอัตราการขยายที่มากกว่า แลวอื่นเพราะ [5, 7] นั้นมีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายในห้องและด้วยอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้สายอากาศด้านส่งสัญญาณจึงทำให้มีค่าอัตราการขยายมากกว่าตำแหน่งอื่น



รูปที่ 5.7 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านของ [5, 7] ห้องที่ 1

5.4.1.4 อัตราความผิดพลาด

ในรูปที่ 5.8 เป็นการแสดงค่าอัตราความผิดพลาดของแถวที่ 5 ห้องที่หนึ่งทั้งหมด โดยระยะทางที่ 2.5 เมตร จะมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเพราะอยู่ใกล้สายอากาศด้านส่งสัญญาณ Tx

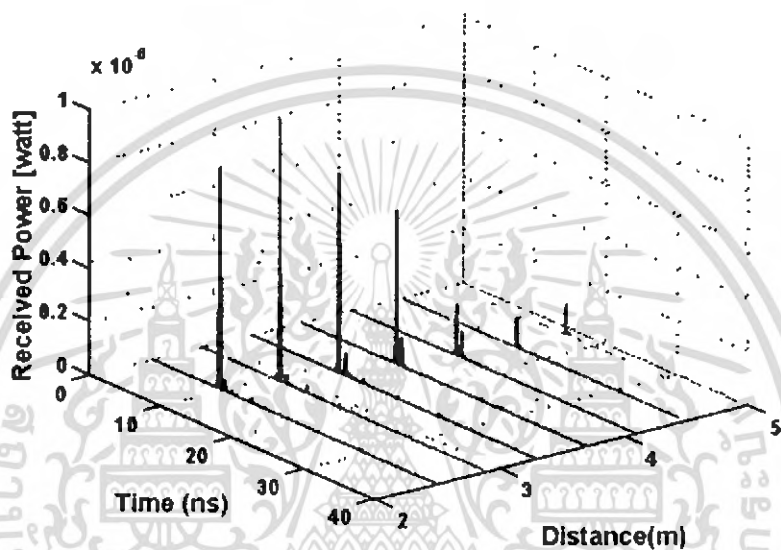


รูปที่ 5.8 ค่าอัตราความผิดพลาดของแถวที่ 5 ห้องที่ 1

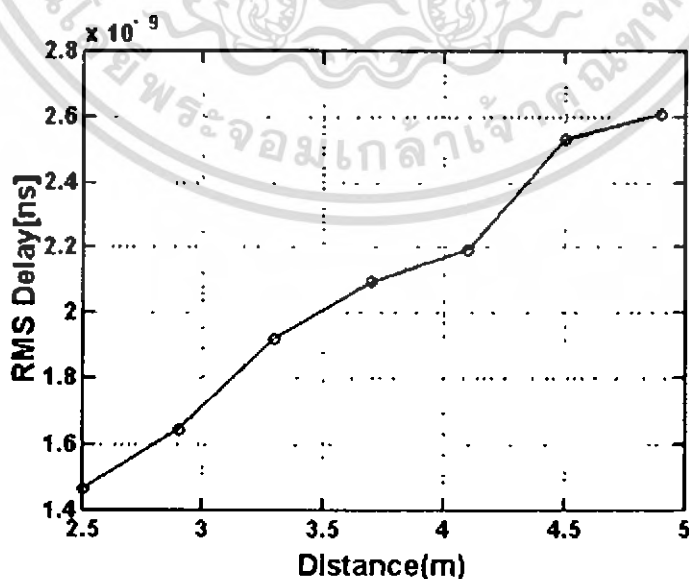
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

การแสดงผลในหัวข้อนี้จะแสดงผลจากการวัดด้วยสายอากาศแบบกรวยคู่ จะแสดงถึงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณที่แปรเปลี่ยนไปตามระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 5 เมตร ระหว่างจุดที่ [5, 7] ซึ่งจะแสดงในรูปของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ถึง 5.10 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่าง ๆ และ ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่างๆ



รูปที่ 5.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่าง ๆ

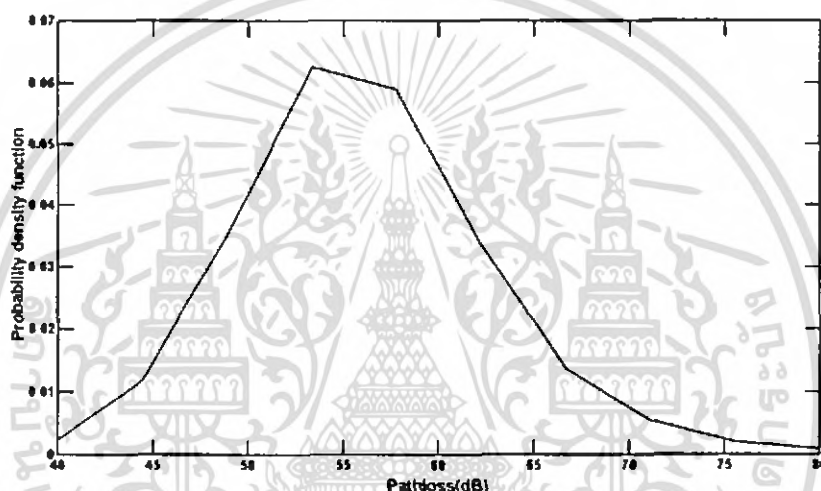


รูปที่ 5.10 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.6 ผลของการทดลองของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

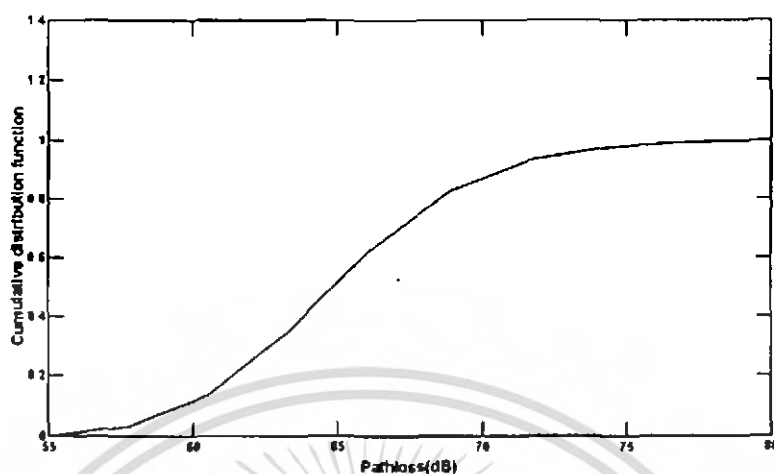
สำหรับค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น คือ การที่นำเสนอในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการเกิด โดยที่ดูการกระจายของสัญญาณแต่ละจุด เมื่อดูจากรูปก็จะเห็นว่า การเกิดของของการวัดที่ระยะ 2 เมตร ถึง 7 เมตร ทั้งหมด 49 จุด จากการได้ทำการศึกษผลของการทดลองนี้เป็นคังรูปข้างต้น ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างกับแนวทฤษฎีมีความโค้งที่ไม่ได้รูป มีการบิดเบี้ยวซึ่งอาจเกิดจากการผลกระทบของสภาพแวดล้อมของการวัด อย่างเช่นฝาผนังในห้องที่



รูปที่ 5.11 ความหนาแน่นและความน่าจะเป็นของห้องที่ 1

5.4.1.7 ผลการทดลองของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน

ส่วนการรวมกันของการกระจาย คือการแสดงในเชิงสถิติเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นในลักษณะการรวมตัวกันของจุดต่างซึ่งจะเป็นเส้นชั้น ลักษณะการเกิดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความน่าจะเป็นของความหนาแน่น แต่จะดูที่ความลิเนียร์ของเส้นกราฟจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่ากราฟจะมีความลิเนียร์ที่ดีที่สุดตามหลักทฤษฎี

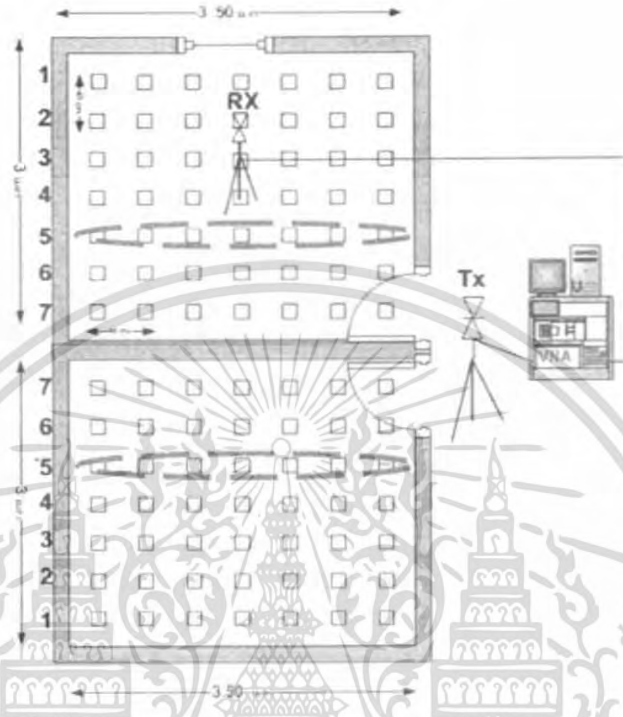


รูปที่ 5.12 การกระจายร่วมกันของห้องที่ 1

5.4.2 ผลจากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบจำลองที่ 2

ในแบบจำลองที่ 2 นี้กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งอยู่นอกห้องทดลอง และสายอากาศทางด้านรับอยู่ภายในห้องทดลองที่ 2 และจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดของสายอากาศด้านรับไปตามตำแหน่งละ 0.4 เมตร โดยระหว่างสายอากาศส่งและรับจะมีระยะทาง 2.5-7 เมตร และความสูงทั้งสองด้านอยู่ที่ 1.5 เมตร สายอากาศทั้งสองเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

โดยค่าพารามิเตอร์บางค่าจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟในบางจุดการวัดเท่านั้น และจะแสดงเป็นตารางในทุกๆ จุดการวัดเนื่องจากถ้านำมาแสดงเป็นกราฟทุกจุดการวัดจะทำให้ยากต่อการพิจารณา เพราะในรูปแบบที่หนึ่งจะทำการวัดทั้งหมด 49 จุด การวัดผล [5] โดยที่รูปที่ 5.13 แสดงรูปแบบตำแหน่งแถวที่ได้นำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์อ้างอิงตัวเลขตำแหน่งของผลวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

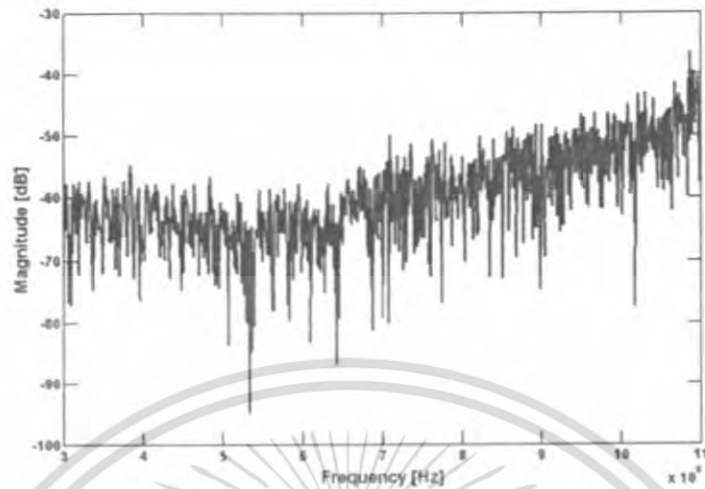


รูปที่ 5.13 แบบจำลองที่หนึ่งและตำแหน่งแนวที่ได้นำมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ ในห้องที่สอง

5.4.2.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณของแบบจำลองที่หนึ่งนี้ ได้แสดงผลของจุด [5, 7] ซึ่งอ้างอิงจากรูปที่ 5.3 คือระยะทาง 2.5-7 เมตร โดยรูปที่ 5.14 แสดงขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณ และรูปที่ 5.15 แสดงเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และจะสังเกตได้ว่าเฟสในช่วงความถี่ตั้งแต่ 5 GHz เริ่มจะไม่เป็นเชิงเส้นอาจเกิดจากสายนำสัญญาณไม่รองรับในช่วงความถี่ที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดค่าในตำแหน่งที่ 5 โดยระยะทางที่ 2.5-7 เมตร

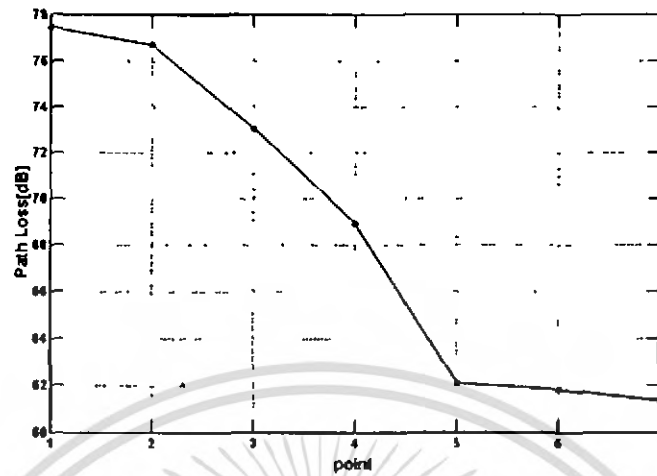


รูปที่ 5.15 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านที่ได้จากการวัดจุดที่ [5, 7] ของห้องที่ 2

5.4.2.2 การสูญเสียเชิงวิถี

ในรูปที่ 5.16 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] จะเห็นว่ามีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำ เพราะตำแหน่งของ [5, 7] อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ Tx มากที่สุด

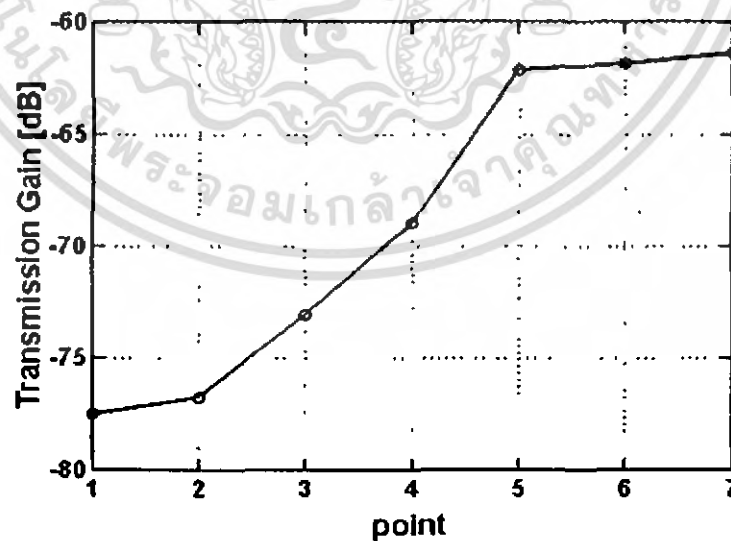
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของ [5, 7] ห้องที่ 2

5.4.2.3 อัตราขยายการส่งผ่าน

ในรูปที่ 5.17 แสดงค่าอัตราขยายการส่งผ่านของ [5, 7] จะเห็นได้ว่าการอัตราขยายที่มากกว่า แดวอื่นเพราะ [5, 7] นั้นมีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายในห้องและช่วยอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้สายอากาศส่งจึงทำให้มีค่าอัตราขยายมากกว่าตำแหน่งอื่น

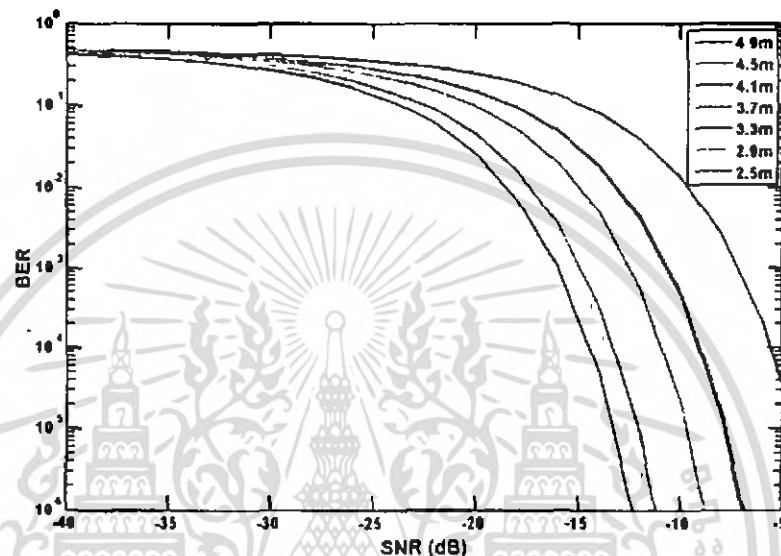


รูปที่ 5.17 ค่าอัตราขยายการส่งผ่านของ [5, 7] ห้องที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.4 อัตราการผิดพลาดบิต

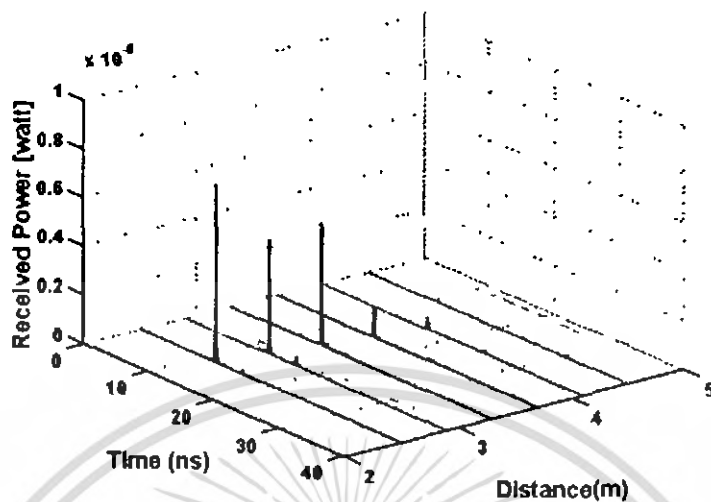
ในรูปที่ 5.18 เป็นการแสดงค่าอัตราความผิดพลาดของแถวที่ 5 ห้องที่หนึ่งทั้งหมด โดยระยะทางที่ 2.5 เมตร จะมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเพราะอยู่ใกล้เสาอากาศส่งสัญญาณ Tx



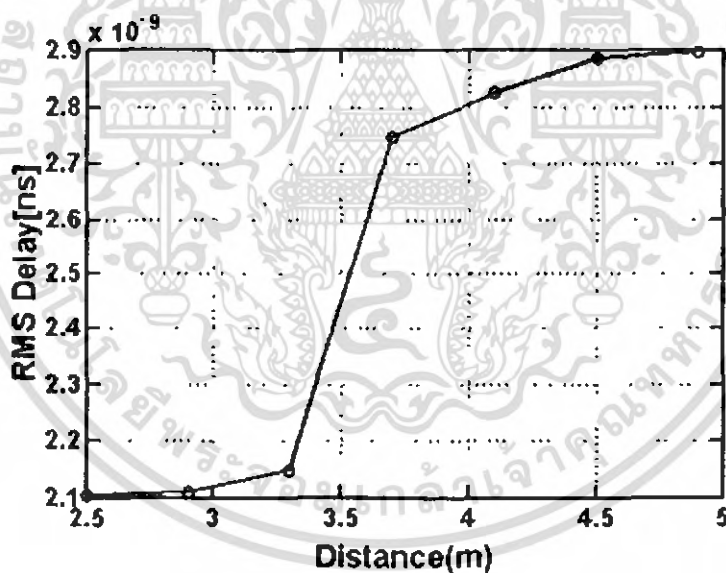
รูปที่ 5.18 ค่าอัตราความผิดพลาดของตำแหน่งที่ 5 ห้องที่ 2

5.4.2.5 ค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

การแสดงผลในหัวข้อนี้จะแสดงผลจากการวัดด้วยเสาอากาศแบบกรวยคู่ จะแสดงถึงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณที่แปรเปลี่ยนไปตามระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 5 เมตร ระหว่างจุดที่ [5, 7] ซึ่งจะแสดงในรูปของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 5.19 ถึง 5.20 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่าง ๆ และ ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่างๆ ในห้องที่ 2



รูปที่ 5.19 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในระยะทางต่างๆ

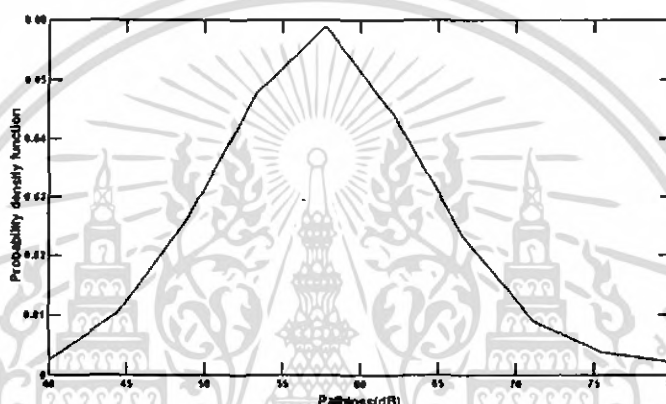


รูปที่ 5.20 ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณในระยะทางต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.5 ผลการทดลองฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

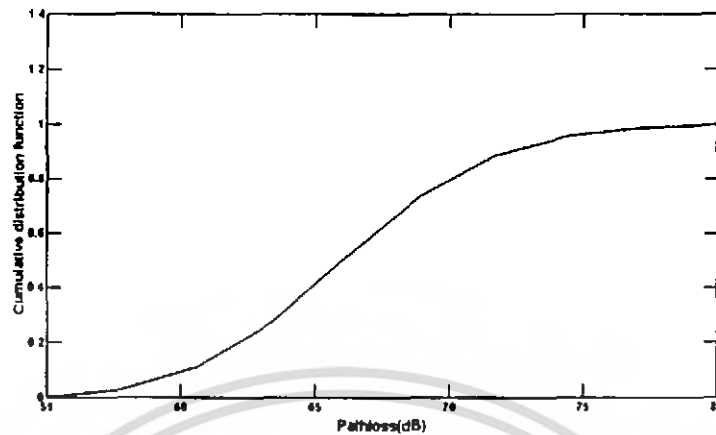
สำหรับค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น คือ การที่นำเสนอในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการเกิด โดยที่ดูการกระจายของสัญญาณแต่ละจุด เมื่อดูจากรูปก็จะเห็นว่าการเกิดของการวัดที่ระยะ 2 เมตร ถึง 7 เมตร ทั้งหมด 49 จุด จากการได้ทำการศึกษผลของการทดลองนี้เป็นดังรูปข้างต้น ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างกับแนวทฤษฎีมีความโค้งที่ไม่ได้รูป มีการบิดเบี้ยวซึ่งอาจเกิดจากการผลกระทบของสภาพแวดล้อมของการวัด อย่างเช่นฝาผนังในห้องที่ 2



รูปที่ 5.21 ความหนาแน่นและความน่าจะเป็นของห้องที่ 2

5.4.2.6 ผลของการทดลองฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน

ส่วนการรวมกันของการกระจาย คือการแสดงในเชิงสถิติเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นในลักษณะการรวมตัวกันของจุดต่างซึ่งจะเป็นเส้นชั้น ลักษณะการเกิดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความน่าจะเป็นของความหนาแน่น แต่จะดูที่ความลิเนียร์ของเส้นกราฟจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่ากราฟจะมีความลิเนียร์ที่ไม่ค่อยยึดตามหลักทฤษฎี



รูปที่ 5.22 การกระจายร่วมกันของห้องที่ 2

5.5 สรุปการทดลอง

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองในสภาวะแวดล้อมระหว่างห้องจำลองทั้งสองห้อง โดยได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ฟังก์ชันถ่ายโอน ช่องสัญญาณ อัตราการขยายการส่งผ่าน การสูญเสียเชิงวิถี อัตราการผิดพลาดบิต และค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ซึ่งบทสรุปและข้อเสนอแนะของปริญญาณิพนธ์นี้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์นี้ ได้พิจารณาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างซึ่งที่เกิดจากผลกระทบของสภาวะแวดล้อมการใช้งานภายในอาคาร โดยอาศัยพื้นฐานของการวัดค่าจริง ในสภาวะแวดล้อมระหว่างห้อง ซึ่งได้ทำการวัดและทดสอบที่อาคารเรียนตึก E ชั้น 12 ห้องสมุดภาควิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้จำลองการวัดออกเป็นสองห้อง โดยจะมีจุดรับสัญญาณในห้องอยู่ 49 จุด 7 แถว 7 หลัก แต่เครื่องส่งสัญญาณอยู่นอกห้อง โดยอยู่ระหว่างประตูการทดลองทั้งสองห้อง โดยแบบจำลองทั้งสองห้องเป็นแบบเดียวกัน แต่ห้องที่อยู่กำแพงจะเป็นกระจก อยู่ด้านหนึ่ง ซึ่งแบบจำลองทั้งสองห้องนั้น ได้แสดงให้เห็นในบทที่ 4 ส่วนผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในบทที่ผ่านมา และในบทนี้จะทำการสรุปผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของทั้งสองห้องในรูปแบบจำลองเดียวกัน

6.2 สรุปผลจากการวัดและวิเคราะห์สัญญาณของรูปแบบการจำลองในห้องที่ 1

เปรียบเทียบกับห้องที่ 2

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณสามารถสรุปได้ว่า คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศด้านส่งไปยังตำแหน่งของสายอากาศด้านรับที่กำหนดไว้โดยผ่านสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงทำให้ระบบแรงดันและลักษณะของสัญญาณที่รับได้ก็จะมีแตกต่างกันไปด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากคุณลักษณะการลดทอนของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น อันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นที่มาจากทิศทางต่างๆ โดยมีเฟสที่ต่างกันทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลง และอาจเกิดการหักล้างนั่นเองของสัญญาณได้ หรือเกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างทำให้สัญญาณ ที่รับได้มีขนาดที่ลดลง

จากการวิเคราะห์สัญญาณในแบบห้องจำลองที่ 1 ในรูปที่ 5.6 และแบบห้องจำลองที่ 2 ในรูปที่ 5.14 เมื่อเทียบค่าสัญญาณการการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่าแบบห้องจำลองที่ 1 โดยดูจากกราฟการทดลองการวัดค่าสูญเสียเชิงวิถี รูปที่ 5.6 และ 5.14 จะเห็นว่าเมื่อเทียบการวัดในจุดที่ 7 ของแบบห้องจำลองที่ 1 และที่ 2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีของแบบห้องจำลองที่ 2 จะมีการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่าห้องแบบจำลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อเทียบค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล ในรูปที่ 5.7 และแบบห้องจำลองที่ 2 ในรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าแบบห้องจำลองที่ 1 และแบบห้องจำลองที่ 2 ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล เริ่ม แยกต่าง กัน ในจุดการวัดที่ 5 ค่าที่ได้จากการวัดของแบบห้องทดลองที่ 1 และแบบห้องทดลองที่ 2 ต่างกัน ตรง ความยาวของ จุด สายส่งสัญญาณ และด้านรับสัญญาณ และห้องแบบทดลองที่ 2 หน้าต่าง กระจก ทำให้รูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไป อัตราขยายการส่งผ่านของทั้งสองห้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างระหว่างสายอากาศ โดยจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะมีบางตำแหน่งการวัดที่ไม่เป็นไปตามที่กล่าวข้างต้น คือที่ระยะใกล้กว่า อาจจะมีค่าอัตราขยายการส่งผ่านที่น้อยกว่าในระยะที่อยู่ไกล อาจเป็นผลมาจากการวางตำแหน่งของสายอากาศด้านรับในตำแหน่งนั้น เกิดการส่งผ่านทั้งกระจกหน้าต่างและโครงเหล็กที่เป็นขอบของ กระจกหน้าต่าง จึงมีผลทำให้กำลังงานของสัญญาณค่าลดลงมากกว่าตำแหน่งอื่น และจะเห็นได้ ว่า ในห้องที่หนึ่งที่นั้น ค่าอัตราขยายการส่งผ่านจะมีค่ามากกว่าในห้องที่สอง ซึ่งเป็นสืบเนื่องมาจาก ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณของแบบจำลองที่สองห้องที่มีผลของการสะท้อน ทำให้กำลังงานของสัญญาณลดลง จึงมีผลให้อัตราขยายการส่งผ่านไปด้วย

ค่าอัตราผิดพลาดบิตทั้งสองแบบจำลองมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศมีค่ามากขึ้น กล่าวคือเมื่อระยะทางมากขึ้นทำให้เกิดบิตข้อมูลที่ผิดพลาดมากขึ้น แต่จะมีบางตำแหน่ง การวัดที่มีค่าแตกต่างจากข้างต้น มีบางตำแหน่งการวัดที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศใกล้ๆ แต่มีบิต ข้อมูลที่ผิดพลาดมากกว่า และในผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นผลของอัตราผิดพลาดบิตที่ ระยะห่างระหว่างสายอากาศของทั้งสองห้องมีค่าเท่ากัน จะเห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตในแบบจำลองที่ สองจะมีค่ามากกว่าแบบจำลองที่หนึ่ง เป็นผลมาจากค่าสัมสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งใน การคำนวณหาอัตราผิดพลาดบิตจะนำค่าสัมสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปคำนวณด้วย เมื่อสัมสิทธิ์ สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่สองมีค่าน้อยกว่าจึงทำให้อัตราผิดพลาดบิตน้อยไปด้วย ส่วนการเพิ่ม ประสิทธิภาพของอัตราขยายการส่งผ่านได้โดยการใส่แมตซ์ฟิลเตอร์ที่ดีที่สุดภายในภาครับ โดยจะ เห็นว่าทั้งสองห้องมีค่าอัตราการขยายการส่งผ่านและค่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาวิจัยในการทดลองวัดการแพร่กระจายของสัญญาณแถบกว้างยิ่งในสภาวะ แวดล้อมที่ต่างกันภายในห้อง ทำให้เราได้ทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และผลกระทบที่มีต่อระบบ แถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว โดยหลักการและวิธีการวิเคราะห์ที่ได้เสนอในปริญญา นิพนธ์นี้มีค่าสูญเสียเชิงวิถี ค่าอัตราการส่งผ่านข้อมูล ค่าอัตราความผิดพลาดบิต ค่าภาพหน้าตัด ข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ก็จะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ ประโยชน์สำหรับการออกแบบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการสื่อสาร ไร้สายแถบกว้างยิ่ง ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะ

การวัดและการทดสอบสัญญาณในแบบห้องจำลองต่างๆควรมีจำนวนจุดของการเลื่อนระยะห่างระหว่างสายด้านส่งและด้านรับในจำนวนที่เท่าๆกันและถ้าเป็นไปได้ควรมีจุดในการวัดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อความละเอียดและถูกต้องของข้อมูลในการนำไปใช้อ้างอิงเพื่อใช้งานจริงได้ และขณะที่ทำการวัดในการเลื่อนจุดทุกครั้งผู้ที่ทำการเลื่อนจุดควรไม่อยู่ในห้องทดสอบเพื่อไม่ให้สัญญาณที่ส่งออกมามีผลกระทบต่อร่างกายและค่าการทดลองที่ผิดเพี้ยน เนื่องมาจากร่างกายของผู้ทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

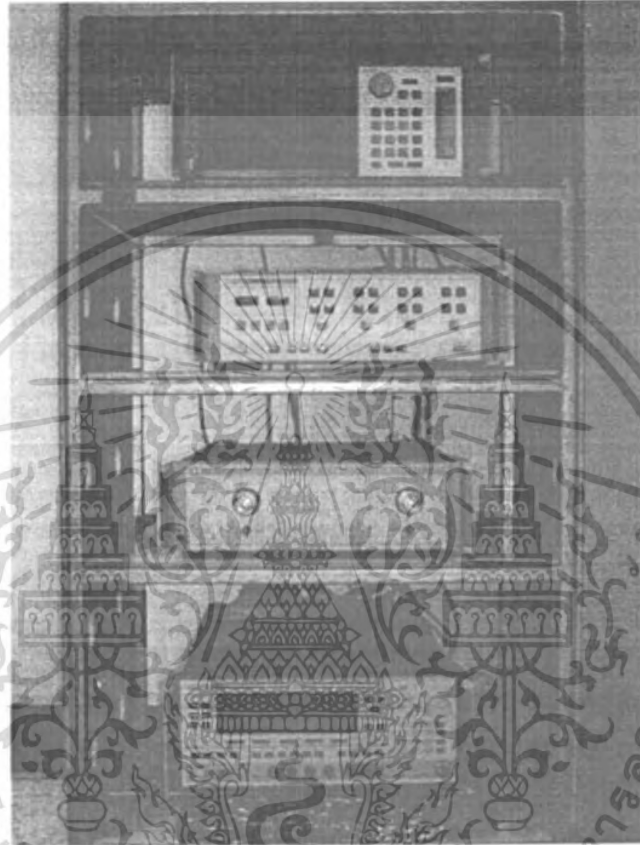
เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Measurement and Analysis of UWB-IR Antenna Performance For WPANs", *Thammasat IntJ. Sc.,Tech* Vol.8,No.4,Oct Dec.2003
- [2] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System", *Proc. ISAP'04, Sendai, Japan*,pp 97-100,Aug.2004
- [3] S. Promwong, J. Takada, N. Lertsirisopon, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Multi Rays UWB Channel Modeling Based on Friis' Formula", *EECON26*,pp.1483-1488 Sep.2003
- [4] M. Sanchez, L. de Haro, A. Pino, and M. Calvo, " Human Operator Effect on Wide-band Radio Channel Characteristic", *IEEE Trans. Antennas and Propag* , Vol.45 No 8, pp.1318-1320, Aug.1997
- [5] K. Siwiak, "Ultra-wide Radio: The Emergence of Important RF Technology", *Proc.2001 Spring IEEE Veh. Tech. VTC*, Vol 2, pp.1169-1172, May.2001
- [6] K. Siwiak, D. McKeown, "Ultra wideband radio technology", *John Wiley-Sons* , Ltd,2004.
- [7] M. Ghavami, L.B. Michael, P.Kohno, "Ulira wideband signals and systems in communication engineering," *John Wiley-Sons*, Ltd, 2004.
- [8] บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์, "หลักการไฟฟ้าสื่อสาร, Principles of Communication System" สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2541

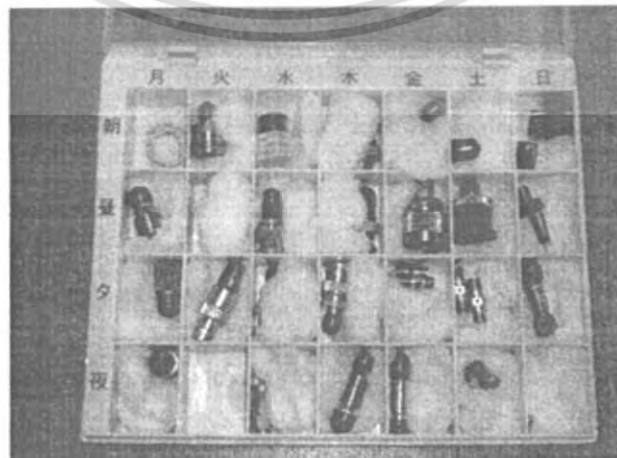


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

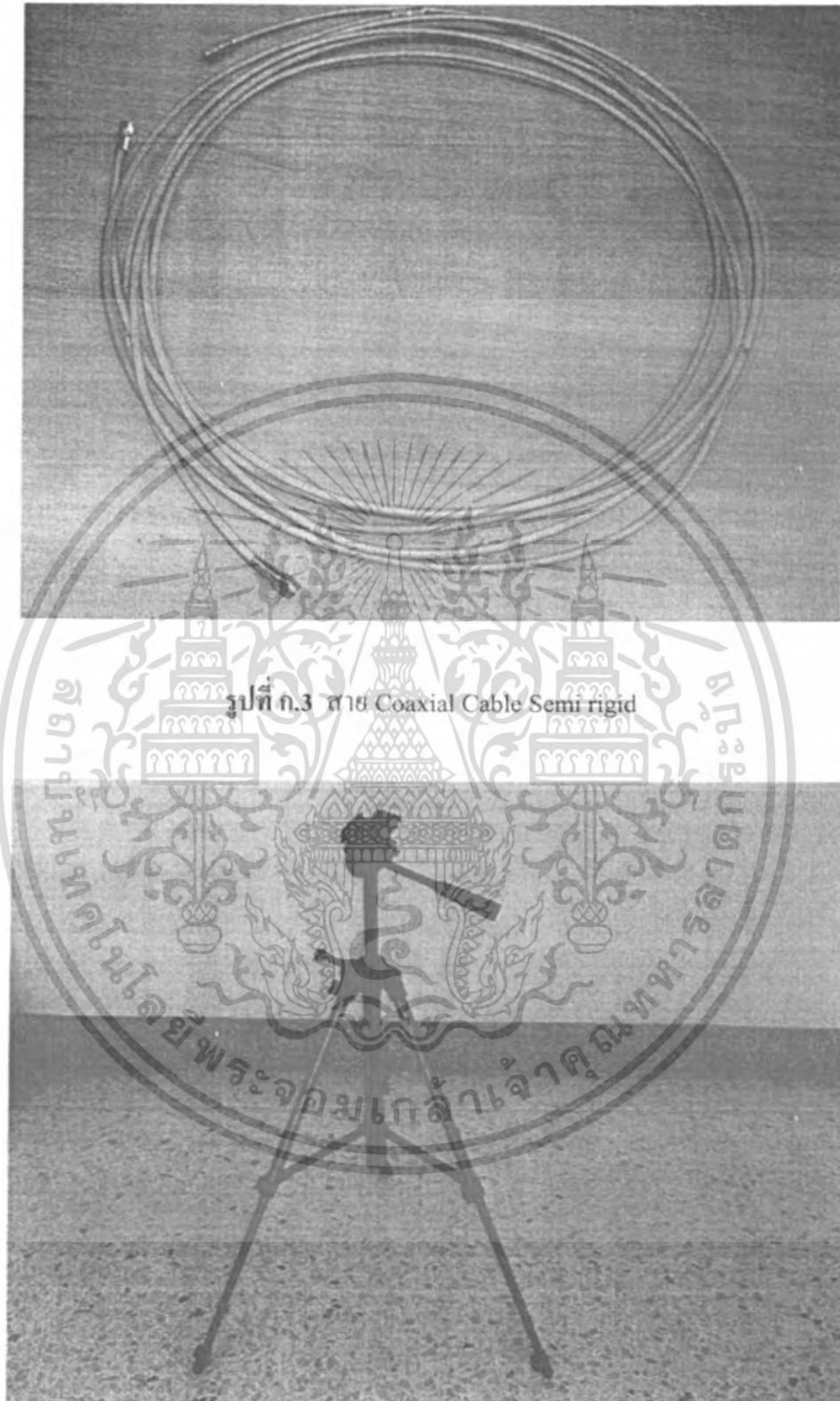


รูปที่ ก.1 เครื่อง Vector Network Analyzers (VNA)



รูปที่ ก.2 ชุดเครื่องมือที่ใช้ร่วมกับ VNA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 สาย Coaxial Cable Semi rigid

รูปที่ ก.4 เสาที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัด

การเตรียมเครื่อง Vector Network Analyzer ก่อนทำการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semi rigid



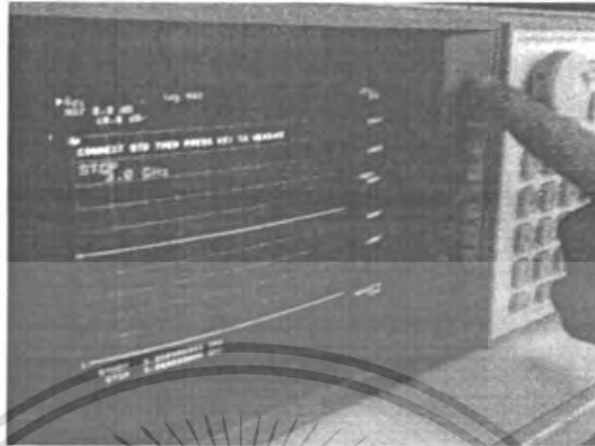
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้และกด ENTRY OFF
- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENU



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm. B.3)
- เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
- เลือกกดที่ REFLECT'N

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในกรณี CAL ทำได้ดังนี้ ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

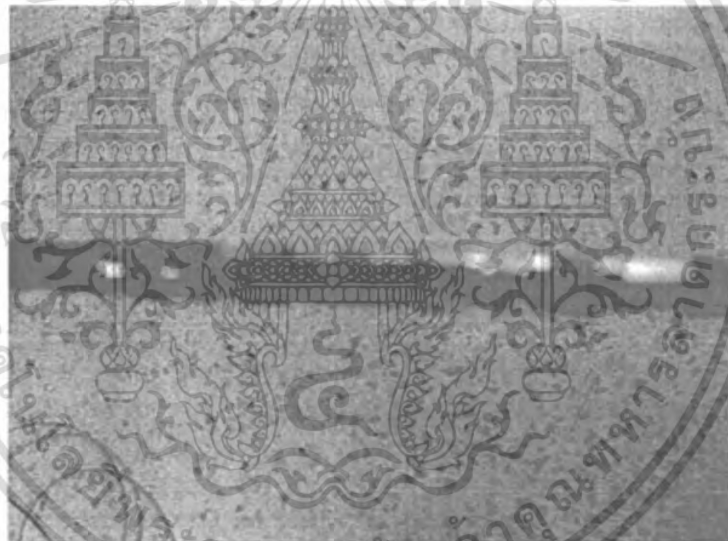
- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA)
จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA)
จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อ
เข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD

ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA)
จากนั้นกด OPEN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
 - นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
 - เลือกกดที่ BROADBAND
 - เลือกกดที่ DONE LOAD
 - เลือกกดที่ REFLECT'N DONE
5. ทำการต่อหัว ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ



- กด FWD.TRANS.THRU
 - กด FWD.MATCH.THRU
 - กด REV.TRANS.THRU
 - กด REV.MATCH.THRU
6. กด TRANS DONE
- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

7. กด ISOLATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

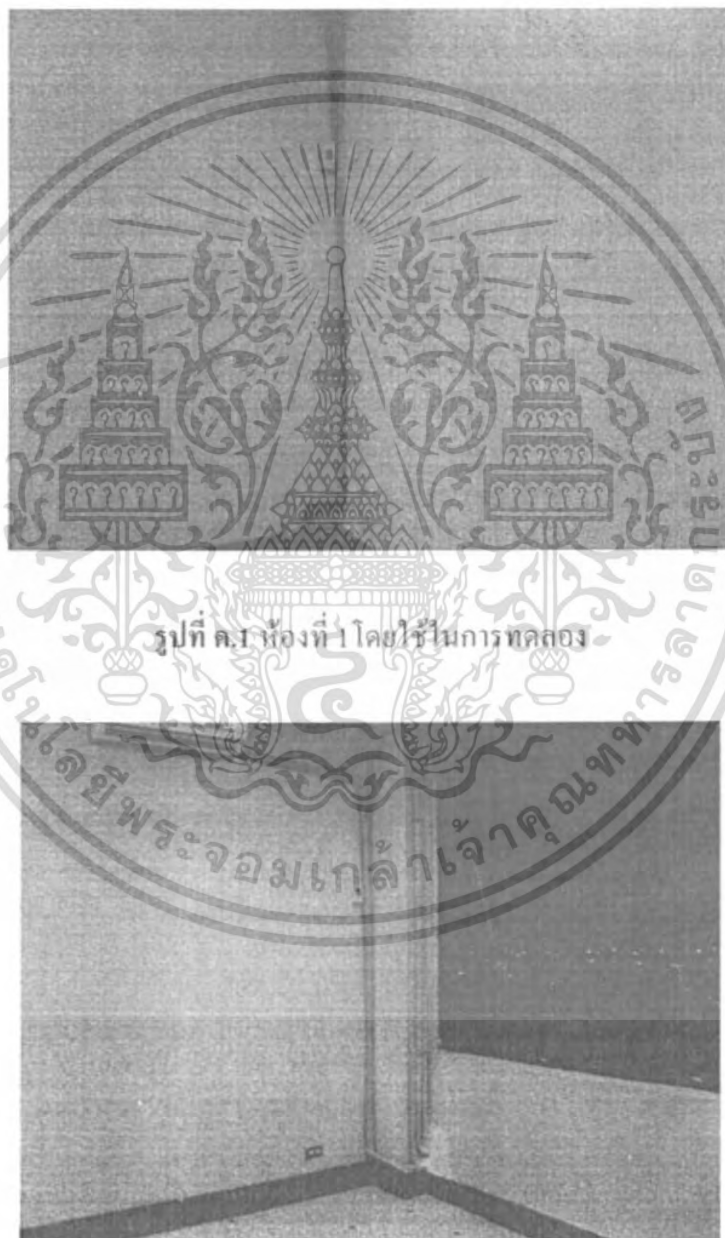
8. กด ISOLATION DONE
9. กด SAVE (2-PORT CAL)
10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET โดยมีตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึง 8 เพื่อใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการ CAL ไปแล้วข้างต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

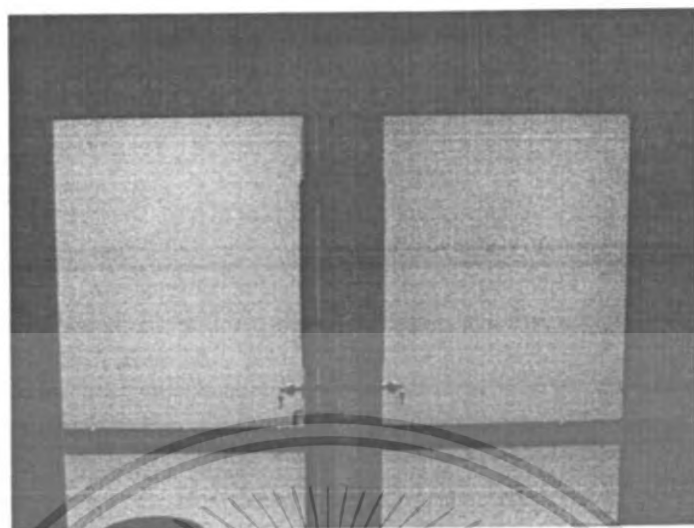
ภาคผนวก ค
ห้องที่ใช้ในการทดลอง

ห้องที่ใช้ในการทดลองทั้งสองห้องมีดังนี้



รูปที่ ค.2 ห้องที่ 2 มีกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.4 ห้องและตำแหน่ง Rxที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้