

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง ในแถบสูงด้วยสภาวะแวดล้อม
ภายในอาคาร สำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล

**ULTRA WIDEBAND PROPAGATION CHANNEL IN Highband WITH
INDOOR ENVIRONMENT FOR PERSONAL AREA NETWORK**



โดย
นายศุภวัชร รังสฤษฏ์โยธิน
นายศุภสิทธิ์ ตังคนงาม
นายอัษฎา ปุริสพันธ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....104251
วัน,เดือน,ปี.....30 ต.ค. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ULTRA WIDEBAND PROPAGATION CHANNEL IN HIGHBAND WITH
INDOOR ENVIRONMENT FOR PERSONAL AREA NETWORK**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUEST FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท ช่งสัญญาการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง ในแถบสูงด้วยสภาวะ
แวดล้อมภายในอาคารสำหรับ โครงข่ายส่วนบุคคล

ผู้ดำเนินโครงการ นายศุภวัชร รังสฤษฎ์โยธิน รหัสนักศึกษา 48010917
 นายศุภสิทธิ์ ตั้งคนงาม รหัสนักศึกษา 48010919
 นายอัมฎา ปุริสพันธ์ รหัสนักศึกษา 48011110

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์
 อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2551



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.สถาพร พรหมวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง ในแถบสูงด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายศุภวัชร	รังสฤษฎ์โยธิน	รหัสนักศึกษา 48010917
	นายศุภสิทธิ	ตั้งคนงาม	รหัสนักศึกษา 48010919
	นายอัษฎา	ปฐิรพันธ์	รหัสนักศึกษา 48011110
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	
	อาจารย์สถาพร	พรหมวงศ์	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2551		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองวัดช่องสัญญาณแถมความถี่กว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล เพื่อศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในช่องสื่อสารภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง การจำลองการสูญเสียเชิงวิถี, อัตราการผิดพลาดบิต, การใช้แมตซ์ฟิลเตอร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

โดยในการปฏิบัติการวัดสัญญาณนั้นจัดทำขึ้นโดยวางสายอากาศในในตำแหน่งที่ต่างกันตลอดทั่วทั้งพื้นที่บริเวณที่กำหนด ขณะที่สายอากาศด้านส่งปราศจากการเคลื่อนย้าย โดยทั้งสายอากาศด้านรับและด้านส่งนั้น จะถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางกันอยู่

Project Title UWB propagation channel in highband with indoor environment for PAN

Student Mr.Supawat Rungsarityotin ID.48010917
Mr.Supasit Tangkhongam ID.48010919
Mr.Auttsada Purisapun ID.48011110

Adviser Dr.Panarat Cherntanomwong
Mr.Sathaporn Promwong

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2008

Abstract

This project presents the ultra-wideband(UWB) channel measurement which conducted in an indoor environment for Personal Area Network to study the wave propagation channel with obstruction and estimate the path loss, bit error rate, matchfilter and analyze the system.

In this project we put the antenna is placed in different places around the specific areas and transmitted antenna is stationary. The propagation channel between transmitter and receiver is obstructed.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้คำแนะนำการทดลองจนกระทั่งหาข้อสรุปได้ครบถ้วนตามจุดมุ่งหมายและการแก้ไขปัญหา โดยได้รับคำแนะนำจากท่านอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ และ อาจารย์ผู้ควบคุม UWB-RS Lab ทำให้การทดลองสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี และขอขอบคุณพระคุณ ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ ผู้ให้ความกรุณาในการทดลองนี้เสมอมา

ขอขอบคุณความเกื้อกูลจาก นายสนิท เตียวฉิม และ นายณรงค์ศักดิ์ โนนสิทธิชัย ที่แบ่งปันประสบการณ์และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดและเป็นทุกอย่างในชีวิตที่ทำให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สารสนเทศ ที่ได้ให้สนับสนุนการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้



นาย สุภวัชร รังสฤษฏ์โยธิน

นาย สุภสัทธา ตั้งคนงาม

นาย อัมภา ปุริสพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.5 สรุป	5
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.1 กล่าวนำ	6
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง	7
2.3 ลักษณะทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	8
2.4 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง	9
2.4.1 ความจุของช่องสัญญาณ	9
2.4.2 กำลังในการส่งต่ำ	10
2.4.3 มีโอกาสที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก	10
2.4.4 มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ	10
2.4.5 มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูก	11
2.4.6 มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	13
2.5.1	กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในอเมริกา	13
2.5.2	กฎข้อบังคับของระบบแบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	14
2.6	การนำไปใช้งานของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	15
2.6.1	การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์	15
2.6.2	การหาตำแหน่งและระบุตำแหน่ง	15
2.6.3	เรดาร์	16
2.7	สรุป	16
บทที่ 3	ทฤษฎีและหลักการ	17
3.1	กล่าวนำ	17
3.2	การวิเคราะห์ห้ระบบ	17
3.2.1	การวิเคราะห์ห้ความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง	18
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	19
3.3.1	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ	19
3.3.2	ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ	21
3.3.3	ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ	22
3.3.4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	24
3.3.5	ค่าสูญเสียเชิงวิถี	25
3.3.6	แมตซ์ฟิลด์อร์	26
3.3.7	อัตราความผิดพลาดบิต	27
3.4	สรุป	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ System Analysis	30
4.1.1 การวิเคราะห์ความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง	31
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	32
4.2.1 Vector Network Analyzer	32
4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่	33
4.2.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง	34
4.2.4 ฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้ารรับ	35
4.3 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง	36

บทที่ 5 ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ	41
5.2 ผลวิเคราะห์	41
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง	41
5.2.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง	43
5.2.1.2 อัตราขยายการส่งผ่าน	46
5.2.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	47
5.2.1.4 อัตราผิดพลาดบิต	47
5.2.1.5 แมตซ์ฟิลด์อร์	49
5.2.1.6 Probability Density Function (PDF)	50
5.2.1.7 Commulative Distribution Function (CDF)	51

บทที่ 6 บทสรุปและ ข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ	52
6.2 สรุปผลการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง

54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง	8
2.2	การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบอื่นๆ	8
2.3	จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	9
2.4	เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ	11
3.1	ระบบการสื่อสารไร้สายในอากาศ	18
3.2	การส่งถ่ายของโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล	18
3.3	ไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต	19
3.4	บล็อกไดอะแกรมของระบบ	22
3.5	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ใน โดเมนความถี่	22
3.6	ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ใน โดเมนเวลา	23
3.7	บล็อกไดอะแกรมแมตซ์ฟิลเตอร์	26
4.1	ระบบการสื่อสารไร้สายในอากาศ	30
4.2	การส่งถ่ายของโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล	31
4.3	เครื่อง Vector Network Analyzer	32
4.4	สายอากาศแบบกรวยคู่	33
4.5	ฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับ	35
4.6	สถานที่ทำการทดลอง	38
4.7	มุมมองด้านข้างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ	39
4.8	ฉากที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศด้านรับ	39
5.1	แบบจำลองของฉากในการทดลอง และจุดที่นำมาเสนอผลวิเคราะห์	41
5.2	ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ i	43
5.3	ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ j	44
5.4	ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ k	44
5.5	ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ l	45
5.6	อัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง	46
5.7	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	47
5.8	อัตราผิดพลาดบิต	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
5.9 แอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของแมตซ์ฟิลเตอร์ โดยใช้แมตซ์ฟิลเตอร์	49
5.10 กราฟแสดงความหนาแน่นของข้อมูล (PDF)	50
5.11 กราฟแสดงค่าพลังงานสะสมของจุดบนฉากติดตั้งสายอากาศ (CDF)	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	12
ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร	14
ตารางที่ 2.3 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร	14
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลอง	40
ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งที่นำเสนอผลการวิเคราะห์	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband : UWB) คือเทคโนโลยีแบบไร้สาย ที่มีคุณสมบัติการส่งอิมพัลส์และมีประสิทธิภาพสูง มีการจางหายของสัญญาณน้อย นอกจากนี้ยังเป็น การเตรียมการที่จะนำไปใช้งานให้เป็นประโยชน์สูงสุดในรูปแบบของคลื่นวิทยุนาาาประการ

ในปัจจุบันความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่ม ความสะดวกสบายในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้น โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่อ อุปกรณ์ดังกล่าว อาทิเช่น WiFi, Bluetooth และเทคโนโลยีคลื่นสั้น (Short-Range) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจในวงกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) ซึ่ง คาดว่าจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ ด้วยความสามารถที่โดดเด่นกว่า เทคโนโลยีไร้สายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

เทคโนโลยี UWB ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีไร้สายใหม่ที่เพิ่งได้รับอนุญาตให้ทดลองนำเข้ามา ใช้ในการค้าทั่วไป โดยเทคโนโลยีนี้แตกต่างจากการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุที่มีกันอยู่ในปัจจุบันที่ เป็นการส่งแบบความถี่แคบ ในขณะที่ UWB จะเป็นการส่งข้อมูลพัลส์สั้นๆ (Pulse) ผ่านความถี่ที่ กว้าง ซึ่งเป็นการโอนข้อมูลจำนวนมากเป็นระยะทางสั้นและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน โดยพลังงานที่ใช้ จะใช้เพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ ภายในระยะทาง 10 เมตร เทคโนโลยี UWB ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคล (PAN) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่าง อุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลาย นอกจากนี้แล้วเทคโนโลยีความถี่กว้างยิ่งเป็น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่ที่ได้รับการสนับสนุนการกลุ่มพันธมิตร MBOA (Multi Band OFDM Alliance) ที่ได้เริ่มก่อตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน 2003 และปัจจุบันนั้นมีสมาชิกแล้วกว่า 50 ราย

และนอกเหนือจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งยังได้รับการวางจำ แหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดย คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา ตั้งความหวังไว้ว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งจะเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบันจะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุด และจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ ก็จะมีช่วงความถี่ที่สูญเสียไปมากขึ้นด้วย

สำหรับนิยามของแถบความถี่กว้างยิ่งนั้น คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา หรือ FCC ได้กำหนดไว้ว่า จะเป็นเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งจะต้องมีแถบความถี่หรือช่วงความถี่ปลีกย่อยที่ตำแหน่ง -10 เดซิเบล (dB) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 หรือร้อยละ 20 ของความถี่กลาง หรือคิดเป็นแถบความถี่อย่างน้อยที่สุด 500 เมกกะเฮิร์ตซ์ และได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดยคณะกรรมการแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission : FCC) อยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้ การกำหนดความถี่ในย่านลักษณะดังกล่าวจะช่วยป้องกันปัญหาการรบกวนของสัญญาณวิทยุกับเทคโนโลยีสื่อสารภาคพื้นอื่นๆ ที่มีการใช้กันในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวได้พัฒนาเพื่อการใช้งานในหน่วยงานทางการทหารของสหรัฐอเมริกา รวมถึงความกังวลอันเนื่องมาจากความถี่ของแถบความถี่กว้างยิ่ง ที่แตกต่างจากความถี่วิทยุทั่วไป ซึ่งได้ส่งผลให้หลายฝ่ายกังวลว่า แถบความถี่กว้างยิ่งจะไปรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้ในปัจจุบัน อย่างระบบ Global Positioning System (GPS), ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบการบิน เป็นต้น

หากเราเปรียบเทียบแถบความถี่กว้างยิ่งกับเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi หรือ เทคโนโลยี Bluetooth แล้วก็จะพบว่า เทคโนโลยีแบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้น มีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งในด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำรวมไปถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดยแถบความถี่กว้างยิ่งจะมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps ที่ระยะประมาณ 2 เมตร และจะมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล 110 Mbps ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ขณะที่ Wi-Fi สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งสามารถให้ความสามารถในการรับส่งได้สูงกว่าเทคโนโลยี Bluetooth มากกว่าถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวเทคโนโลยีแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมในการรับส่งข้อมูล โดยเฉพาะหากเป็นการใช้งานภายในสำนักงาน เทคโนโลยีแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจะช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้งสายเคเบิลต่างๆ ได้เป็นอย่างมาก

ดังนั้นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการจำลองและขั้นตอนการทดสอบของการวัดสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในความถี่สูงในร่มสำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายบนมาตรฐาน IEEE802.15.3a
- 2) ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง
- 3) ศึกษาและออกแบบจำลองการวัดสัญญาณ ของการส่งแบบแถบกว้างยิ่ง
- 4) ศึกษาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัญญาณและทดสอบตลอดจนขั้นตอนต่างๆ ในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง
- 5) ศึกษาถึงผลที่ได้จากการวัดและการทดสอบสัญญาณ นำมาประเมินค่าตามทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ โดยการเลียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ออกแบบรูปแบบการวัดและทดสอบช่องสัญญาณ
- 2) นำค่าที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง
- 3) แสดงพารามิเตอร์ของ Transmission gain , Bit Error Rate และ Delay Spread
- 4) ทำการประเมินผลของการทดลองต่างๆ ของปริญญาานิพนธ์นี้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

หัวข้อ	เทอม1				เทอม2			
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
1.ศึกษาเรื่องของ สัญญาแบบ ultra-wideband	←	→						
2. ศึกษาการใช้ เครื่องมือในการ ทำการวัดค่า สัญญา	←	→						
3. วัดสัญญา	←	→			←	→		
4. จัดทำเอกสาร การสอบวิชา Project I ในเทอม 1			←	→				
5. ศึกษาและ สรุปรงานที่จะต้อง ทำเพิ่มเติมใน เทอม 2					←	→		
6. จัดทำต้นฉบับ ปริญญาบัตร						←	→	
7.จัดทำปริญญา บัตรฉบับจริง							←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 สรุป

โครงการนี้จะเป็นการทดลองในการวัดค่าสัญญาณต่างๆ ซึ่งมีสิ่งกีดขวางคือกำแพงกั้นอยู่ระหว่างด้านส่งและด้านรับ และนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์สัญญาณ นำไปสู่การหาค่าอัตราการสูญเสียของระบบ ซึ่งจะสามารถนำไปสู่การปรับปรุงสัญญาณ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสาร ไร้สายแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband, UWB) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารต่างๆ ซึ่งเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้เป็นเทคโนโลยีที่ถูกออกแบบมาให้มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูง ใช้ในระยะทางใกล้ๆ โดยที่ระยะทาง 10 เมตร จะมีความเร็ว 110 Mb/s และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง โดยที่ระยะทาง 2 เมตร จะมีความเร็วสูงถึง 480 Mb/s มีช่วงแบนด์วิดท์ที่กว้างคือช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีขนาดแบนด์วิดท์คือ 7.5 GHz จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีการรับส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงมาก และระยะทางไม่เกิน 10 เมตร การส่งสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งก็จะทำการส่งสัญญาณในลักษณะของพัลส์ในช่วงเวลาแคบมากๆ ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบๆ จะมีสเปกตรัมที่กว้าง ใช้กำลังงานต่ำ และสามารถแยกคลื่นหลายวิธีที่ไม่ต้องการออกไปได้ ส่วนสาเหตุที่ทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนี้มีราคาถูกเนื่องไม่ต้องการการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลที่จะส่งเข้ากับสัญญาณพาห้ (carrierless) ทำให้ที่ภาครับและภาคส่งของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้น ไม่ต้องการอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง เช่นตัวมอดูเลต ดิมอดูเลต และมิกเซอร์ เป็นต้น ที่กล่าวมาข้างต้นทำให้อุปกรณ์ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีราคาถูก ขนาดเล็ก และใช้กำลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารแบบแคบที่ใช้กันอยู่ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสาร ไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก

จากคุณสมบัติต่างๆ ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ได้กล่าว จะเห็นได้ว่าเหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะของโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network, WPANs) การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ในการรับส่งข้อมูลที่เป็นมัลติมีเดีย (ข้อมูลภาพ เสียง วิดีโอ ฯลฯ) ที่มีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่ ต้องการความเร็วและความถูกต้องในการรับส่ง เช่น การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องวิดีโอ กล้องถ่ายรูป เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งก็สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้เช่นกัน

เมื่อถึงเวลาที่นำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานจริง การใช้งานจะไม่จำกัดอยู่แค่ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร แต่จะมีการใช้งานที่อยู่ในสถานะแวดล้อมระหว่างภายในและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายนอกอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่รับได้ ปริมาณสัญญาณจึงนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้ จะกล่าวถึงประวัติและความเป็นมา หลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่างๆ ของเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

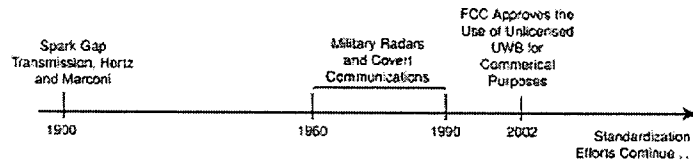
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งโดยพื้นฐานแล้วแตกต่างจากระบบการสื่อสารอื่นๆ เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นใช้พัลส์ที่แคบมากในการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ จากพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากยิ่งเองทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ๆ ครอบคลุมได้ยาก มีความเร็วสูงและสามารถใช้งานกับระบบเดิมที่มีอยู่แล้วได้

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งไม่ใช่เทคโนโลยีที่ใหม่ มันถูกค้นพบครั้งแรกโดย มาร์โกนี (Guglielmo Marconi) ในปี 1901 ใช้ส่งรหัสมอร์ส (Morse code) ต่อเนื่องข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกโดยใช้เครื่องส่งสปาร์กเก็ป อย่างไรก็ตามประโยชน์ของการใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างและความสามารถในการใช้งานแบบหลายผู้ใช้โดยการส่งพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าก็ยังไม่เกิดขึ้นในตอนนั้น จากนั้นประมาณ 15 ปีต่อมาการสื่อสารที่ใช้พัลส์ในการส่งสัญญาณได้รับการผลักดันให้ใช้ในการทหารในรูปของอิมพัลส์เรดาร์ (impulse radars) จากนั้นในปี 1960 – 1990 เทคโนโลยีนี้ได้ถูกจำกัดการใช้งานในกองทัพทหารและแผนการปกครองที่เป็นความลับทางราชการ เช่นการสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยที่สูง อย่างไรก็ตามในตอนนี้อายุขัยของไมโครโพรเซสเซอร์และสวิตช์ตัดต่อความเร็วสูงในเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ได้ทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งพร้อมสำหรับการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์

จากที่เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจในด้านการพาณิชย์ผ่านมาเป็นเวลาหลายปี ผู้พัฒนาระบบแถบกว้างยิ่งต่างพากันกดดันให้ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) อนุมัติให้ใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์ จากนั้นในปี 2002 FCC ได้อนุมัติรายงานและข้อบังคับฉบับที่หนึ่ง (First Report and Order, R&O) สำหรับการใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์ภายใต้การจำกัดกำลังงานที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นสำหรับอุปกรณ์ต่างๆอย่างเคร่งครัด ซึ่งความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้แสดงดังรูปที่ 2.1

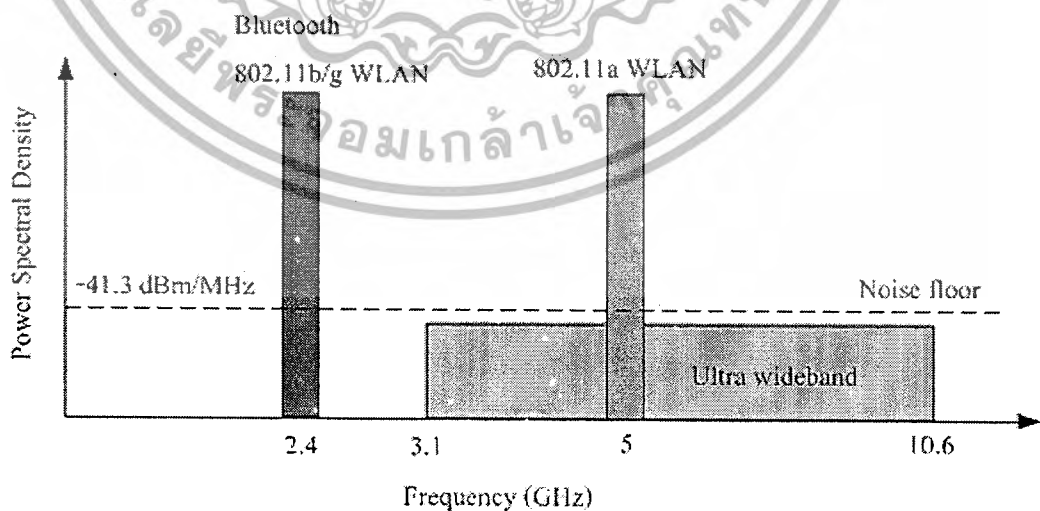
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ความเป็นมาโดยย่อของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

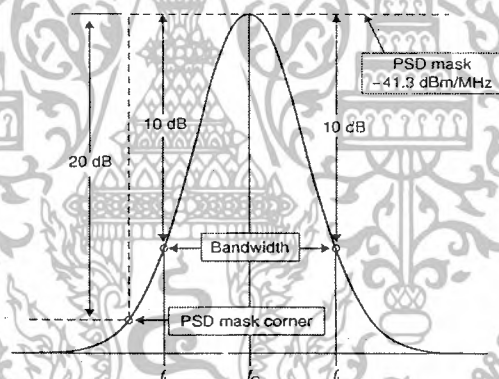
เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากและยังมีข้อแตกต่างจากระบบการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ คือ เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ โดยจะทำการส่งสัญญาณที่มีลักษณะเป็นพัลส์ ซึ่งจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างในระดับนาโนวินาที (nano second, ns) เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบมีความหนาแน่นของแถบกำลังงาน (Power Spectral Density, PSD) ครอบคลุมในช่วงความถี่ที่กว้างมากอยู่ในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) ในโดเมนความถี่ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงแต่ด้วยข้อจำกัดในระดับของกำลังงานที่ใช้ส่งจึงทำให้ระยะทางในการให้บริการถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE802.15.3a (WPAN) โดยในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้าน หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องสามารถทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งจะถูกรอกแบบเพื่อให้สามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง และค่าแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดโดยวัดที่ระดับต่ำลงมา 10 dB จากระดับสูงสุดของการแพร่กระจายเท่ากับ 500 MHz โดยระดับสูงสุดที่อนุญาตให้การแพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz เพราะฉะนั้นในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นมีความต้องการแบนด์วิดท์ต่ำสุดที่ระดับ 10 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของการแพร่กระจายคลื่น โดยรูปที่ 2.3 จะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดดังกล่าว



รูปที่ 2.3 จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

2.4 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะของพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบที่ใช้ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารแถบแคบ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารไร้สาย

2.4.1 มีความจุของช่องสัญญาณมาก

จุดเด่นที่สำคัญของการมีแบนด์วิดท์ที่กว้างสำหรับพัลส์แถบกว้างยิ่งคือการทำให้ความจุของช่องสัญญาณมากขึ้น โดยความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราการส่งข้อมูลจะบอกถึงขนาดของข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารต่อหนึ่งวินาที ซึ่งขนาดความจุที่มากของ

จะเป็นการรบกวนโดยตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ เพราะว่าไม่มีผู้ทำการรบกวนสัญญาณคนไหนที่สามารถรบกวนสัญญาณในทุกความถี่ของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ในครั้งเดียว ฉะนั้นถ้าความถี่บางความถี่ถูกรบกวน แถบกว้างยิ่งก็ยังมีช่วงความถี่อีกมากมายที่ยังไม่ถูกใช้

2.4.5 มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องการคลื่นพาห์ (Carrier less) นั้นหมายความว่าไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเหมือนกับในเทคโนโลยีแถบแคบและเทคโนโลยีแถบกว้าง การสื่อสารที่ปราศจากคลื่นพาห์มีความต้องการส่วนประกอบต่างๆ น้อยกว่าการสื่อสารที่มีการมอดูเลตเข้ากับสัญญาณพาห์ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้โครงสร้างของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าและมีราคาในการสร้างถูกกว่าเทคโนโลยีแถบแคบ รูปที่ 2.4 เป็นการเปรียบเทียบบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ กับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ

a) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ

b) บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 2.4 ภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าระบบแถบแคบ เนื่องจากการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ใช้พัลส์ที่มีกำลังส่งต่ำจะไม่จำเป็นต้องมีตัวขยายกำลัง (Power Amplifier, PA) ในภาคส่ง และจากการที่การสื่อสารแถบกว้างยิ่งไม่มีการใช้สัญญาณพาห์ทำให้ไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ (Mixer) และออสซิลเลเตอร์ (Oscillators) ในการแปลงความถี่พาห์ไปเป็นแถบความถี่ที่ต้องการทั้งในภาครับและภาคส่ง

2.4.6 มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี

เป็นที่รู้กันว่าการเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณการสื่อสารจากหลายๆ ทิศทางที่วัสดุต่างๆ เช่น อาคาร โดม เพดาน หรืออุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น เส้นทางจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับโดยตรงเรียกว่า เส้นระดับสายตา (Line of Sight, LOS) ส่วนสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิววัสดุต่างๆ จะไม่เป็นเส้นระดับสายตา (Non Line of Sight, NLOS)

จุดเด่น	ประโยชน์
ช่องสัญญาณมีความจุมาก	ช่องสัญญาณที่มีความจุมากสามารถรองรับการ แสดงไฟลีวิตโอที่มีความละเอียดสูง
ใช้กำลังส่งต่ำ	ไม่ไปรบกวนกับระบบอื่นๆ
มีโอกาสที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก	เพิ่มความปลอดภัย เหมาะกับการใช้ในกองทัพ และงานด้านความมั่นคง
มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ	มีความน่าเชื่อถือได้เมื่อนำไปใช้ในสภาวะ แวดล้อมที่มีกลุ่มที่ไม่หวังดี
มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน	ทำให้มีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย และมีราคาถูก
มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี	ให้สัญญาณที่มีกำลังสูงกว่า ในสภาวะแวดล้อมที่มี ผลการสะท้อนมาก

ตารางที่ 2.1 จุดเด่นและประโยชน์ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กฎข้อบังคับของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.5.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 3 ประเภทคือ ระบบตรวจจับภาพ ระบบเรดาร์ ในยานพาหนะ ระบบการวัดและการสื่อสาร โดยการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้งานในประเภทระบบการสื่อสารนั้นจะถูกกำหนดค่าสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth) ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 หรือแบนด์วิดท์รวมทั้งหมด ต้องไม่ต่ำกว่า 500 MHz ดังนียบตามสมการที่ 2.2 และ 2.3 และกำหนดช่วงความถี่ใช้งานไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งที่กำหนดโดย FCC แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

$$\text{Fractional bandwidth} \geq 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L}, \text{ or} \quad (2-2)$$

$$\text{UWB bandwidth} \geq f_H - f_L \quad (2-3)$$

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุด
 f_H คือ ความถี่สูงสุด

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 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร
ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2.5.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย 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 2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร
ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การนำไปใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่ง

จากข้อดีของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย โดยจะแบ่งประเภทการใช้งานเป็น 3 ประเภท คือ

1. การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์
2. การหาตำแหน่งและการติดตาม
3. เรดาร์

ในตอนแรกนั้นกลุ่มที่นำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งานจะเป็นกลุ่มทางการทหารและแผนการรักษาความปลอดภัย แต่ต่อมาได้ระบบแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจมากขึ้น จึงทำให้มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ด้วย

2.6.1 การติดต่อสื่อสารและเซนเซอร์

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง จึงทำให้มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที ซึ่งทำให้รองรับกับระบบมัลติมีเดียที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงอยู่แล้ว ซึ่งแนวคิดในการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้ในด้าน การติดต่อสื่อสารหรือการรับส่งข้อมูลก็คือระบบโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลหรือ WPANs นั่นเอง โดยจะเป็นการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน หรืออาคารสำนักงาน ซึ่งต่อไปในอนาคตเราสามารถดูภาพวิดีโอที่อัดจากกล้องวิดีโอพกพาผ่านทางหน้าจอโทรทัศน์ได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการต่อสายสัญญาณให้ยุ่งยาก หรือสามารถส่งพิมพ์ภาพจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่คนละห้องกันกับเครื่องพิมพ์ได้โดยไม่ต้องเดินสายเป็นต้น

2.6.2 การหาตำแหน่งและระบุตำแหน่ง

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่เราสามารถใช้ค้นหาตำแหน่งหรือพิกัดต่างๆ บนโลกได้ โดยใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) แต่ในการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาใช้งาน ซึ่งใช้ภายในอาคารเป็นหลักมีความเหมาะสมมากสำหรับปัญหาในระบบระยะสั้น ซึ่งมันสามารถที่จะระบุตำแหน่งได้แม่นยำในระดับเซนติเมตรเลยทีเดียว อาจนำไปใช้ค้นหาคน หรือสิ่งของต่างๆ ได้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการ

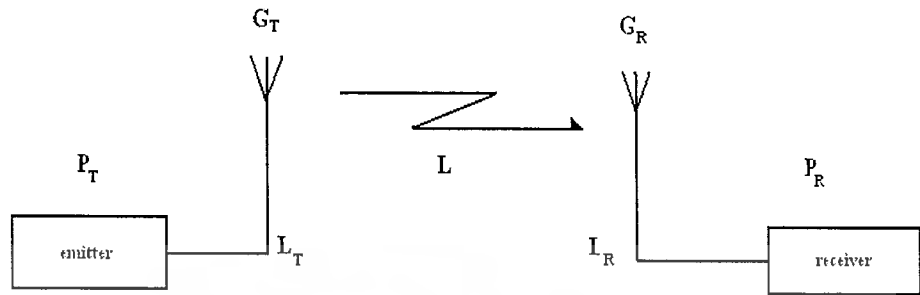
3.1 กล่าวนำ

สถานะแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่นนั้น การส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งทั้งสถานะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ดีแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสถานะแวดล้อมที่ชัดเจน

ในการจำลองช่องสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้นมีหลักเกณฑ์จำนวนมากที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะของช่องสัญญาณ ซึ่งในบทนี้ได้อธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งอีกด้วย

3.2 การวิเคราะห์ระบบ

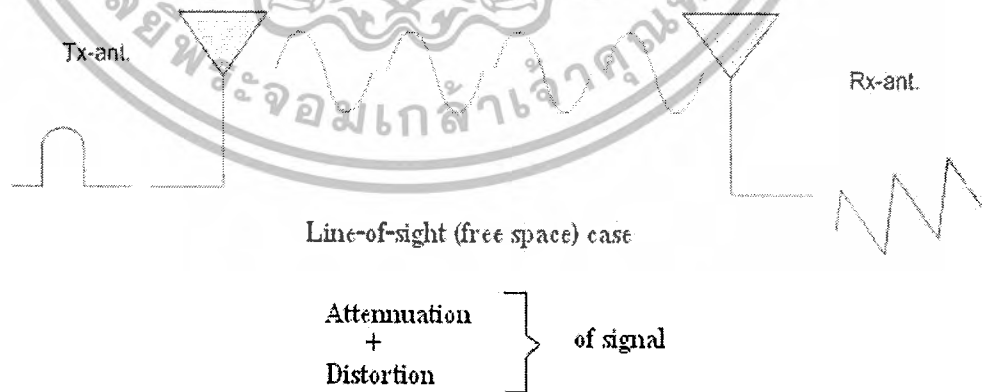
การสูญเสียเชิงระหว่างคู่ของสายส่งคืออัตราส่วนของกำลังการส่งผ่านต่อกำลังการรับ โดยปกติแล้วใช้หน่วยเป็นเดซิเบล (dB) รวมความเป็นไปได้ขององค์ประกอบทั้งหมดของการสูญเสียระหว่างการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง โดยในกรณีของช่องสัญญาณที่มีการจางหายของสัญญาณอย่างรวดเร็ว (Fast Fading) เป็นจำนวนมากเช่น ช่องสัญญาณเคลื่อนที่ (Mobile channel) การสูญเสียเชิงวิถีใช้กำลังเฉลี่ยผ่านหลายขั้นตอนของการจางหายของสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีนี้ยากที่จะทำการวัดได้โดยตรง เพราะมีการสูญเสียและอัตราการขยาย ในระบบที่ต้องพิจารณา เพื่อนิยามความเหมาะสมของการสูญเสียเชิงวิถีจำเป็นจะต้องพิจารณาการสูญเสียและอัตราการขยาย ในระบบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไร้สายดังแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 3.1 ระบบการสื่อสารไร้สายในอากาศ

3.2.1 การวิเคราะห์ความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง (UWB Transmission Analysis)

ระบบไร้สายที่เป็นโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลนั้นจำเป็นที่สุดที่จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือ มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง มีอัตราการส่งข้อมูลสูง กำลังที่ใช้ต่ำ สามารถรองรับผู้ใช้งานได้มาก และ ต้องมีราคาค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง โดยการสื่อสารจะถูกแสดงดังรูป



รูปที่ 3.2 การส่งถ่ายของโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้โดยในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

3.3.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณ

ในขั้นตอนของการวัดนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณ (Transmission coefficient, S_{21}) จากพอร์ตหนึ่งไปยังพอร์ตสองของเครื่อง VNA โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากหลักการของ S-parameter หรือเรียกว่าพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (Scattering parameter) ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (Scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ตดังแสดงในรูปที่ 3.2 และมีสมการดังนี้

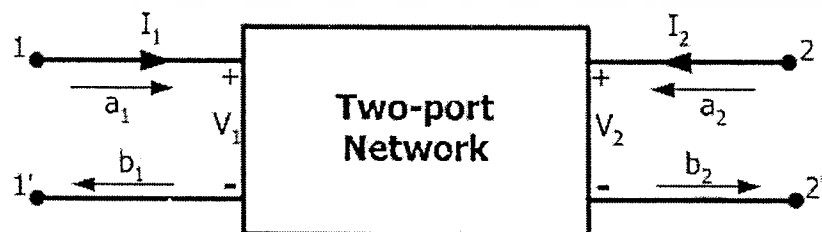
$$\vec{b} = \vec{S}a \quad (3.2)$$

โดยที่

\vec{a} คือ เวกเตอร์การส่งผ่าน

\vec{b} คือ เวกเตอร์การสะท้อน

\vec{S} คือ เวกเตอร์การกระจาย



รูปที่ 3.3 ไคอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

(3.3)

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

(3.4)

โดยที่ a_1 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง
 b_1 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง
 a_2 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง
 b_2 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.5a)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (3.5b)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.5c)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (3.5d)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (3.7)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง

S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง

S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Forward)

S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน (Reverse)

พารามิเตอร์ของการกระจายของ โครงข่ายแบบสองพอร์ตนั้นยังสามารถที่จะกำหนดในเทอมของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อนได้ดังนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (3.9a)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (3.9b)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (3.9c)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (3.9d)$$

3.3.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดช่องสัญญาณ โดยใช้เครื่อง VNA นั้นสิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกัน ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ เรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบ และจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 3.3 ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบ และจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function, $H(\omega)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยขนาดสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase response) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 3.10 และแสดงดังรูปที่ 3.4

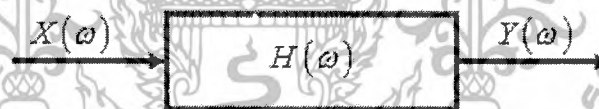


รูปที่ 3.4 บล็อกโคอะแกรมของระบบ

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \tag{3.10}$$

โดยที่

$Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่
 $X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

3.3.3 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ

การแสดงความสัมพันธ์ของช่องสัญญาณนั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ก็คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบ โดยเริ่มต้นนั้นจะขอกล่าวถึงคำนิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (Impulse function) ก่อนดังนี้

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

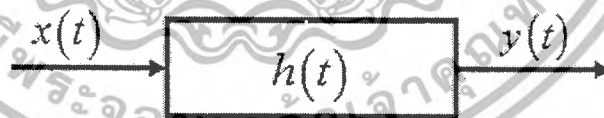
$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (3.11) เมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) dt = 1 \quad (3.12)$$

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายใน (3.12) จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t - t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Linear time invariance system) ค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใดๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

3.3.4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงนิยามตามสมการที่ 3.13 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.14 ถึงสมการที่ 3.16 ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{|r_a(\tau)r_b(\tau)|}} \quad (3.13)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.14)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_i(t+\tau)dt \quad (3.15)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.16)$$

โดยที่

$v_i(t)$ คือ สัญญาณส่ง

$v_r(t)$ คือ สัญญาณที่รับได้

3.3.5 ค่าสูญเสียเชิงวิถี

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 3.17

$$PL_{dB} = -20 \log \left(\frac{v_r(t)}{v_t(t)} \right) \quad (3.17)$$

โดยที่

v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์ค่าสูญเสียเชิงวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log \left[\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_r(t,d)|} \right] \quad (3.18)$$

โดยในสมการที่ 3.18 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log \left[\max |v_r(t,d)| \right] \quad (3.19)$$

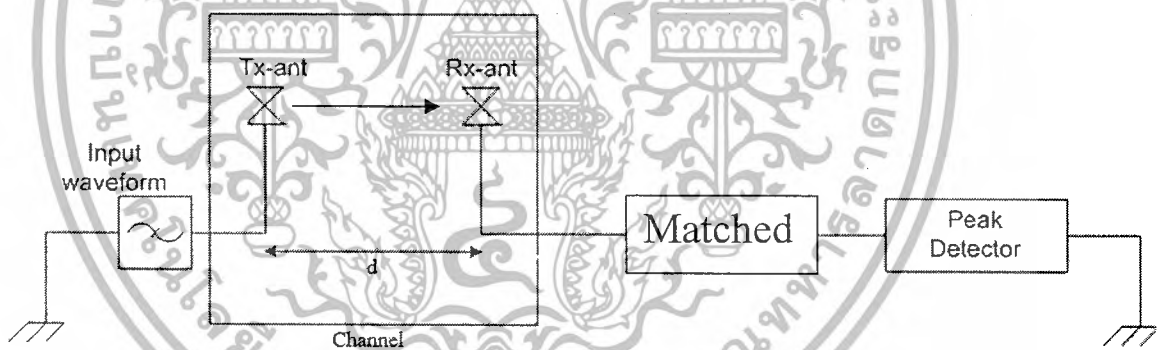
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าอัตราขยายการส่งผ่าน TG จะเป็นส่วนกลับของค่าสูญเสียเชิงวิถี โดยค่าอัตราขยายการส่งผ่านกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่างค่าแอมพลิจูดสัมบูรณ์สูงสุดของรูปคลื่นด้านส่งและรูปคลื่นด้านรับดังนี้

$$TG(d)[dB] = 20 \log \frac{\max |v_r(t, d)|}{\max |v_t(t)|} \quad (3.20)$$

3.3.6 แมตซ์ฟิลเตอร์ (Matched filter)

ในส่วนของภาครับได้ใช้วงจรแมตซ์ฟิลเตอร์เพื่อช่วยให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, SNR) มีค่าสูงที่สุดโดยบล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันถ่ายโอนของแมตซ์ฟิลเตอร์ $H_{MF}(f)$ แสดงในรูปที่ 3.6 และสมการที่ 3.21 ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้แมตซ์ฟิลเตอร์

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} V_r^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df}} \quad (3.21)$$

โดย $V_r(f)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณที่เอาที่พูดของแมตซ์ฟิลเตอร์ $V_{MF}(f)$ สามารถ คำนวณ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนของแมตซ์ฟิลเตอร์คูณกับฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณรับ $V_r(f)$ ดังสมการ

$$V_{MF}(f) = V_r(f) \cdot H_{MF}(f) \quad (3.22)$$

หลังจากที่ได้ความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสัญญาณที่เอาที่พูดของแมตซ์ฟิลเตอร์แล้ว เราสามารถหาค่ารูปคลื่นสัญญาณรับของแมตซ์ฟิลเตอร์ $v_{MF}(t)$ โดยการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ ดังสมการ

$$v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) e^{j2\pi ft} df \quad (3.23)$$

3.3.7 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่ยอมรับนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง ดังแสดงในสมการที่ 3.24 และค่าอัตราผิดพลาดบิตแสดงในสมการที่ 3.25

$$C_c = \frac{\int_0^{\infty} |V_c(f, d)| df}{\sqrt{\int_0^{\infty} |V_r(f, d)|^2 df \cdot \int_0^{\infty} |H_c(f, d)|^2 df}} \quad (3.24)$$

$$BER = Q\left[\sqrt{2(E_b/N_o)C_c}\right] \quad (3.25)$$

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

E_b/N_0 = energy = อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน

C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์



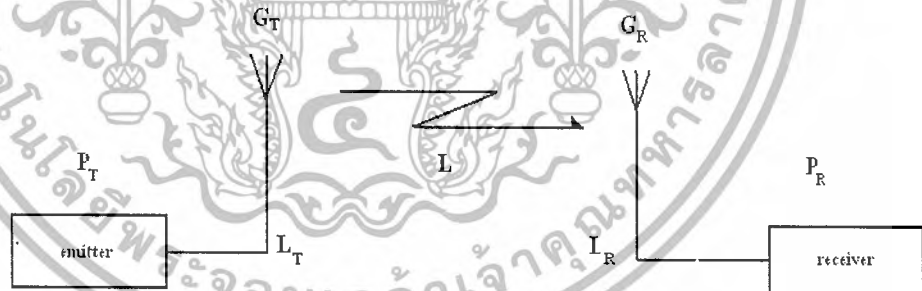
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ System Analysis

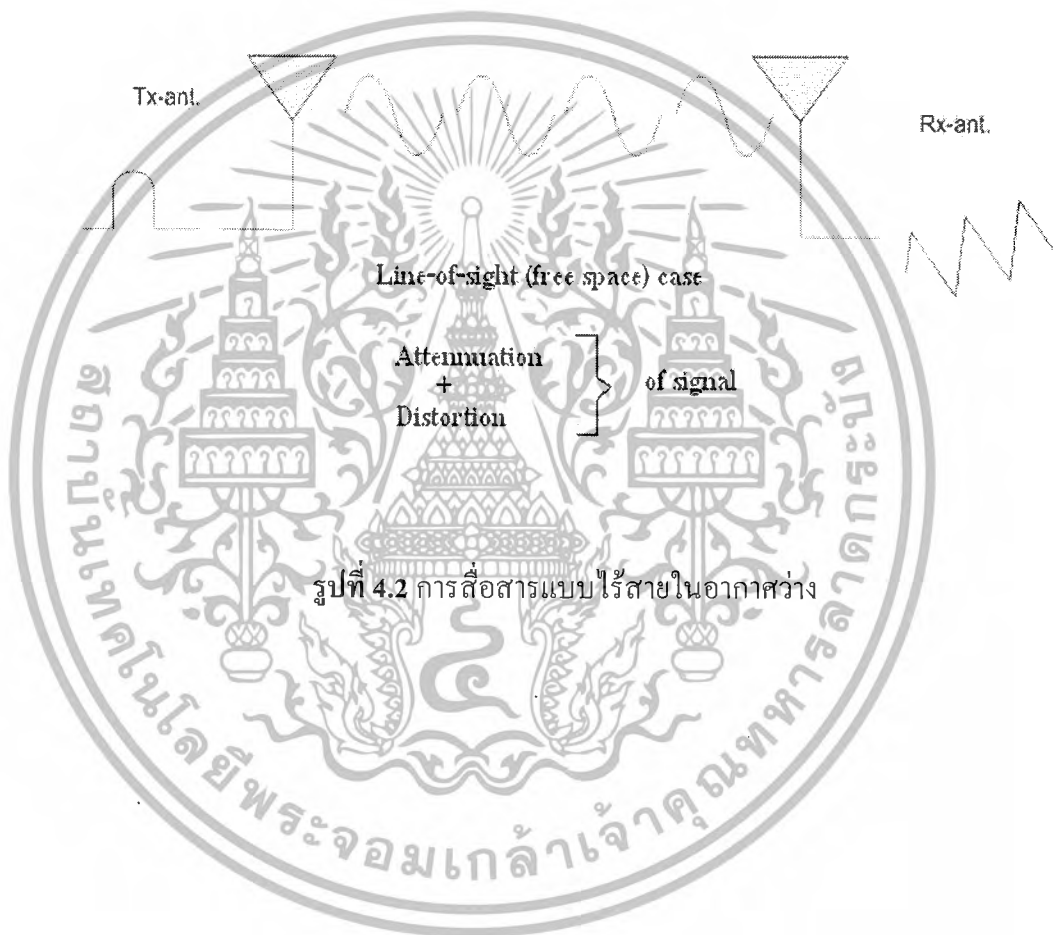
การสูญเสียเชิงระหว่างคู่ของสายส่งคืออัตราส่วนของกำลังการส่งผ่านต่อกำลังการรับ โดยปกติแล้วใช้หน่วยเป็นเดซิเบล (dB) รวมความเป็นไปได้ขององค์ประกอบทั้งหมดของการสูญเสียระหว่างการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง โดยในกรณีของช่องสัญญาณที่มีการจางหายของสัญญาณอย่างรวดเร็ว (Fast Fading) เป็นจำนวนมากเช่น ช่องสัญญาณเคลื่อนที่ (Mobile channel) การสูญเสียเชิงวิถีใช้กำลังเฉลี่ยผ่านหลายขั้นตอนของการจางหายของสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิถีนี้ยากที่จะทำการวัดได้โดยตรง เพราะมีการสูญเสียและอัตราการขยาย ในระบบที่ต้องพิจารณา เพื่อนิยามความเหมาะสมของการสูญเสียเชิงวิถีจำเป็นจะต้องพิจารณาการสูญเสียและอัตราการขยาย ในระบบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไร้สายดังแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 4.1 พื้นฐานการสื่อสารแบบไร้สาย

4.1.1 การวิเคราะห์ความถี่แบนด์กว้างยิ่ง (UWB Transmission Analysis)

ระบบไร้สายที่เป็น โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลนั้นจำเป็นที่สุดที่จะต้องมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง มีอัตราการส่งข้อมูลสูง กำลังที่ใช้ต่ำ สามารถรองรับผู้ใช้งานได้มาก และ ต้องมีราคาค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง โดยการสื่อสารจะถูกแสดงดังรูป



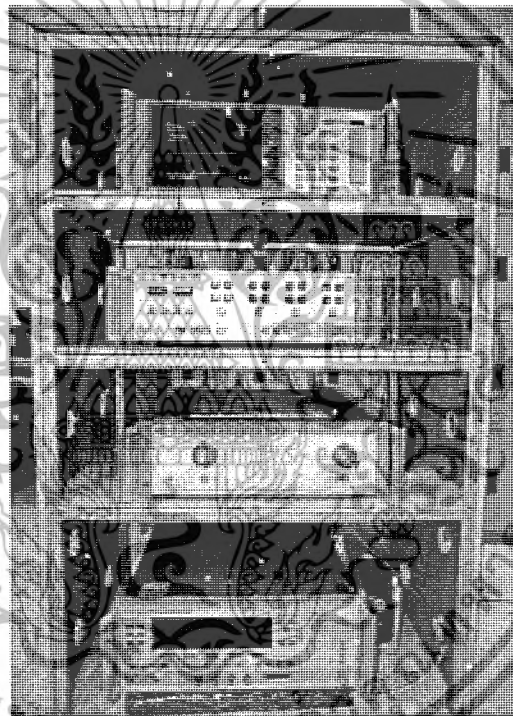
รูปที่ 4.2 การสื่อสารแบบไร้สายในอากาศว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer : VNA)

ใช้ในการวัดสัญญาณวิทยุในโดเมนความถี่ โดยสัญญาณวิทยุจะถูกสร้างขึ้น แล้วถูกส่งและรับโดยเครื่อง VNA นี้ ซึ่งทำให้การจัดตั้งการวัดทำได้ค่อนข้างง่าย สัญญาณที่ส่งจะเป็นชุดของสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่แคบ กระจายตัวครอบคลุมตลอดทั้งแถบความถี่ที่ต้องการ ผลที่ได้จากเครื่องวัดนี้ เรียกว่า S21-พารามิเตอร์ หรือก็คือผลตอบสนองความถี่ของย่านความถี่ช่องสัญญาณนั่นเอง



รูปที่ 4.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)

ลักษณะการแพร่กระจายเป็นแบบทุกทิศทาง (Omni directional) สามารถคำนวณหาสนามระยะใกล้ได้ดังนี้

จากสมการ

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

สนามระยะใกล้สุด $\lambda = \frac{c}{f_{\max}}$ เมื่อ f_{\max} มีค่าเท่ากับ 11GHz และ L มีค่าเท่ากับ 7.636 เซนติเมตร, c มีค่าเท่ากับ $3 \cdot 10^8$ เมตร/วินาที

ดังนั้น

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



รูปที่ 4.4 สายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นรูปแบบสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ~ 10.6 GHz โดยได้ใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband pulse) ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของช่องสัญญาณ โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{\min}) เท่ากับ 3.1 GHz ความถี่สูงสุด (f_{\max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz โดยสมการของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมแสดงดังสมการที่ 4.1

$$v_r(t) = \frac{1}{f_b} [f_{\max} \text{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{sinc}(2f_{\min}t)] \quad (4.1)$$

โดยที่ $f_{\min} = 3.1$ GHz คือความถี่ต่ำสุด

$f_{\max} = 10.6$ GHz คือความถี่สูงสุด

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$$

4.2.4 ฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับ

ตัวฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับนั้น ประกอบด้วยจุดตัดทั้งหมด 105 จุด ตัวโครงสร้างของฉากนั้น ประกอบขึ้นด้วยท่อ PVC อย่างหนา โดยด้านกว้างมีความยาว 2 เมตร และสูง 2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง

เรื่อง ช่องสัญญาณการแพร่กระจายแบบแถบกว้างยิ่ง ในแถบสูงด้วยสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร สำหรับโครงข่ายส่วนบุคคล

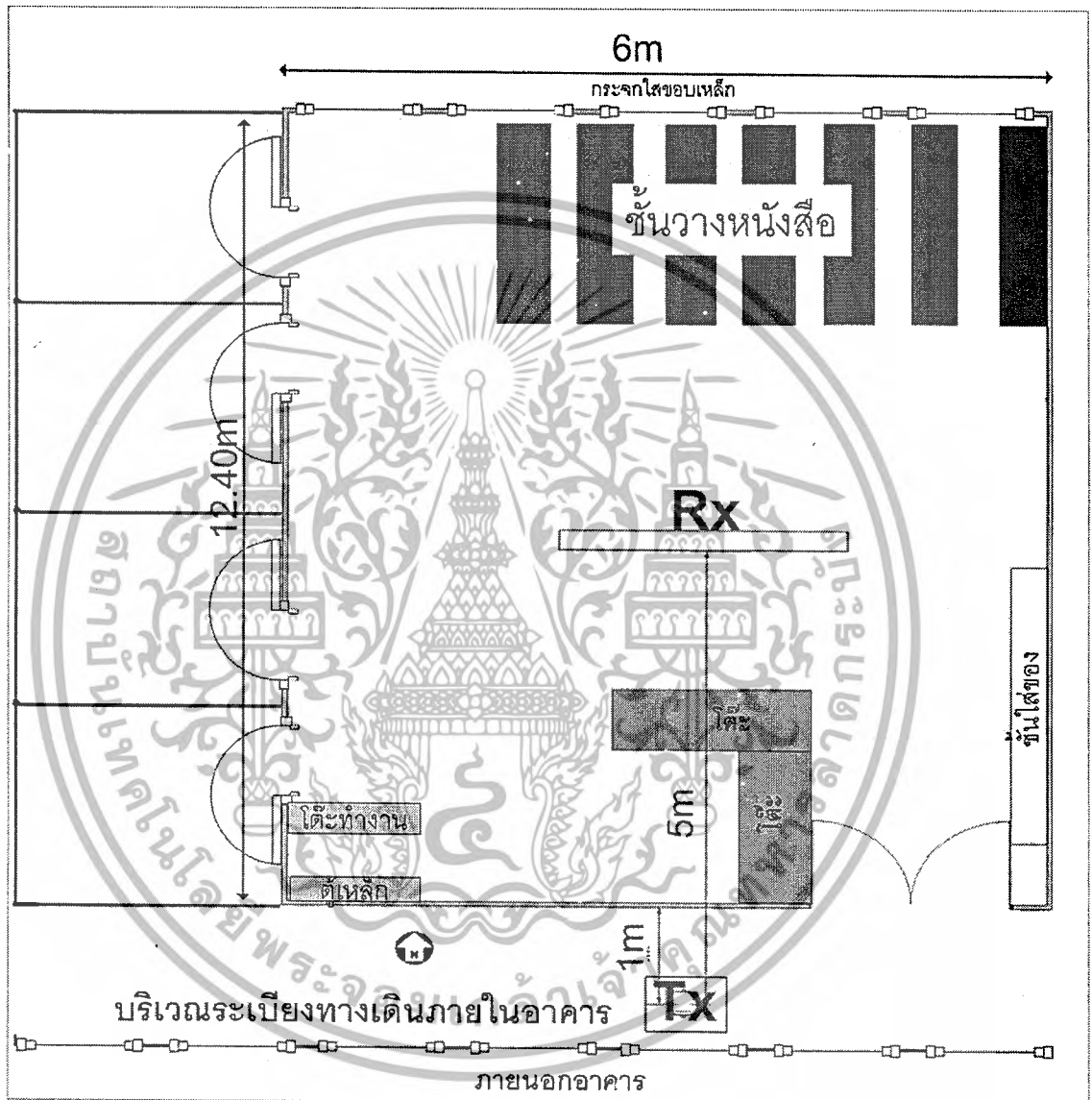
- จุดประสงค์
1. ออกแบบรูปแบบการวัดและทดสอบช่องสัญญาณ
 2. นำค่าที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง
 3. แสดงพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลอง
 4. ทำการประเมินผลของการทดลองต่างๆ

อุปกรณ์และเครื่องมือ	<ol style="list-style-type: none"> 1. เครื่อง vector network analyzer : VNA 2. สายอากาศแบบกรวยคู่ : Bioconical antennas 3. สาย semi-rigid coaxial cable ยาว 5 เมตร 4. สาย semi-rigid coaxial cable ยาว 10 เมตร 5. ชุด calibrating 6. คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ 7. ฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับ 	<p>1 เครื่อง</p> <p>1 คู่</p> <p>1 เส้น</p> <p>1 เส้น</p> <p>1 ชุด</p> <p>1 เครื่อง</p> <p>1 ชุด</p>
----------------------	--	--

วิธีการทดลอง

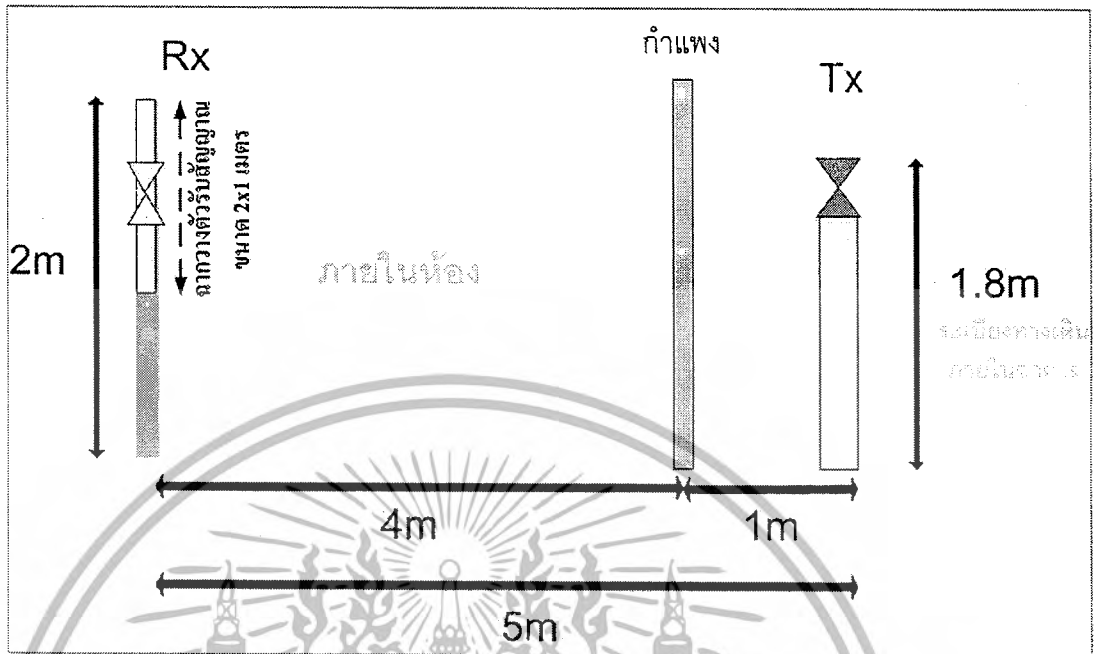
1. จัดเตรียมสถานที่ในการทดลอง กำหนดอาณาเขตในการติดตั้งสายอากาศทางด้านรับ โดยทำการติดตั้งเข้ากับฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศทางด้านรับ โดยกำหนดตำแหน่งในการติดตั้งไว้ทั้งหมดเป็นจำนวน 105 จุด และแต่ละจุดมีความห่างกับ 5 นิ้ว
2. จัดเตรียมเครื่องมือวัด ทำการอุ่นเครื่อง Vector Network Analyzer (VNA) เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมงก่อนการทดลอง จากนั้นทำการ calibrate แบบ full two-port เครื่องมือวัดเข้ากับสาย coaxial cable ทั้ง 2 เส้น โดยกำหนดย่านความถี่ตั้งแต่ 7-11 GHz และกำหนดจำนวนจุดความถี่ (Number of Frequency points) ไว้ทั้งหมด 801 จุด พร้อมบันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
3. เริ่มทำการวัดโดยเลือก S_{21} -Parameter
4. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง ไว้ที่ฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการคัดลอกข้อมูลจากการทดลองผ่านแผ่นฟลอปปีดิสก์
5. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

สถานที่ทำการทดลอง

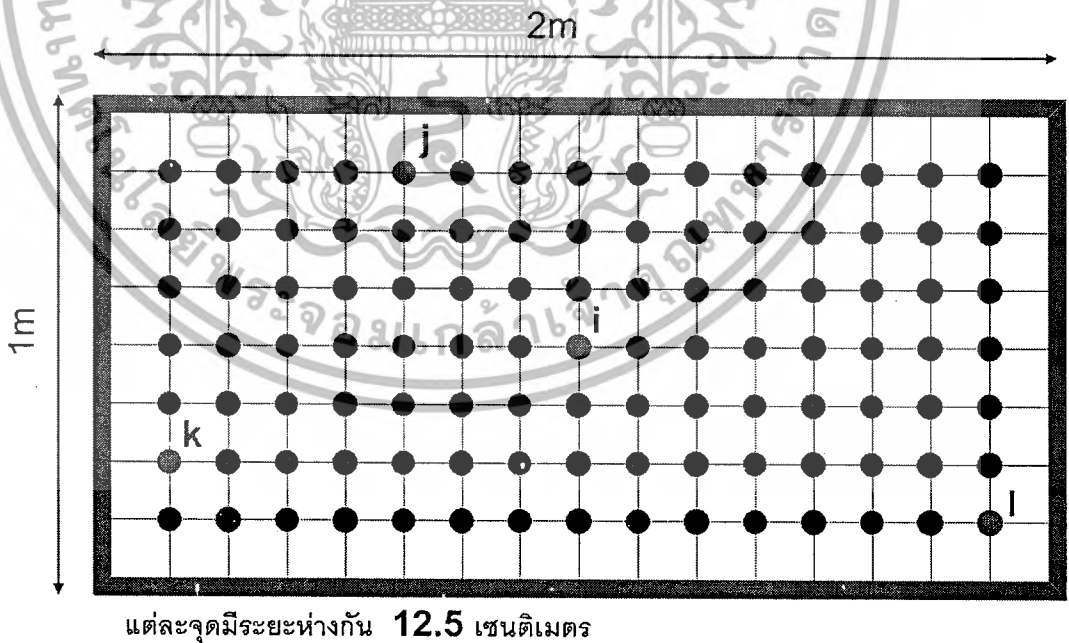


รูปที่ 4.6 สถานที่ในการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 มุมมองด้านข้างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ



รูปที่ 4.8 ฉากที่ใช้ในการติดตั้งสายอากาศด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวัด

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	7 GHz ถึง 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ความสูงสายอากาศด้านส่ง	1.8 เมตร
ความสูงสายอากาศด้านรับ	1.5-2.0 เมตร
ระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและรับ	5 เมตร
ระยะห่างแต่ละจุดของสายอากาศด้านรับ	5 นิ้ว
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณภายในอาคารผ่านสิ่งกีดขวาง ซึ่งแบบจำลองในการทดลองนั้นได้อธิบายไปในบทที่ 4 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณ อัตราขยายการส่งผ่าน ค่าความผิดเพี้ยนในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และอัตราผิดพลาดบิต และจะนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองมาทำการเปรียบเทียบและหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งรายละเอียดในหัวข้อต่างๆ จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.2 ผลการวิเคราะห์

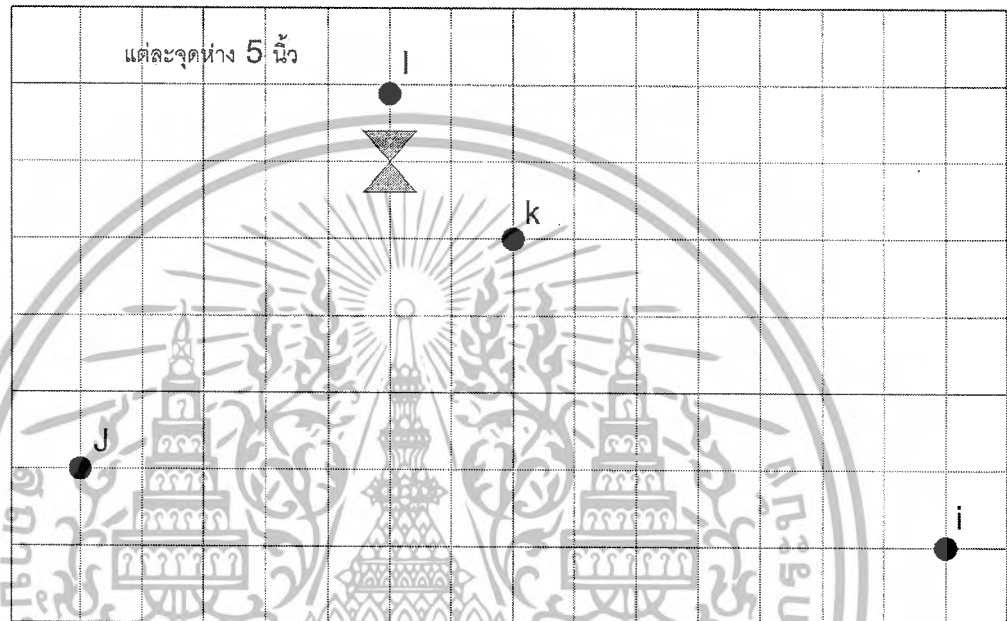
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

ในแบบจำลองนี้ได้ทำการวัดสัญญาณในสภาวะแวดล้อมระหว่างภายในอาคาร โดยเป็นการวัดสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวาง โดยทำการวางตำแหน่งของสายอากาศดั่งนั้น สายอากาศที่ด้านส่งจะถูกวางไว้นอกห้อง และสายอากาศด้านรับจะถูกติดตั้งไว้ภายในห้อง โดยสายอากาศทั้งสองจะมีสิ่งกีดขวางกั้นอยู่ (ในการทดลองนี้ สิ่งกีดขวางก็คือกำแพงห้อง) โดยสายอากาศที่ด้านรับจะถูกติดตั้งเข้ากับฉากสำหรับติดตั้งสายอากาศในด้านรับ และจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดของสายอากาศด้านรับไปตำแหน่งละ 5 นิ้ว โดยระหว่างสายอากาศส่งและรับจะมีกำแพงกั้นไว้ โดยที่สายอากาศด้านส่งสูง 1.8 เมตร และสายอากาศด้านรับจะกำหนดความสูงไว้ตั้งแต่ 1.5 – 2.0 เมตร โดยที่ทั้งสายอากาศสองเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่

โดยค่าพารามิเตอร์บางค่าจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟในบางจุดการวัดเท่านั้นและจะแสดงเป็นตารางในทุกๆจุดการวัด เนื่องจากถ้านำมาแสดงเป็นกราฟทุกจุดการวัด จะทำให้ยากต่อการพิจารณา เพราะว่าเป็นแบบจำลองที่หนึ่งนี้ได้ทำการวัดทั้งหมด 105 จุดการวัด โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดเพื่อใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะใช้ในการอ้างอิงตัวเลขตำแหน่งของผลการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการวัดของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์

ระยะห่างตำแหน่งแต่ละตำแหน่งจากสายอากาศส่งมายังตำแหน่งต่าง ๆ จะแสดงในตารางที่ 5.1

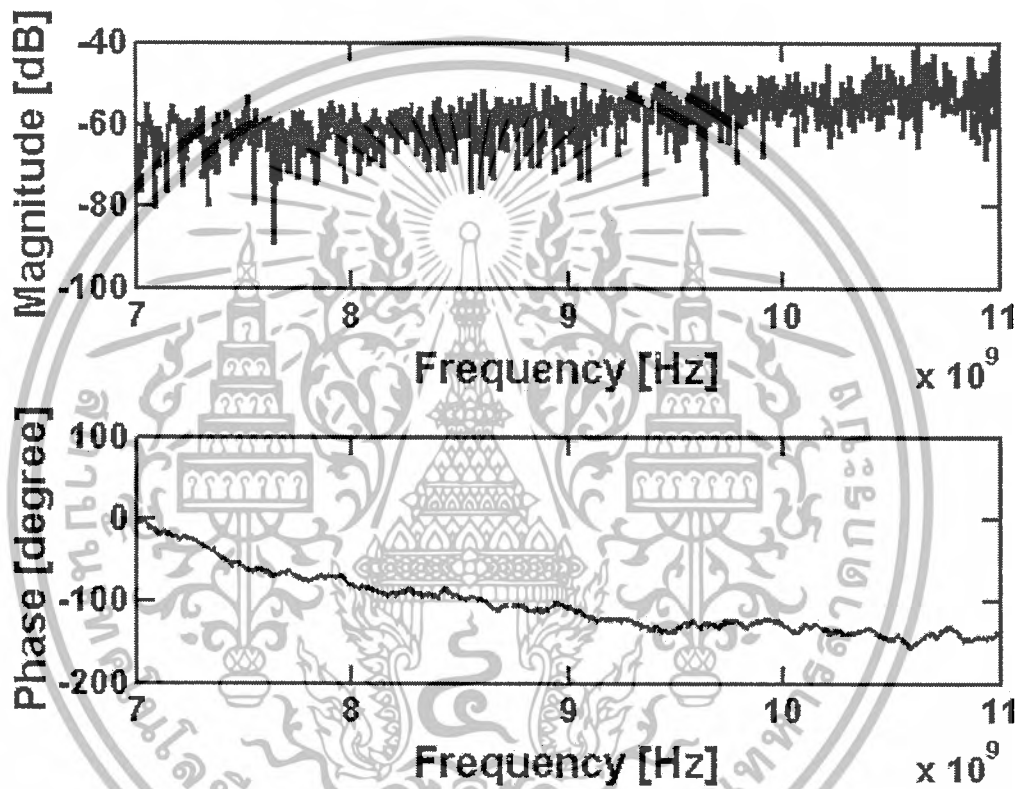
ตำแหน่งที่	ระยะทาง (เมตร)
i	5.123
j	5.089
k	5.000
l	5.012

ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งที่นำเสนอผลการวิเคราะห์

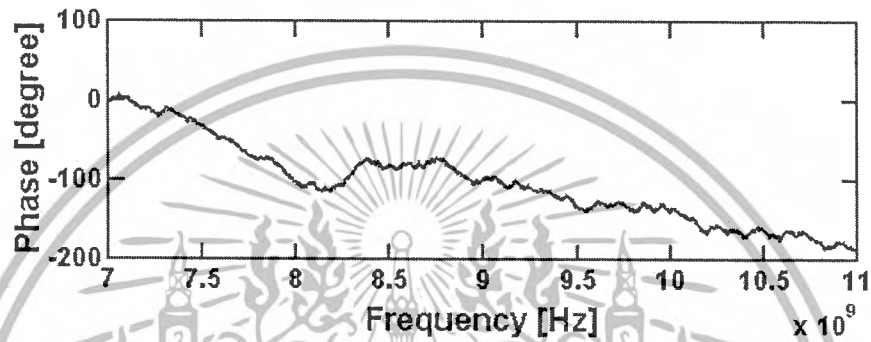
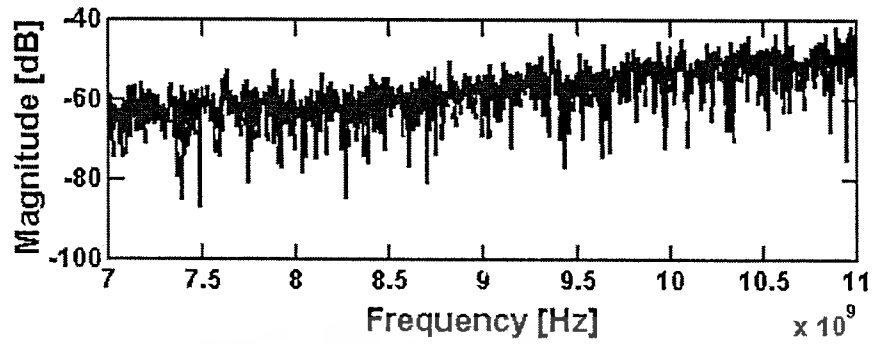
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

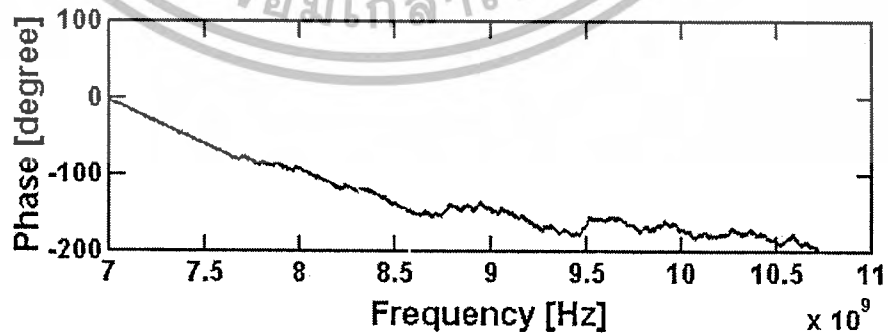
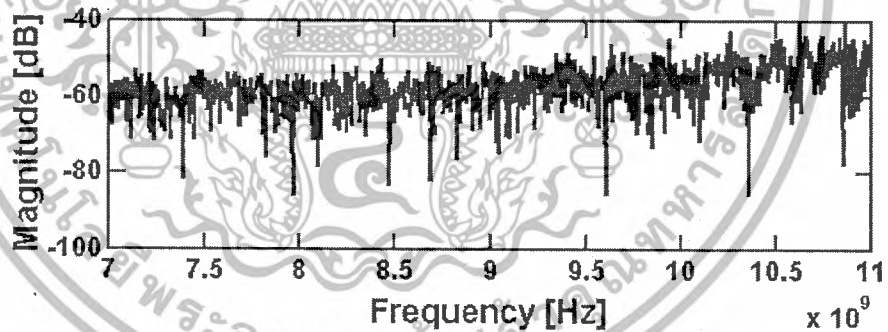
ฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณของแบบจำลองนี้ได้แสดงผลของตำแหน่งที่ i ซึ่งอ้างอิงจากรูปที่ 5.1 ข้างต้น คือที่ระยะทาง 5.123 เมตร โดยในรูปที่ 5.2 แสดงขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณและแสดงเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ ซึ่งมีค่าขนาดเฉลี่ยเท่ากับ -51.59 dB



รูปที่ 5.2 ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งของจุด i

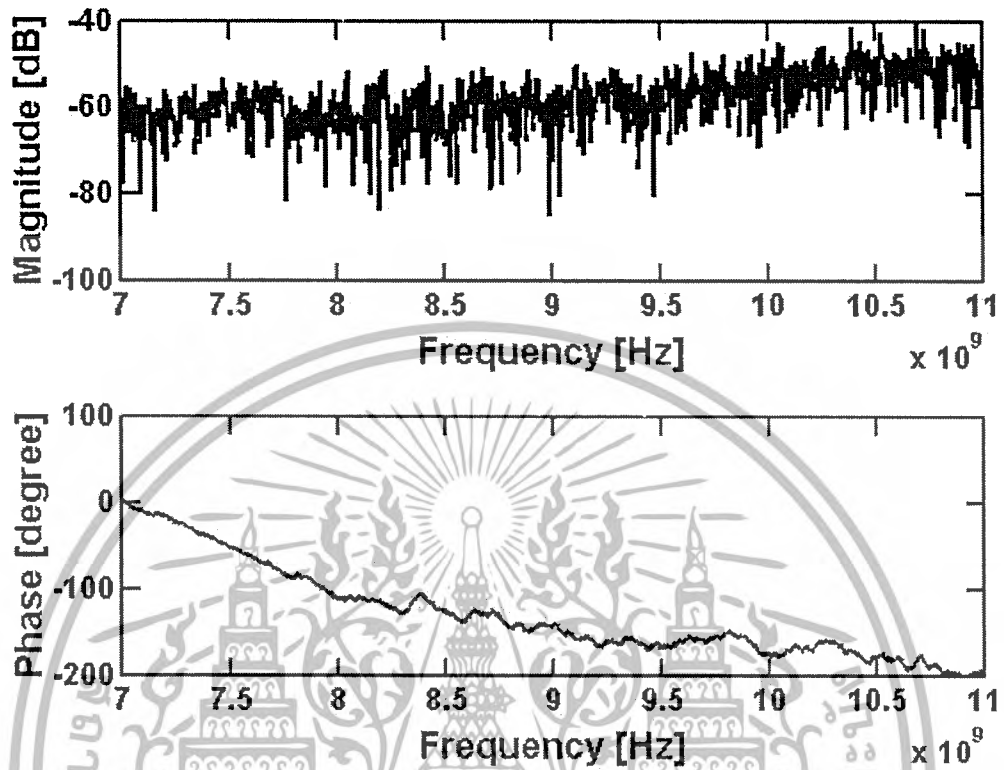


รูปที่ 5.3 ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งของจุด j



รูปที่ 5.4 ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งของจุด k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

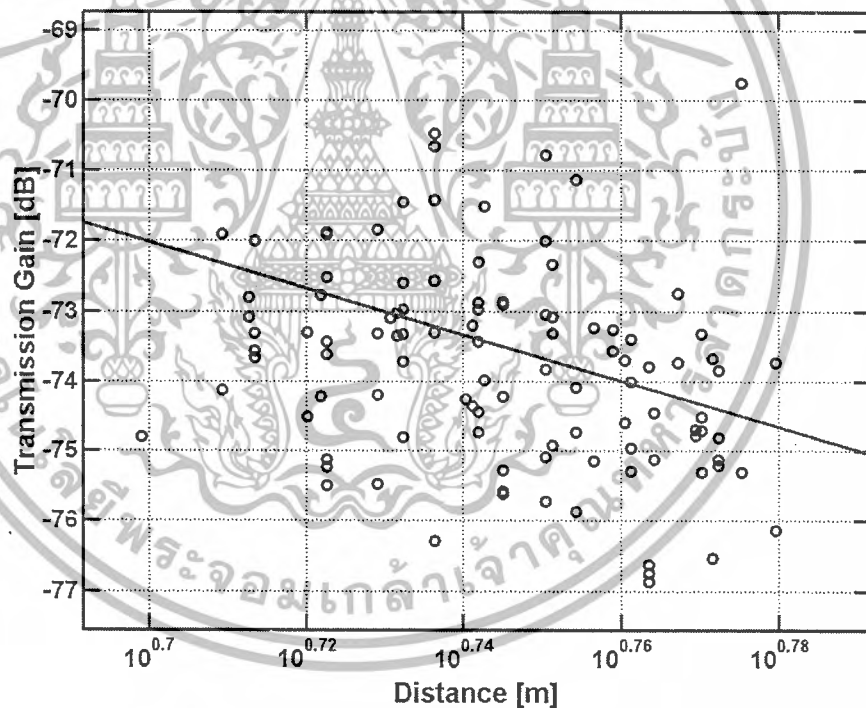


รูปที่ 5.5 ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณ และ เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งของจุด j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.2 อัตราในขยายการส่งผ่านของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

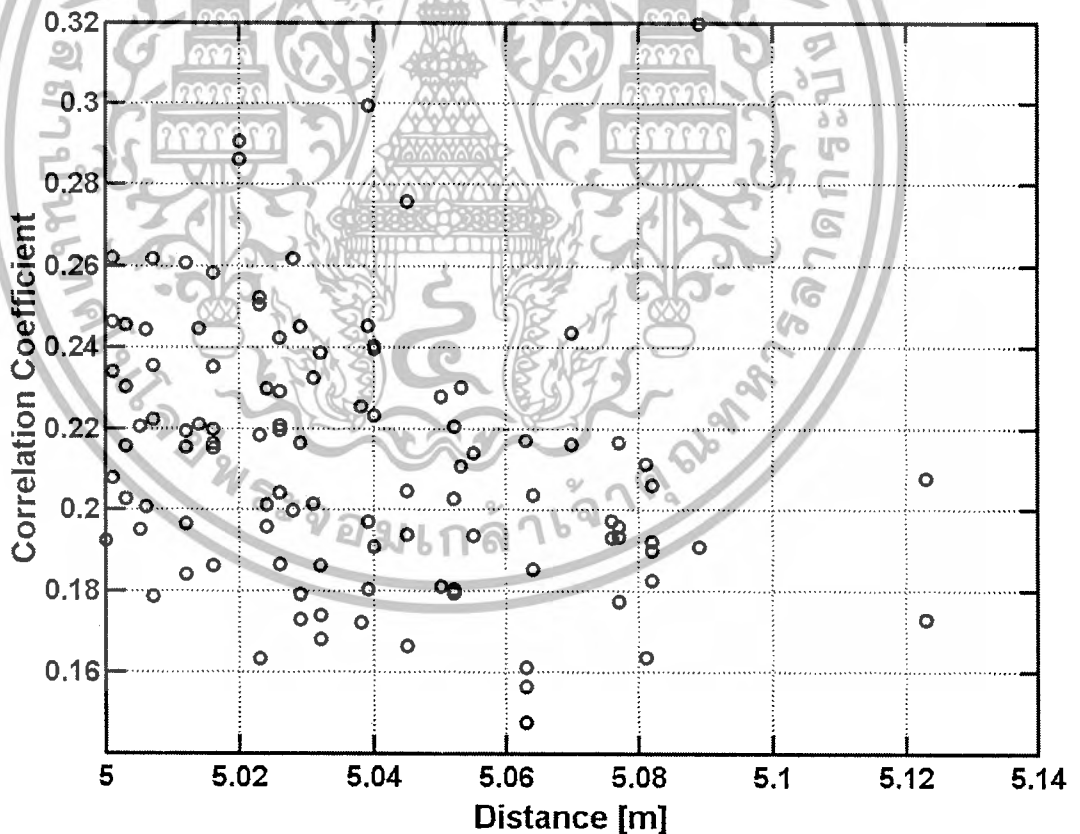
อัตราขยายการส่งผ่านจำลอง โดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression model) รูปที่ 5.3 แสดงอัตราขยายการส่งผ่านของแบบจำลอง และตารางที่ 5.2 แสดงค่าอัตราขยายการส่งผ่านของแต่ละตำแหน่ง จากรูปจะเห็นว่าที่ระยะ 5 เมตร มีค่าอัตราขยายการส่งผ่านอยู่ที่ -74.797 dB เมื่อระยะทางไกลขึ้นค่าอัตราขยายการส่งผ่านจะมีค่าลดลง แต่จะมีบางจุดที่มีอัตราขยายการส่งผ่านน้อยกว่าจุดที่ระยะทางมากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากในระยะทางนั้นการส่งผ่านอาจจะผ่านทั้งกำแพงและสิ่งกีดขวางอื่นๆด้วย เป็นผลให้อัตราขยายการส่งผ่านในตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าต่ำลงมาก



รูปที่ 5.6 อัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

5.2.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแถบกว้างยิ่ง จะพิจารณาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งรูปที่ 5.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลอง จากรูปจะเห็นว่าที่ระยะ 5 เมตรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.1923 และจะมีค่าลดลงไปตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยในระยะที่ 5.123 เมตร คือระยะที่ไกลที่สุดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.2080 และจากกราฟสังเกตได้ว่า ในบางตำแหน่งที่ระยะทางเท่ากัน แต่กลับมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ต่างกันมาก อาจเกิดจากแนวการวางสายอากาศด้านรับอยู่ในแนวการส่งผ่านที่มีกำแพงกั้นอยู่ระหว่างสายอากาศทั้งสอง จึงทำให้เกิดความผิดพลาด

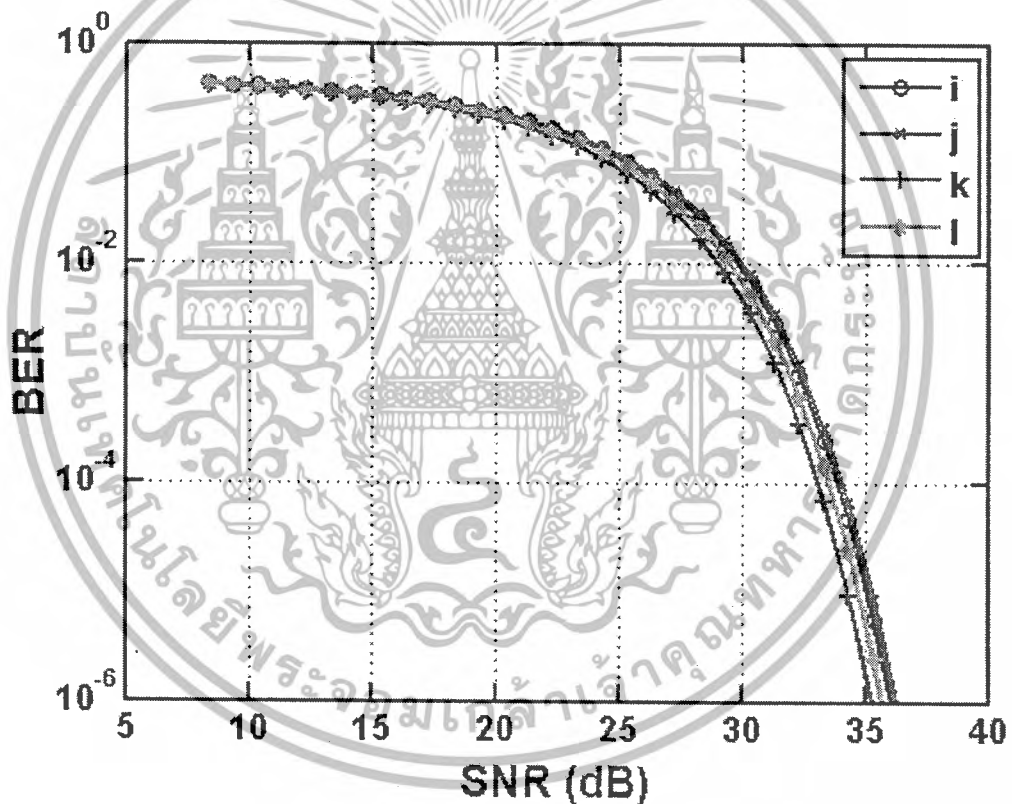


รูปที่ 5.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.4 อัตราผิดพลาดบิต

ในการวิเคราะห์หาผลของอัตราผิดพลาดบิตในแบบจำลองนี้จะนำเสนอผลของตำแหน่งที่ i , j , k และ l โดยอ้างอิงจากรูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.1 โดยผลของอัตราผิดพลาดบิตของแบบจำลองนี้ ได้แสดงดังรูปที่ 5.5 จะสังเกตได้ว่าจะมีสองจุดที่มีระยะห่างกันเพียงเล็กน้อย จะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดเพราะเป็นการส่งสัญญาณผ่านกำแพงซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ และที่ตำแหน่ง j จะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตที่สูง เนื่องจากในตำแหน่งของสายอากาศด้านรับมีสิ่งกีดขวางมากกว่า ตำแหน่งอื่นๆ

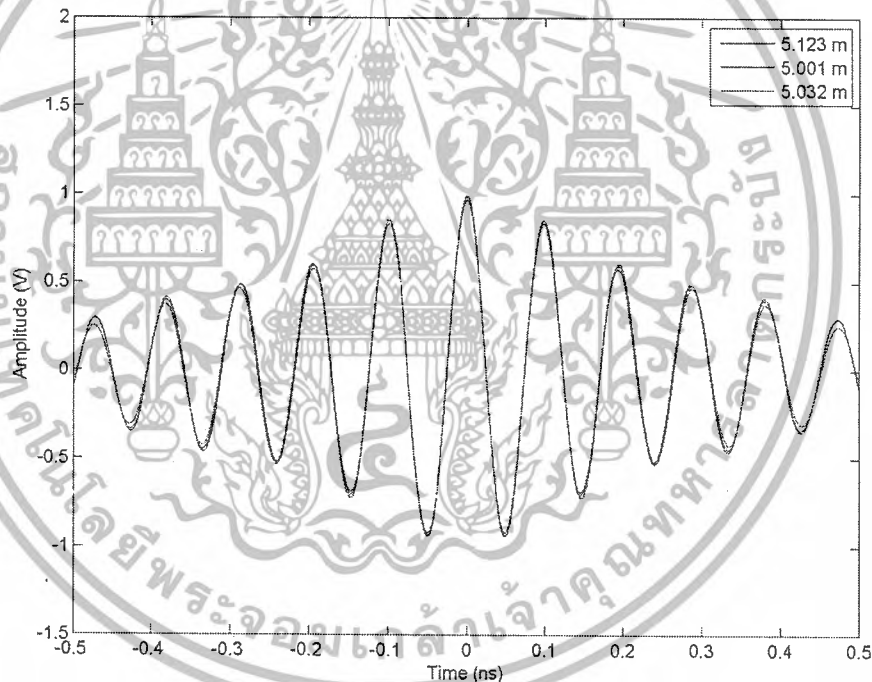


รูปที่ 5.8 อัตราผิดพลาดบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.5 แมตซ์ฟิลเตอร์

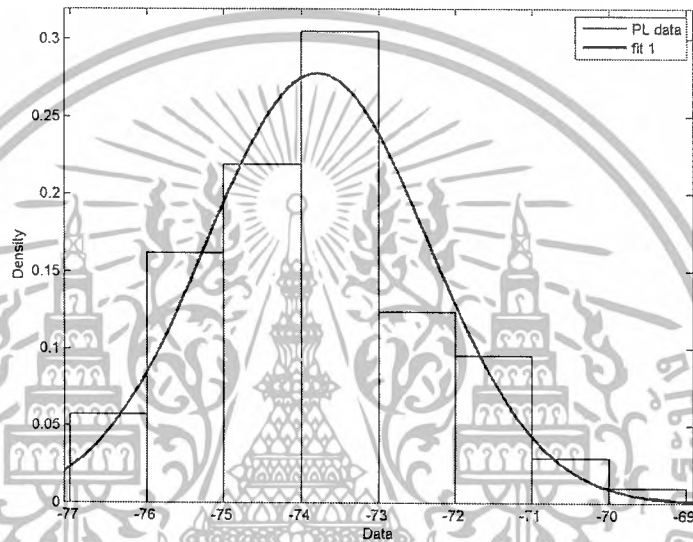
จากผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าน้อยมากที่ระยะทางมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่มากขึ้น จึงได้มีการทำการปรับปรุงสัญญาณด้านรับให้ดีขึ้น เช่นการใช้แมตซ์ฟิลเตอร์ โดยได้พิจารณาใช้แมตซ์ฟิลเตอร์ในการทำให้สัญญาณที่รับได้มีค่าดีที่สุด โดยของสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์แสดงดังรูปที่ 5.6 โดยในรูปนี้ได้แสดงผลของแอมพลิจูดของสัญญาณเมื่อผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์ในตำแหน่งการวัดตำแหน่งที่มีระยะห่างจากสายอากาศด้านส่ง 5.123, 5.001 และ 5.032 เมตร มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 0.9910 V และมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระยะทาง



รูปที่ 5.9 แอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณที่เอาท์พุทของแมตซ์ฟิลเตอร์โดยใช้แมตซ์ฟิลเตอร์

5.2.1.6 Probability Density Function (PDF)

จากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของข้อมูลที่สูงที่สุดซึ่งจะมีค่า-74 dB สาเหตุที่ความหนาแน่นไปรวมตัวกันมีค่าที่น้อยกว่าปกติ เพราะมีการสูญเสียที่เกิดจากการวัดซึ่งทะลุกำแพงออกมา ทำให้เกิดการสะท้อนขึ้น



รูปที่ 6.0 กราฟแสดงความหนาแน่นของข้อมูล (PDF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.7 Commulative Distribution Function (CDF)

จากกราฟจะแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานสะสมของจุดบนฉากที่ทำการทดลอง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามเส้นอ้างอิงสีแดง



รูปที่ 6.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้พิจารณาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งที่เกิดจากผลกระทบของสภาวะแวดล้อมการใช้งานภายในอาคารในแถบความถี่ด้านสูง คือตั้งแต่ความถี่ระหว่าง 7 GHz ถึง 11 GHz โดยอาศัยพื้นฐานของการวัดค่าจริงในสภาวะแวดล้อมจากระเบียงห้องซึ่งได้ทำการวัดและทดสอบสัญญาณที่อาคารเรียนตึก E-12 ชั้น 12 ห้องสมุดภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีจุดรับสัญญาณที่ใช้ทำการทดลองทั้งหมด 105 จุด โดยจุดทั้งหมดที่ทำการทดลองจะถูกติดตั้งอยู่บนฉากที่ทำขึ้นด้วยตัวเองและถูกวางไว้ในห้องสมุดเพื่อติดตั้งสายอากาศด้านรับเพื่อทำการทดลอง โดยแบบจำลองจะแสดงในบทที่ 4 และผลการวิเคราะห์จะแสดงในบทที่ผ่านมา และในบทนี้จะทำการสรุปผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์สัญญาณจริง

6.2 สรุปผลการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ

จากผลการทดลองในบทที่ 5 จะสามารถสรุปได้ว่า สิ่งกีดขวางมีผลกระทบต่อสัญญาณส่งจริง โดยจะส่งผลต่อค่าที่ได้เช่น ที่ตำแหน่ง 1 จะมีค่าอัตราขยายการส่งผ่านอยู่ที่ -74.797 dB เมื่อระยะทางไกลขึ้นค่าอัตราขยายการส่งผ่านจะมีค่าลดลง แต่จะมีบางจุดที่มีอัตราขยายการส่งผ่านน้อยกว่าจุดที่ระยะทางมากกว่า ซึ่งอาจเกิดจากในระยะทางนั้นการส่งผ่านอาจจะผ่านทั้งกำแพงและสิ่งกีดขวางอื่นๆด้วย ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเห็นว่าที่ระยะ 5 เมตรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.1923 และจะมีค่าลดลงไปตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยผลของอัตราผิดพลาดบิตจะสังเกตได้ว่าจะมีสองจุดที่มีระยะห่างกันเพียงเล็กน้อย จะมีค่าอัตราการผิดพลาดบิตที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดเพราะเป็นการส่งสัญญาณผ่านกำแพงซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับ จากผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าน้อยมากที่ระยะทางมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดพลาดของสัญญาณที่มากขึ้น จึงได้มีการทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงสัญญาฉบับรับให้ดีขึ้น เช่นการใช้เมตซ์ฟิลเตอร์ โดยได้พิจารณาใช้เมตซ์ฟิลเตอร์ในการทำให้สัญญาฉบับรับได้มีค่าดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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] ยุทธนา ดิยวรรณันท์ . 2549 . การสูญเสียในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งระหว่างสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและภายนอกอาคาร สำหรับการสื่อสารระยะสั้น . กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง