

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสัญญาณการส่งผ่านวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใน HDTV
Study on Ultra Wideband Radio Transmission Signal for HDTV Application



โดย
นายฉัฐพล คำชุ่ม
นายธีรเวศร์ งามขำ
นางสาวปาริฉัตร บันทยา

เลขที่.....
83323
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ค. 2551

b. 118. ๒๒2๑4
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON ULTRA WIDEBAND RADIO TRANSMISSION SIGNAL
FOR HDTV APPLICATION**



BY
Mr. NATTAPON KAMCHOOM
Mr. TEERAVED NGAMKHAM
Miss PARICHAT PUNYA

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

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาสัญญาณการส่งผ่านวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใน HDTV

ชื่อนักศึกษา -

1. นายณัฐพล	คำชุ่ม	รหัสประจำตัว	47012097
2. นายธีรเวศร์	งามขำ	รหัสประจำตัว	47012109
3. นางสาวปาริฉัตร	ปิ่นหยง	รหัสประจำตัว	47012117

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล
อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....
(ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาสัญญาณการส่งผ่านวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใน HDTV

ชื่อนักศึกษา

1. นายณัฐพล คำชุ่ม	รหัสประจำตัว	47012097
2. นายธีรเวศร์ งามขำ	รหัสประจำตัว	47012109
3. นางสาวปาริฉัตร ปั้นหยง	รหัสประจำตัว	47012117

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล
อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาสัญญาณ การส่งผ่านวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้ใน HDTV วัตถุประสงค์สำคัญในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คือ ศึกษา ระบบ Ultra Wideband และการประยุกต์ใช้ ศึกษาหลักการการทำงานของ HDTV และระบบ MB-OFDM โดยการใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณของระบบ MB-OFDM การศึกษาในโครงการนี้ได้ทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยการใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ด้วยความถี่ 3.1 GHz ถึง 5.0 GHz เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยออกแบบจำลองเพื่อทำการวัดถึง 4 รูปแบบ เพื่อหาความแตกต่างและเปรียบเทียบผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Study on Ultra Wideband Radio Transmission Signal for HDTV Application

Student - Mr. Nattapon Kamchoom ID. 47012097
Mr. Teeraved Ngamkham ID. 47012109
Miss Parichat Punya ID. 47012117

Advisor Assoc. Prof. Pisan Sittiyopasakul
Mr.Sathaporn Promwong

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2007

ABSTRACT

This thesis study on ultra wideband (UWB) radio transmission signal for HDTV application. The main purpose is to study about ultra wideband technology and application study main property of HDTV and MB-OFDM using MATLAB for study signal of MB-OFDM system. This project learns measurement with vector Network Analyzer using Biconical antenna will be allocated from 3.1 GHz to 5.0 GHz find parameter of and experimental by design for different kind of model to compare and analyst the results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเป็นผลเนื่องมาจากความอดทน และช่วยเหลือ
เกื้อกูลกันของเพื่อนๆ พี่ๆ และผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามอีกหลายท่าน ตลอดระยะเวลาการทำโครงการนี้
ได้รับการสนับสนุนจาก อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ และ อาจารย์ไพศาล สิทธิโยภาสกุล รวมถึง
อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำเกี่ยวกับรายละเอียดใน
โครงการนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนทางการศึกษา อีกทั้งสิ่ง
ดีๆ และทุกอย่างมาโดยตลอด รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยเป็นขวัญและกำลังใจเสมอมา

ผู้จัดทำ

นายณัฐพล

คำชุ่ม

นายธีรเวศร์

งามจำ

นางสาวปาริฉัตร

ปิ่นหยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ขั้นตอนดำเนินการ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 อีเทอร์เน็ต	4
2.1.1 เทคโนโลยีระบบสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่ง	4
2.1.2 คุณลักษณะของระบบสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่ง	6
2.1.3 ข้อบังคับการใช้งานในสหรัฐอเมริกา	6
2.1.4 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัม	7
2.1.5 ข้อบังคับการใช้งานในยุโรป	8
2.1.6 การนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่งไปใช้งาน	9
2.2 High Definition Television (HDTV)	11
2.2.1 กล่าวนำ	11
2.2.2 หลักการทำงานของ HDTV	11
2.2.3 เปรียบเทียบระหว่าง HDTV และ SDTV	13
2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	14
2.3.1 กล่าวนำ	14
2.3.2 ระบบ OFDM	17
2.3.3 หลักการและโครงสร้างของ OFDM	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4 การนำเข้ารหัสสัญญาณ	21
2.5 Adaptive Modulation (QPSK)	22
2.6 สัญญาณรบกวน (Noise)	23
2.6.1 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN	23
2.6.2 ช่องสัญญาณหลายวิถี (multi-path channel)	24
2.6.2.1 คุณสมบัติของคลื่น	24
2.6.2.2 การสูญเสียจากร่างกายมนุษย์	25
2.7 สรุป	25
บทที่ 3 การออกแบบและการทดลองด้วยโปรแกรม Simulink	
3.1 คำนำ	26
3.2 Simulink	26
3.3 การออกแบบชุดจำลองการทำงาน	28
3.3.1 ชุดส่งสัญญาณ	28
3.3.2 ชุดรับสัญญาณ	29
3.3.3 ภาพบล็อกช่องสัญญาณรบกวน	31
3.3.4 ภาพบล็อกอุปกรณ์แสดงสัญญาณ	32
3.3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	33
3.3.6 ภาพตำแหน่งสัญญาณและลักษณะสเปกตรัมแบบไม่มีสัญญาณรบกวน	34
3.3.7 CM1 ช่องสัญญาณ Line of sight (LOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร	37
3.3.8 CM2 ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร	38
3.3.9 CM3 ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทาง 4-10 เมตร	39
3.3.10 CM4 ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทางมากกว่า10 เมตร	40
3.3.11 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Impulse Response)	41
3.4 สรุป	43
บทที่ 4 ระบบการทดลอง (Experimental system)	
4.1 คำนำ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	44
4.2.1 การประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส สำหรับระบบ UWB	47
4.3 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate: BER)	50
4.4 Time Dispersion Parameters	50
4.5 อัตราการขยายกำลัง (Power gain)	52
4.6 แบนด์วิธของสายอากาศ	52
4.7 การออกแบบการทดลอง	54
4.7.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	54
4.7.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	54
4.7.1.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)	55
4.8 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง	57
4.9 แบบจำลองการทดลอง	59
4.9.1 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 1	59
4.9.2 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 2	60
4.9.3 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 3	61
4.9.4 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 4	62
4.10 สรุป	63
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
5.1 กล่าวนำ	64
5.2 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง	64
5.3 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 1	65
5.4 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 2	70
5.5 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 3	75
5.6 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 4	80
5.7 การเปรียบเทียบการทดลอง	85
5.8 สรุปการทดลอง	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 6 สรุปลผลการทดลอง	
6.1 สรุปลผลการทดลอง	91
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง	92
6.3 แนวทางการพัฒนาโครงการ	92

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานของระบบ UWB และระบบแถบแคบ	1
รูปที่ 1.2	ระดับจำกัดการแพร่กำลังงานและความถี่ภายในอาคารของประเทศญี่ปุ่น	2
รูปที่ 2.1	ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร	7
รูปที่ 2.2	ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานและความถี่ที่ใช้ภายในอาคาร	8
รูปที่ 2.3	ระบบเสียงในโรงภาพยนตร์	13
รูปที่ 2.4	ระบบเสียงในบ้าน ระบบ HDTV	13
รูปที่ 2.5	ภาพเปรียบเทียบระหว่าง HDTV และ SDTV	14
รูปที่ 2.6	ความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบ Spread Spectrum กับ OFDM	15
รูปที่ 2.7	OFDM เปรียบเทียบกับการสื่อสารแบบ Spread Spectrum ชนิด Single Carrier Mode	16
รูปที่ 2.8	ตัวอย่างของ OFDM spectrum (a) single sub channel (b) 5 carriers	17
รูปที่ 2.9	บล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของ OFDM	18
รูปที่ 2.10	สัญญาณเชิงซ้อนโคเมนความถี่ ถูกแปลงฟูเรียร์ผกผัน (IFFT) ทำให้ได้เป็นสัญญาณจริง โคนเมนเวลา	20
รูปที่ 2.11	Reed-Solomon codes	21
รูปที่ 2.12	แสดงการเลื่อนของเฟส QPSK	22
รูปที่ 3.1	แสดงหน้าต่างของโปรแกรม simulink	27
รูปที่ 3.2	ชุดอุปกรณ์การส่งสัญญาณ	28
รูปที่ 3.3	ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณ	29
รูปที่ 3.4	บล็อกไดอะแกรมของระบบ MB-OFDM	33
รูปที่ 3.5	ตำแหน่งของสัญลักษณ์ที่ผ่านการมอดูเลตแบบ QPSK	34
รูปที่ 3.6	สเปกตรัมของระบบทางด้านส่ง แบบไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 3.43 GHz	35
รูปที่ 3.7	สเปกตรัมของระบบทางด้านส่ง แบบไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 3.96 GHz	35
รูปที่ 3.8	สเปกตรัมของระบบทางด้านส่ง แบบไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 4.49 GHz	35
รูปที่ 3.9	สเปกตรัมของระบบ MB-OFDM ทางด้านรับแบบไม่มีช่องสัญญาณรบกวน	36
รูปที่ 3.10	สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM1	37
รูปที่ 3.11	การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM1	37
รูปที่ 3.12	สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM2	38

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM2	38
รูปที่ 3.14 สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM3	39
รูปที่ 3.15 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM3	39
รูปที่ 3.16 สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM4	40
รูปที่ 3.17 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM4	40
รูปที่ 3.18 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM1	41
รูปที่ 3.19 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM2	41
รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM3	42
รูปที่ 3.21 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM4	42
รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย	44
รูปที่ 4.2 รูปแบบการส่งถ่ายของเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล	47
รูปที่ 4.3 รูปแบบการส่งไร้สายแบบเส้นทางตรง (Line of Side)	47
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณภายในอาคาร	51
รูปที่ 4.5 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	54
รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่	55
รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบกรวยคู่	56
รูปที่ 4.8 แบบจำลองสถานที่ทดลอง	58
รูปที่ 4.9(ก) รูปแบบจำลองที่ 1	59
รูปที่ 4.9(ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 1	59
รูปที่ 4.10(ก) รูปแบบจำลองที่ 2	60
รูปที่ 4.10(ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 2	60
รูปที่ 4.11(ก) รูปแบบจำลองที่ 3	61
รูปที่ 4.11(ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 3	61
รูปที่ 4.12(ก) รูปแบบจำลองที่ 4	62
รูปที่ 4.12(ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 4	62
รูปที่ 5.1 แบบจำลองการวัดที่ 1	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่	67
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	68
รูปที่ 5.4 ค่าอัตราบิดผิดพลาดแบบจำลองที่ 1	69
รูปที่ 5.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 1	69
รูปที่ 5.6 แบบจำลองการวัดที่ 2	70
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่	72
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	73
รูปที่ 5.9 ค่าอัตราบิดผิดพลาดแบบจำลองที่ 2	74
รูปที่ 5.10 Power Delay Profile แบบจำลองที่ 2	74
รูปที่ 5.11 แบบจำลองการวัดที่ 3	75
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่	77
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	78
รูปที่ 5.14 ค่าอัตราบิดผิดพลาด	79
รูปที่ 5.15 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 3	79
รูปที่ 5.16 แบบจำลองการวัดที่ 4	80
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่	82
รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่	83
รูปที่ 5.19 ค่าอัตราบิดผิดพลาด	84
รูปที่ 5.20 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 4	84
รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4	85
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4	86
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ที่ระยะ 5 เมตร	87
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ที่ระยะ 5 เมตร	88
รูปที่ 5.25 ค่าอัตราผิดพลาดบิตทั้ง 4 แบบ	89
รูปที่ 5.26 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 1, 2, 3 และ 4	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดระหว่างระดับพลังงานกับย่านความถี่กำหนดโดย FCC	7
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดระหว่างระดับพลังงานกับย่านความถี่กำหนดโดย ITU	9
ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบความต้องการช่องสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายต่างๆ	9
ตารางที่ 2.4 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC	10
ตารางที่ 2.5 บิตสัญลักษณ์ต่อการเลื่อนเฟส QPSK	23
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ Multiband -OFDM	34
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง	64
ตารางที่ 5.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1	65
ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 1	66
ตารางที่ 5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 2	70
ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 2	71
ตารางที่ 5.6 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 3	75
ตารางที่ 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 3	76
ตารางที่ 5.8 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 4	80
ตารางที่ 5.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 4	81
ตารางที่ 5.10 ตารางเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4	85
ตารางที่ 5.11 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบัน ความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานเริ่มมีสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายภายในอาคาร สำนักงาน หรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบ ด้วย Wi-Fi, Bluetooth และเทคโนโลยีคลื่นสั้น (Short-length) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจในวงกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยี Ultra wideband (UWB) ซึ่งคาดว่าจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ ด้วยความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth อย่างเห็นได้ชัด

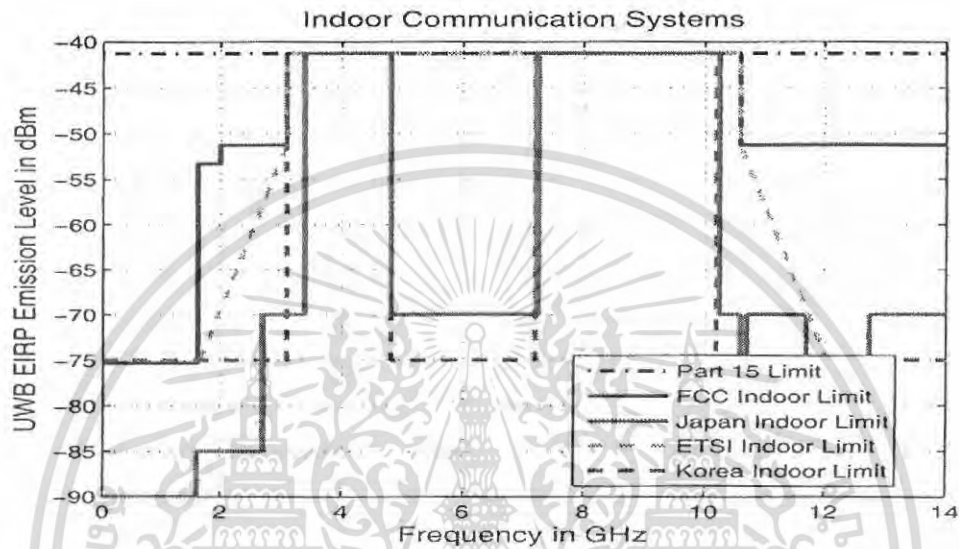


รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแอมป์กำลังงานของระบบ UWB และระบบแถบแคบ

จากรูปที่ 1.1 จะพบว่าระดับกำลังงานของระบบการสื่อสาร UWB นั้นจะอยู่ในระดับที่ต่ำ ดังนั้นสัญญาณของระบบการสื่อสาร UWB จึงไม่ไปรบกวนกับสัญญาณของระบบสื่อสารเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุให้สามารถนำเอาระบบการสื่อสาร UWB ไปใช้งานในที่ๆ มีระบบการสื่อสารเดิมใช้อยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2006 Ministry of Internal Affairs and Communications ประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนด ช่วงความถี่ของเทคโนโลยี UWB ช่วง Low Band ไว้ที่ 3.4 – 4.8 GHz และ ช่วง High Band ที่ 7.25 – 10.25 GHz ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานภายในอาคารไม่เกิน -40 dBm/MHz ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ระดับจำกัดการแผ่กำลังงานและความถี่ภายในอาคารของประเทศญี่ปุ่น

เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN) ในอนาคตอันใกล้จะมีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระบบใหม่เข้ามาในประเทศไทย นั่นก็คือระบบการสื่อสารไร้สายแถบความถี่กว้างยิ่ง โดยในปฏิญญาพนธ์เล่มนี้จะใช้ชื่อย่อว่า UWB ซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a โดย UWB มีลักษณะเด่นกว่าเทคโนโลยีโครงข่ายส่วนบุคคลแบบไร้สายดังนี้

1. มีแบนด์วิดท์ในการส่งที่มากคือ 3.1 GHz – 10.6 GHz ซึ่งช่วงความถี่ Low Band ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับ HDTV อยู่ที่ 3.1 GHz – 5.0 GHz
2. สามารถส่งผ่านข้อมูลได้มากถึง 110 Mbps ในระยะรัศมี 10 เมตร
3. สัญญาณสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้
4. ลดปัญหาการเกิด Multipath และ Interference ในการส่งสัญญาณ
5. ใช้กำลังงานในการส่งที่ต่ำเพียง 10 nW
6. ราคาถูกกว่าระบบแบนด์แคบ (Narrow band)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นโครงการนี้จะทำนำเอาข้อดีของ UWB มาประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณใน HDTV หรือ High Definition Television

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเทคโนโลยีของ Ultra Wideband และการประยุกต์ใช้สำหรับสัญญาณภาพ
2. ศึกษาเทคโนโลยีในการส่งผ่านของ HDTV
3. เพื่อออกแบบและจำลองรูปแบบของการวัดและการทดสอบการส่งผ่านของสัญญาณแบบกว้างยิ่ง
4. เพื่อศึกษาและทดลองว่าการส่งผ่านของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับ HDTV
5. เพื่อศึกษาวิเคราะห์อัตราขยายของการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับ HDTV

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาเทคโนโลยี Ultra Wideband IEEE 802.15.3a (WPAN)
2. ออกแบบรูปแบบการจำลองและการวัดช่องสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย HDTV
3. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลพารามิเตอร์ต่างๆ ของแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบ HDTV

1.4 ขั้นตอนดำเนินการ

1. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และหลักการของ HDTV
2. ออกแบบ โมเดลเพื่อการวัดทดสอบ
3. วัดสัญญาณ
4. วิเคราะห์สัญญาณ
5. สัมมนาบทสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 กล่าวนำ

2.1.1 เทคโนโลยีระบบสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่ง ได้ถูกนำมาใช้กับโครงการที่เป็นความลับทางทหารสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี ค.ศ.1960 – 1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งนี้เหมาะที่จะนำไปใช้กับการสื่อสารในระบบเรดาร์ และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูงและในช่วงยุคนั้น การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานนั้น ไม่มีการควบคุมเรื่องกำลังที่ใช้ในการส่งสัญญาณแต่อย่างใด ซึ่งต่อมาเมื่อในเดือนพฤษภาคม ปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission : FCC) ได้กำหนดย่านความถี่ของระบบอยู่ที่ 3.1 GHz – 10.6 GHz ระบบของ UWB ใช้วิธีการสร้างพัลส์ที่มีช่วงความถี่สั้นมากซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ โดยใช้ความถี่ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3.1 GHz – 10.6 GHz และมีความกว้างพัลส์ประมาณ 50 – 100 ps ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงความถี่แคบจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีขนาดความกว้างและมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังที่ต่ำเมื่อใช้อัตราความเร็วของการสื่อสารที่พอเหมาะด้วยเหตุนี้จึงไม่เกิดการรบกวนกับระบบอื่นๆ

เทคโนโลยี UWB เป็นที่รู้จักกันดีในด้านการใช้งานทางการสื่อสารและเรดาร์เนื่องจากการมีความต้านทานต่อผลกระทบจากมัลติพาท (Multipath), มีค่าทROUGHPUT สูง, มีความแม่นยำในด้านระยะทาง นอกจากนี้มีโอกาสน้อยที่จะถูกขวางกั้นและตรวจจับได้

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งขึ้นมา ทำให้ได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายต่างๆมากมาย โดยการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนี้นับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย ที่สามารถรับส่งข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลไปบนช่วงความถี่ที่กว้างมากและสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และประกอบกับการใช้กำลังงานในการส่งน้อย การสื่อสารแถบกว้างยิ่งนี้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารไร้สายระยะใกล้และระยะไกลได้ตามความแรงของสัญญาณ ซึ่งสัญญาณของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งนี้มีความแตกต่างกับระบบไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ

1. ในระบบนี้จะส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลชันกับคลื่นพาห่ก่อนทำการส่งข่าวสาร ดังนั้นภาคส่งของระบบการ

สื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่งจึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์มอดูเลตความถี่ (RF modulation) และ
เครื่องส่งที่มีกำลังมาก จึงเป็นการลดต้นทุนของระบบสื่อสาร

- ใช้แบนด์วิทในการส่งมากกว่าร้อยละ 25 ของแถบความถี่กลางหรือมีการใช้แถบ
ความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะมีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสาร ไร้สายที่
ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก หาได้จากสมการที่ 2.2

$$\%BW = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \times 100\% \geq 20\% \quad (2.1)$$

$$BW = f_H - f_L \geq 500 \text{ MHz} \quad (2.2)$$

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (2.3)$$

โดยที่ BW คือ แบนด์วิทของสัญญาณ

f_H คือ ค่าขอบความถี่บนของระบบการสื่อสาร

f_L คือ ค่าขอบความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร

f_c คือ ค่าความถี่กลาง หาได้จากสมการที่ 2.4

ในระบบการสื่อสาร UWB นี้ สามารถกำหนดแบนด์วิทได้จาก ช่วงห่างระหว่างความถี่บน
(f_H) และความถี่ล่าง (f_L) ของระบบ โดยที่ค่าของความถี่ทั้งสองนี้ จะกำหนดได้จากค่าที่ลดลงมา -10
dB จากค่าที่มีแมกนิจูดสูงสุด (f_M) ของพัลส์

ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งที่ทาง FCC ได้อนุญาตให้ใช้ในระบบ
การสื่อสารนี้จะอยู่ในช่วง 3.1 GHz - 10.6 GHz และจากการที่ช่วงความถี่ที่ FCC กำหนดให้ใช้มี
ขนาดกว้างมาก ดังนั้นระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งจึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารใน
ระบบการสื่อสารได้เป็นจำนวนมาก โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของระบบสื่อสารกับแบน
ด์วิทที่ใช้ในระบบการสื่อสารนี้ สามารถแสดงได้ในสมการที่ 2.4

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ C	คือ ความจุช่องสัญญาณ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps)
B	คือ แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูล มีหน่วยเป็น (Hz)
$\frac{S}{N}$	คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน

2.1.2 คุณสมบัติของระบบสื่อสารไร้สายแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง

ระบบสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้ เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่มีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารทางคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ โดยจุดเด่นของระบบสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้ก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ (Frequency carrier) ในการมอดูเลชันสัญญาณเหมือนในระบบอื่นๆ สัญญาณของระบบสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้จะเป็สัญญาณแบบพัลส์ (pulse) จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแพร่กระจายคลื่นครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz

เมื่อเปรียบเทียบการสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้าง กับเทคโนโลยีบลูทูธแล้วก็พบว่า การสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้ มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าเทคโนโลยีบลูทูธมาก ทั้งในด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล และการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าและยังสามารถรับส่งข้อมูลผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่งระบบการสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 110 เมกะบิตต่อวินาทีในระยะทาง 10 เมตร ในขณะที่บลูทูธมีความเร็วในการรับส่งเพียง 1 เมกะบิตต่อวินาทีในระยะ 10 เมตรเท่านั้น จึงเห็นได้ว่าระบบสื่อสารแบบความถี่กว้างยิ่งมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่าเทคโนโลยีบลูทูธถึงประมาณ 100 เท่า ดังนั้นเทคโนโลยีนี้จึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารไร้สายต่างๆ ภายในที่พักอาศัยและสถานที่ทำงานในอาคารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2.1.3 ข้อบังคับการใช้งานในสหรัฐอเมริกา

การสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้จำเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดและถูกห้ามนำมาใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยมี 2 เหตุผล ที่ต้องเข้มงวดกับการสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งเพราะเทคโนโลยีนี้ถูกพัฒนาเพื่อใช้งานในหน่วยงานทหารของอเมริกันและระบบสื่อสารไร้สายแบบความถี่กว้างยิ่งนี้ใช้ช่องสัญญาณที่กว้างมากๆ ซึ่งทำให้หลายคนกลัวว่าจะไปรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้ย่านความถี่ที่แคบๆ อย่างเช่นระบบของ Global Positioning System (GPS) และระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างไรก็ตามเมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2002 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกกฏการใช้งานระบบ UWB ในอเมริกาและได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เมษายน ค.ศ. 2002 แล้วซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นแจ้งขอจะออกนอกระบบการวิจัยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยได้กำหนดสัญญาณแถบความถี่กว้างยั้งนี้ให้อยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิธของสัญญาณ โดยต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 25 ของแถบความถี่กลาง

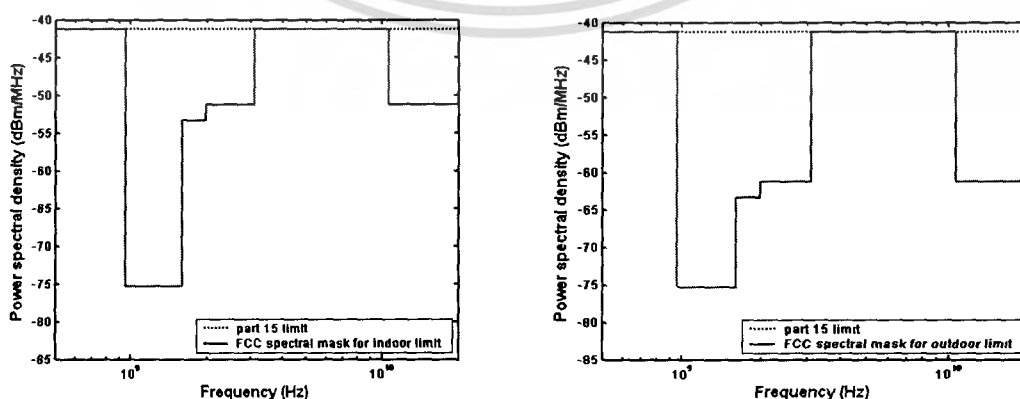
นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเรื่องกำลังในการแพร่กระจายคลื่น (Effective Isotropic Radiated Power: EIRP) ไว้อีกโดย FCC เป็นองค์กรที่กำหนดควบคุมไม่ให้มีกำลังในการส่งไม่ให้เกินที่กำหนดไว้ คือ -41.3 dBm/MHz ซึ่งถ้าหากมีการส่งกำลังมากกว่าที่กำหนดอาจจะไปรบกวนการสื่อสารระบบอื่นซึ่งแบ่งเป็นภายในอาคารและภายนอกอาคารซึ่งแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดระหว่างระดับพลังงานกับย่านความถี่กำหนดโดย FCC

ช่วงความถี่ (MHz)	ภายในอาคาร (dBm)	ภายนอกอาคาร (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
มากกว่า 10600	-51.3	-61.3

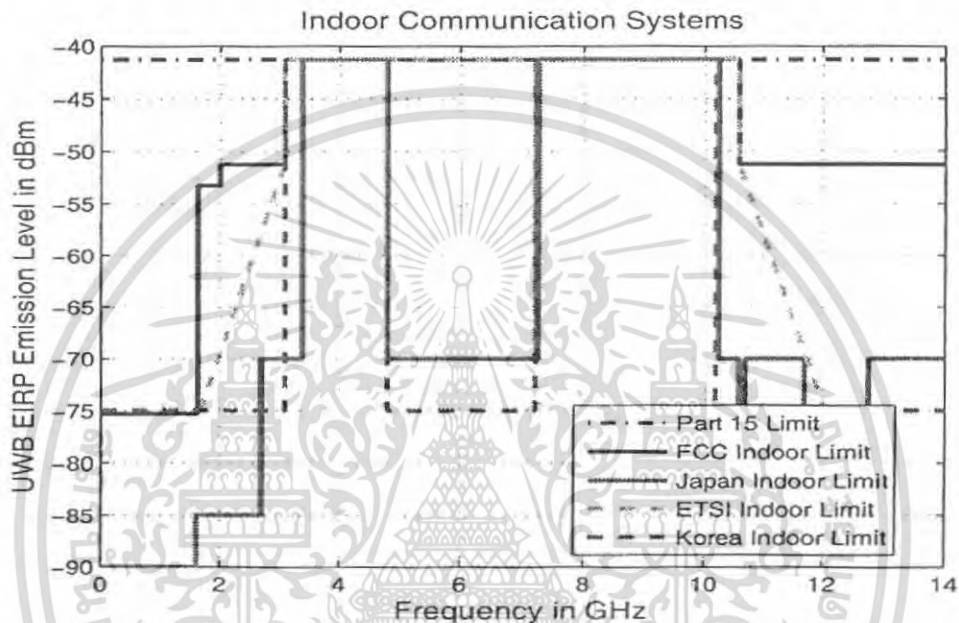
2.1.4 ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัม

ข้อกำหนดของ FCC ที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ในภาคส่งของอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.1 เป็นรูประดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.1 ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในและภายนอกอาคาร การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดที่มีต่อการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ในภาคส่งของอุปกรณ์การสื่อสารต่างๆสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2 เป็นรูประดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมและช่วงความถี่ของ Low band ที่ความถี่ 3.1 – 4.8 GHz และช่วงความถี่ของ High Band ที่ความถี่ 7.2 – 10.2 GHz ที่ใช้ภายในอาคาร



รูปที่ 2.2 ระดับจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานและความถี่ที่ใช้ภายในอาคาร

2.1.5 ข้อบังคับการใช้งานในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบความถี่กว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบความถี่กว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่ตอนนี้ โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้น ในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารกำหนดโดย ITU แสดงในตารางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดระหว่างระดับพลังงานกับย่านความถี่กำหนดโดย ITU

สถานที่	ความถี่ (GHz)		
	ความถี่ 3.1	ความถี่อยู่ระหว่าง 3.1 – 10.6	ความถี่มากกว่า 10.6
ภายในอาคาร	$-51.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3+87\log(10.6/f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3+87\log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3+87\log(10.6/f)$

2.1.6 การนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบความถี่กว้างออกไปใช้งาน

การนำเทคโนโลยี UWB ไปใช้งานนั้นมี 2 กลุ่มด้วยกัน คือระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงในพื้นที่ระยะสั้น และการใช้งานแบบเรดาร์ โดยสำหรับข้อดีที่ได้เป็นพิเศษจากการส่งสัญญาณในรัศมีสั้นๆ ก็คือสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถใช้เพื่อเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ในฐานะอุปกรณ์ Wireless USB 2.0 หรือนำเสนอการส่งไฟล์วิดีโอด้วยความเร็วสูงระหว่างเครื่องบันทึกข้อมูลสองเครื่อง เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบความต้องการช่องสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายต่างๆ

Data Stream	Bit Rate
HDTV	19Mbps
DVD player	10Mbps
MPEG-2	1-8Mbps
MPEG-1	1.5Mbps
Broadband access	1-10Mbps
Video conference	1-2Mbps
TV as a terminal	2-5Mbps
CD player (stereo)	1.4Mbps
Computer network	1-10Mbps
Telephone	8-64kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ประเภทของการใช้งานที่ได้รับอนุมัติโดย FCC

การประยุกต์การใช้งาน	แถบความถี่ที่ใช้งาน
ระบบการสื่อสารและระบบการวัด	3.1-10.6GHz
ระบบการสร้างภาพและเรดาร์ทะลุพื้น	< 960MHz หรือ 3.1-10.6 GHz
ระบบทะลุกำแพง	< 960MHz หรือ 1.99 -10.6 GHz
ระบบระแวงตรวจจับ	1.99 -10.6 GHz
ยานพาหนะ	24 - 29 GHz

นอกจากนี้ ภายในระยะทางประมาณ 10 เมตร UWB ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า WPAN ซึ่งสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปไหนมาไหนบ่อยๆ ครึ่งได้หลากหลายและระบบสื่อสารแถบความถี่กว้างยิ่งจะช่วยลดความขาดแคลนช่องสัญญาณ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ทั้งนี้ เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงคลื่นความถี่ในปัจจุบัน จำเป็นต้องมีการกำหนดความถี่คลื่นต่ำสุดและสูงสุดเอาไว้ และจะต้องมีคลื่นอีกช่วงหนึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน จึงทำให้มีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ขึ้นมา

โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (HDR-WPAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ชั้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 100-150 Mb/s ภายในระยะ 1 ถึง 10 m สถาปัตยกรรมหลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer-To-Peer) และใช้ รีเลย์/บริดจ์ (Relay/ Bridge) ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอก ซึ่งจะเป็นแบบไร้สาย หรือใช้สายเคเบิลก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 High Definition Television (HDTV)

2.2.1 คำนำ

HDTV ย่อมาจากคำว่า High Definition Television แปลเป็นภาษาไทยได้ว่า "โทรทัศน์ความคมชัดสูง หรือ โทรทัศน์รายละเอียดสูง" ซึ่ง HDTV เป็นรูปแบบของระบบดิจิทัล Digital ที่ดีกว่าโทรทัศน์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (NTSC, SECAM, PAL) ซึ่งเป็นระบบ Analog ดังนั้น HDTV จึงเป็นโทรทัศน์มีคุณภาพทั้งภาพและเสียงสูงกว่าโทรทัศน์ทั่วไป มีระดับความคมชัดสูงสุด ระบบเสียงเป็นแบบรอบทิศทาง เหมือนกับการรับชมภาพจากจอภาพยนตร์ ที่ผู้ชมจะได้รับชมภาพที่สมจริงมากยิ่งขึ้น

NTSC (National Television System Committee) เป็นการเข้ารหัสข้อมูลแบบสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ที่กำหนดให้แสดงภาพด้วยเส้นในแนวนอน 525 เส้นต่อเฟรมในอัตรา 30 เฟรมต่อวินาที มีสี 16 ล้านสี และอัตราการรีเฟรช 60 Half-frame ต่อวินาที (interlaced) ขณะที่จอคอมพิวเตอร์จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Progressive-Scan ใช้ในสหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

PAL (Phase Alternate Line) เป็นการสร้างภาพจากเส้นแนวนอน 625 เส้นต่อเฟรม ด้วยอัตรา 25 เฟรมต่อวินาที และทำการแสดงภาพด้วยวิธี อินเตอร์เลส (Interlaced) แต่จะแสดงภาพในอัตรารีเฟรช 50 Half-frame ต่อวินาที ใช้ในแถบยุโรป อังกฤษ ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ และประเทศไทย

SECAM (Sequential Color and Memory) จะแพร่สัญญาณแบบอนาล็อก ส่วนการสร้างภาพเป็น 819 เส้น ด้วยอัตราการรีเฟรช 25 เฟรมต่อวินาที ใช้ในประเทศฝรั่งเศส รัสเซีย ยุโรปตะวันออกและตะวันออกกลาง

สัญญาณที่ใช้กับ HDTV ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- จำนวนเส้นในการแสดงผล
- Progressive scan หรือ Interlace
- จำนวน frame หรือ field ต่อวินาที

2.2.2 หลักการทำงานของ HDTV

แยกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการเกิดภาพ และกระบวนการเกิดเสียง

- **กระบวนการเกิดภาพ** : สัญญาณดิจิทัลที่ถูกส่งเข้าเครื่องรับโทรทัศน์จะผ่านกระบวนการบีบอัดข้อมูลสัญญาณดิจิทัล โดยใช้ MPEG-2 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์บีบอัด (compression software) ถอดรหัสเป็น การ์ด (CARD) แสดงผลสัญญาณภาพ และจะถูกส่งไปยังหลอดภาพที่ทำหน้าที่ยิงลำแสงออกมาด้วยความถี่ที่เพิ่มมากขึ้นมายังจอโทรทัศน์ที่มีความกว้าง (อัตราส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอภาพ16:9) ขึ้นจึงทำให้เกิดจุดภาพ [PIXEL] บนจอโทรทัศน์มากขึ้น ภาพที่ได้จึงมีความละเอียดคมชัดต่อเนื่อง ไร้อาการกระพริบของสัญญาณภาพ โดยลักษณะการยิงลำแสง (หรือเรียกว่า การเขียนภาพบนจอโทรทัศน์) มี 2 รูปแบบคือ

<# 1080i - 1920x1080 pixels interlaced

<# 720p - 1280x720 pixels progressive

Interlaced : การยิงลำแสงไปยังจอภาพ โดยการ scan ลำแสงให้เป็นเส้น เริ่มจากด้านบน จากซ้ายมาขวา ลักษณะเป็นเส้นเว้นเส้น มาจนสุดจอด้านล่าง [เรียกว่า 1 field] ดังนั้นการที่จะเกิดภาพบนจอขึ้นจะต้อง scan อีกครั้งหนึ่งให้เส้นภาพครบ เป็น 1 กรอบภาพ [2 fields = 1 frame] การ scan รูปแบบนี้มีจำนวนเส้นถึง 1080 เส้นใน 1 จอภาพ

Progressive : การยิงลำแสงไปยังจอภาพ โดยการ scan ลำแสงให้เป็นเส้น จากด้านบนจอ จากซ้ายไปขวา จนสุดด้านล่างของจอ เพียงรอบเดียว ก็เกิดภาพบนจอโทรทัศน์ [1 field = 1 frame] การ scan รูปแบบนี้มีจำนวนเส้น 720 เส้นใน 1 จอภาพ

สีที่เราเห็นบนจอภาพนั้น เกิดจากที่จอภาพ มีสารเรืองแสง (PHOSPHOR SCREEN) ฉาบอยู่ มี 3 สี คือ สีน้ำเงิน, สีเขียว และสีแดง ดังนั้นเมื่อลำแสงมาตกกระทบยังจุดที่ฉาบไว้ด้วยสารเรืองแสง ก็จะเกิดภาพเป็นสีต่างๆ ขึ้น

ความละเอียดของภาพบนจอโดยทั่วไป

(SD = Standard Definition, HD = High Definition, i = interlace, p = progressive)

480i - 720 x 480 (interlace - NTSC - SD)

480p - 720 x 480 (progressive - NTSC - SD)

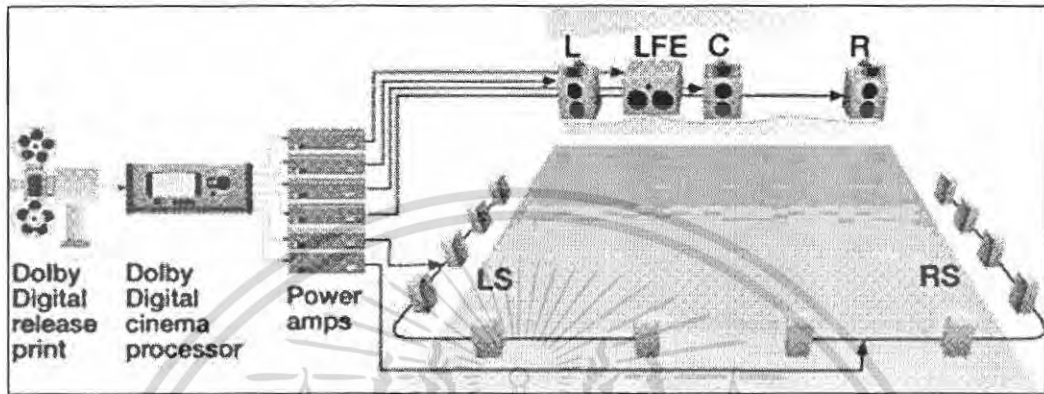
720p - 1280 x 720 (progressive - NTSC - HD)

1080i - 1920 x 1080 (interlace - NTSC - HD)

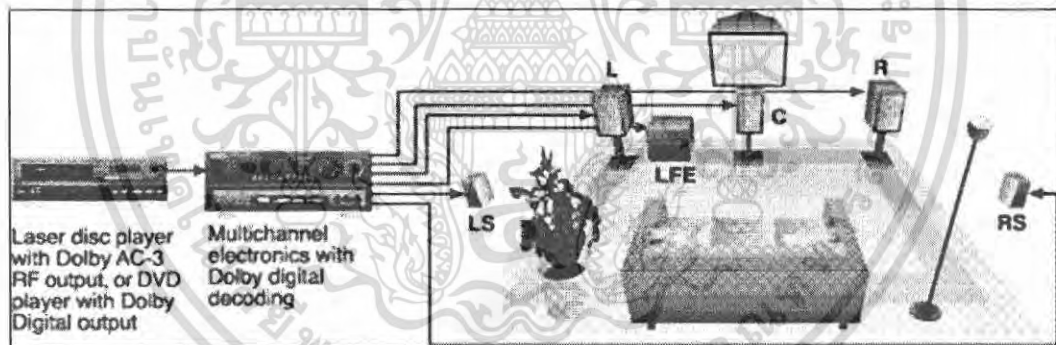
1080p - 1920 x 1080 (progressive - NTSC - HD)

นอกจากนี้ก็จะมีรายละเอียดแบบอื่นๆ สำหรับระบบภาพแบบ PAL เช่น 525i, 525p, 576i, 576p, 625p, 750p, 1125i และอาจจะมีความละเอียดภาพสำหรับงานเฉพาะด้านอื่นๆอีก

- กระบวนการเกิดเสียง: HDTV ใช้ระบบ DOLBY DIGITAL (AC-3) channel 5.1
ซึ่งเป็นระบบเสียงแบบรอบทิศทาง ที่ใช้กันอยู่ในโรงภาพยนตร์ชั้นนำทั่วไป



รูปที่ 2.3 ระบบเสียงในโรงภาพยนตร์

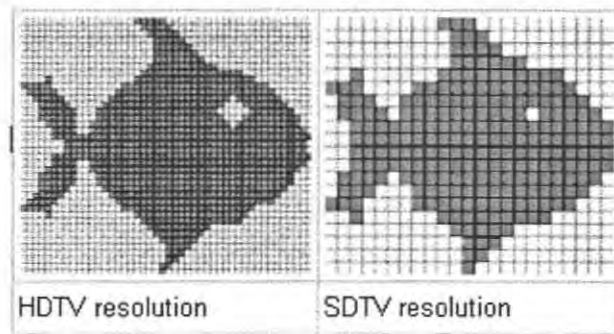


รูปที่ 2.4 ระบบเสียงในบ้าน ระบบ HDTV

2.2.3 เปรียบเทียบระหว่าง HDTV และ SDTV

HDTV มีมิติที่เส้นอย่างน้อย 2 เท่าของโทรทัศน์สัญญาณความคมชัดระดับมาตรฐาน (SDTV) ยิ่งกว่านั้นมาตรฐานทางเทคนิคเพื่อแพร่ภาพ HDTV สามารถจัดการภาพลักษณะอัตราส่วน 16:9 โดยปราศจากการใช้เลทเทอร์บ็อกซึ่ง แบบยืดหยุ่น หรือ อนา โมบิก ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ไขปัญหาให้มากขึ้นสำหรับแต่ละเนื้อหาที่เพิ่มเข้ามาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ภาพเปรียบเทียบระหว่าง HDTV และ SDTV

2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

2.3.1 กล่าวนำ

OFDM ย่อมาจาก Orthogonal Frequency Division Multiplexing เป็นเทคนิคการมอดูเลชันแบบหลายคลื่นพาห์ (Multiple Carrier Modulation) ซึ่งเป็นรูปแบบของการสื่อสารแบบขนานนั่นเอง (ในอดีตส่วนใหญ่การสื่อสารเป็นแบบอนุกรม) OFDM ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานสำหรับระบบสื่อสารไร้สายแบบเคลื่อนที่แบนด์กว้าง (Broad Band) มีอัตราการส่งข้อมูลสูงๆ เช่น ระบบ LAN แบบไร้สาย (Wireless LAN) ระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงแบบไร้สาย (Wireless High speed internet) ระบบกระจายเสียงแบบดิจิทัล (Digital Audio Broadcasting) หรือ DAB และระบบกระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล (Digital Television) หรือ DTV เป็นต้น

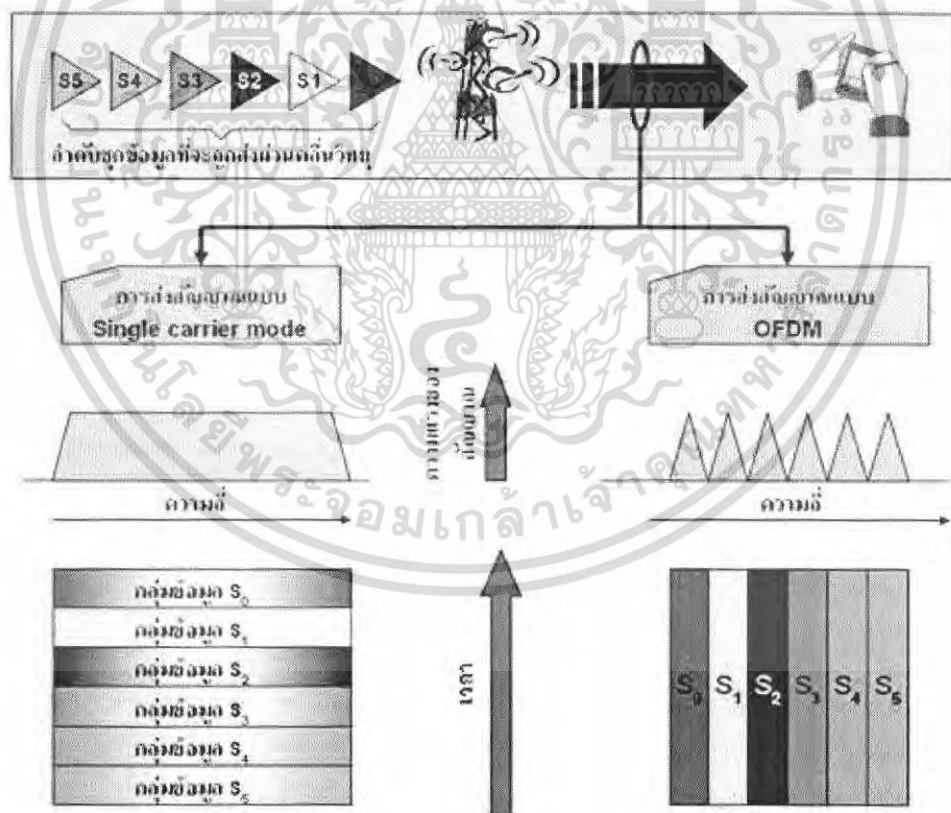
เนื่องจากการสื่อสารแบบไร้สายมักจะประสบกับปัญหาการจางหายของสัญญาณ (Fading) อันมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณเป็นหลายวิถี (Multipath propagation) นอกจากนั้นคลื่นหลายวิถียังทำให้เกิดการรบกวนแบบแทรกสอดระหว่างสัญญาณ (Inter Symbol Interference) หรือ ISI ของสัญญาณข้อมูลขึ้นที่เครื่องรับอีกด้วย ซึ่งถ้าเป็นระบบการมอดูเลตและส่งสัญญาณแบบเก่า (การส่งข้อมูลแบบอนุกรม) จะแก้ไข้ปัญหาเหล่านี้ได้ค่อนข้างยาก โดยเฉพาะเมื่อเป็นการสื่อสารที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง แต่สำหรับ OFDM แล้ว ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ง่ายกว่าและยังสามารถส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงได้อย่างสบาย เนื่องจากในระบบ OFDM ข้อมูลที่เป็นอนุกรมความเร็วสูงจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลแบบขนานความเร็วต่ำเสียก่อน แล้วจึงค่อยส่งออกไปยังเครื่องรับพร้อมๆกัน ซึ่งสามารถลดปัญหาเหล่านี้ได้

เทคโนโลยี OFDM แม้จะเป็นหนึ่งในมาตรฐานทางเทคนิคที่แตกแขนงออกมาจากเทคโนโลยี สเปกตรัม (Spread Spectrum) ก็ตาม แต่ก็ถือว่ามีารรับส่งข้อมูลแบบ Multiple Carrier Mode ซึ่งหมายถึงการแบ่งย่อยแถบความถี่ออกเป็นแถบย่อยๆ สำหรับแยกส่งข้อมูลหลาย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง แตกต่างจากมาตรฐาน Spread Spectrum ทั่วไปที่ใช้แถบความถี่เดียวสำหรับรับส่งข้อมูลช่องเดียว ความแตกต่างและข้อเด่นของเทคโนโลยี OFDM มีแสดงในรูปที่ 2.7 แนวคิดในการสื่อสารแบบ Spread Spectrum ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าให้นำข้อมูลที่ต้องการส่งทั้งหมด ไม่ว่าจะมาจากที่แหล่งก็ตาม มาทำการมอดูเลตเข้ากับสัญญาณรบกวนเสมือน (Pseudo Noise) แล้วทำการส่งแบบให้กระจายไปทั่วในแถบความถี่สำหรับรับส่ง ตัวอย่างเช่น ในกรณีของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มาตรฐาน

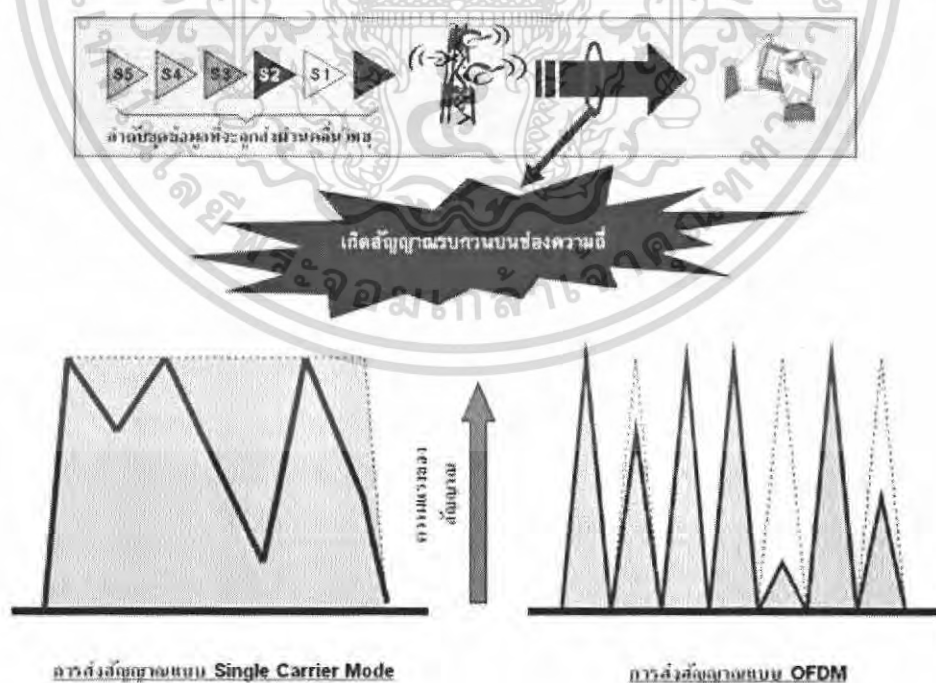
W-CDMA ซึ่งมีการกำหนดแถบความถี่กว้าง 5 เมกะเฮิรตซ์สำหรับวงจรความถี่หนึ่งช่อง ข้อมูลของผู้ใช้งานทั้งหมด จะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณรบกวนเสมือนแล้วกระจายส่งไปตลอดแถบความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์นั้น ๆ คล้ายกับการเป่าผงแป้งหลากสิบนฝ่ามือให้กระจายออกไปในวงกว้าง เครื่องรับปลายทางจะทราบเองว่าต้องแยกรับสัญญาณรบกวนเสมือนรหัสใด โดยจะพิจารณาจับข้อมูลที่ต้องการตลอดแถบความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์นั้น



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบ Spread Spectrum กับ OFDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

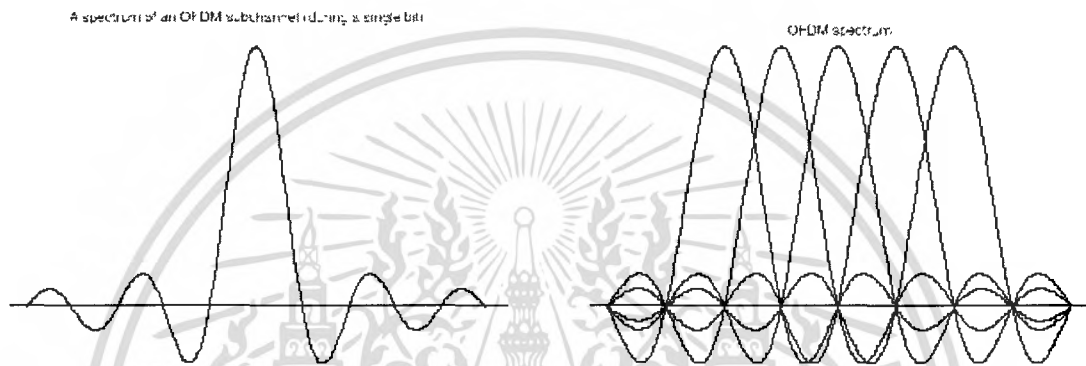
สำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยเทคโนโลยี OFDM จะมีข้อแตกต่างออกไป โดยก่อนส่ง จะทำการแบ่งแยกแถบความถี่ออกเป็นแถบความถี่ย่อย ๆ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ต้องการจะส่งมาทำการเรียงลำดับเป็นกลุ่มรหัสข้อมูล (Symbol) โดยเนื้อหาข้อมูลที่อยู่ภายในแต่ละกลุ่มรหัสข้อมูลนั้นไม่จำเป็นว่าจะต้องเป็นข้อมูลของผู้ใช้บริการรายเดียวกัน เปรียบเสมือนการดักน้ำที่ปลายท่อ ซึ่งต้นทางอาจมีการเก็บสะสมน้ำสีต่าง ๆ จากหลากหลายท่อย่อยที่เทรวมกันมา อธิบายให้ง่ายเข้าก็คือเป็นการเพิ่มเงื่อนไขในการทำงานขึ้นจากมาตรฐาน Spread Spectrum แทนที่จะส่งข้อมูลออกไปในแถบความถี่กว้าง ก็ให้นำข้อมูลมาจัดเป็นกลุ่มรหัสข้อมูลเสียก่อนนั่นเอง กลุ่มรหัสข้อมูลแต่ละกลุ่มจะถูกนำไปส่งออกอากาศโดยมีการกำหนดแบ่งแยกแถบความถี่ออกเป็นแถบย่อย ๆ มีจำนวนแถบเท่ากับกลุ่มรหัสข้อมูล ส่วนที่ว่าจะกำหนดให้มีกี่กลุ่มรหัสข้อมูลหรือแถบความถี่ย่อยนั้นก็แล้วแต่ข้อกำหนดของเทคโนโลยีนั้น ๆ จึงคล้ายกับที่มีการตัดตอนข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ แล้วให้แต่ละกลุ่มส่งขนานกันไปในเวลาเดียวกัน เพียงแต่อยู่ในแถบความถี่ย่อย ๆ ผิดกับมาตรฐาน Spread Spectrum ที่หากคิดแบบเดียวกับ OFDM ว่ามีการจัดกลุ่มรหัสข้อมูลขึ้นเหมือนกัน ก็จะเห็นราวกับที่มีการส่งกลุ่มรหัสข้อมูลเรียงต่อกันไปตามเวลา มาตรฐาน OFDM จึงคล้ายกับเป็นการคิดนอกกรอบออกจากมาตรฐาน Spread Spectrum โดยมีการส่งข้อมูลในแนวนอนแทนที่จะเป็นการส่งต่อเป็นทอด ๆ หรือที่เรียกกันว่าเป็นอนุกรม



รูปที่ 2.7 OFDM เปรียบเทียบกับการสื่อสารแบบ Spread Spectrum ชนิด Single Carrier Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของ OFDM คือสามารถใช้งานแถบความถี่ในระบบที่เคยใช้สัญญาณคลื่นพาห์เดี่ยวได้ อย่างเต็มประสิทธิภาพ (spectral efficiency) สามารถป้องกันผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของ สัญญาณหลายเส้นทาง (immunity to multi-path) และมีความไวต่ำต่อการเลือนหายไปของความถี่ที่ เลือก (less sensitivity selective fading)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างของ OFDM spectrum (a) single sub channel (b) 5 carriers

2.3.2 ระบบ OFDM

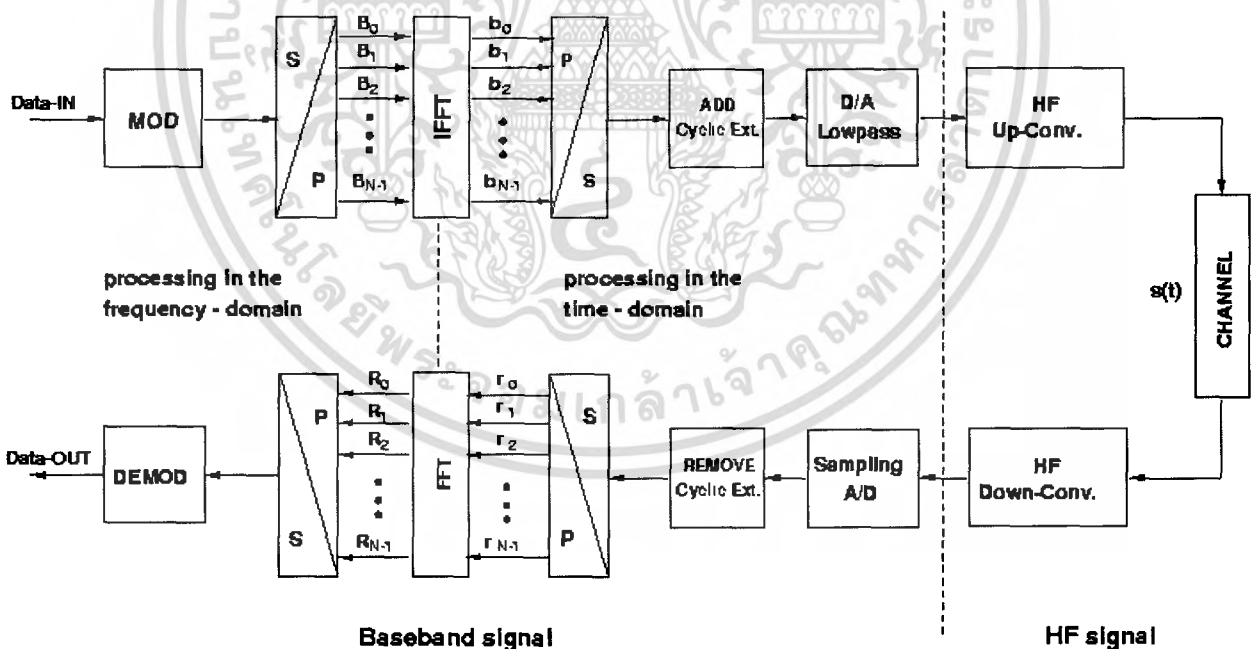
รูปที่ 2.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ OFDM โดยที่ส่วนด้านบน เป็นชุดเครื่องส่งและส่วนด้านล่างเป็นชุดเครื่องรับ และเมื่อสังเกตพบว่า IFFT ทำหน้าที่คล้ายกับ การมอดูเลตสัญญาณอินพุตตามจำนวนของคลื่นพาห์ย่อยและ FFT ทำหน้าที่เหมือนการดีมอดูเลต สัญญาณซึ่งตรงกันข้ามกับ IFFT โดยไม่จำเป็นต้องนำ อีควอไลซ์เซอร์ (Equalizer) มาใช้งาน ทำให้ สามารถลดความยุ่งยากซับซ้อนรวมถึงลดต้นทุนทางด้านอุปกรณ์เครื่องรับได้

ในส่วนของด้านเครื่องส่ง สัญญาณอินพุตที่มีความเร็วสูงและมีแบนด์วิธกว้างจะถูกแบ่ง ออกตามจำนวนของชุดข้อมูล (Data streams) ที่มีความเร็วต่ำและมีแบนด์วิธที่ค่อนข้างแคบ โดย นำไปเข้ารหัส (coding) และทำการวางสลับ (interleaving) รวมถึงการจัดวางรูปแบบการมอดูเลต (mapping) และมีการเพิ่มเติมในส่วน of สัญญาณ ซึ่งถูกใช้ในการซิงโครไนซ์ระหว่างเครื่องส่งและ เครื่องรับ ในส่วนของ IFFT จะทำหน้าที่แปลง

2.3.3 หลักการและโครงสร้างของ OFDM

หลักการพื้นฐานของ OFDM คือแบ่งแยกชุดสัญญาณข้อมูลความเร็วสูงให้อยู่ในรูปชุดข้อมูลความเร็วต่ำ ซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณข้อมูลพร้อมๆ กันตามจำนวนของคลื่นพาห่อย่อย โดยจำนวนของคลื่นพาห่อย่อยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับอัตราการกระจายความถี่ ในรูปของเวลาซึ่งเป็นเหตุทำให้การประวิงเวลาแบบหลายวิธีมีค่าลดลง เพราะว่าช่วงเวลาของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับคลื่นพาห่อย่อยที่ส่งแบบขนานนั่นเอง โดยในส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นของการแทรกสอดระหว่างสัญญาณนั้นได้ถูกจัดการอย่างสมบูรณ์แบบที่สุด โดยการนำช่วงเวลาคูม (guard time) มาใช้งานในทุกๆ ช่วงเวลาสัญญาณ OFDM ซึ่งในช่วงเวลาคูมนี้จะมีการนำส่วนขยายแบบวน (cyclic extension) มาใช้จำกัดการแทรกสอดที่เกิดขึ้นระหว่างความถี่

สัญญาณ OFDM ประกอบขึ้นมาจากการรวมกันในของหลายความถี่พาห่อย่อยซึ่งมีคุณสมบัติของการตั้งฉากซึ่งกันและกัน พร้อมทั้งมีการมอดูเลตที่อิสระต่อกันทั้งแบบดิจิทัลทอทางเฟส (phase shift keying: PSK) หรือการมอดูเลตแบบควอดราเจอร์ทางขนาด (quadrature amplitude modulation: QAM)



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมองค์ประกอบของ OFDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

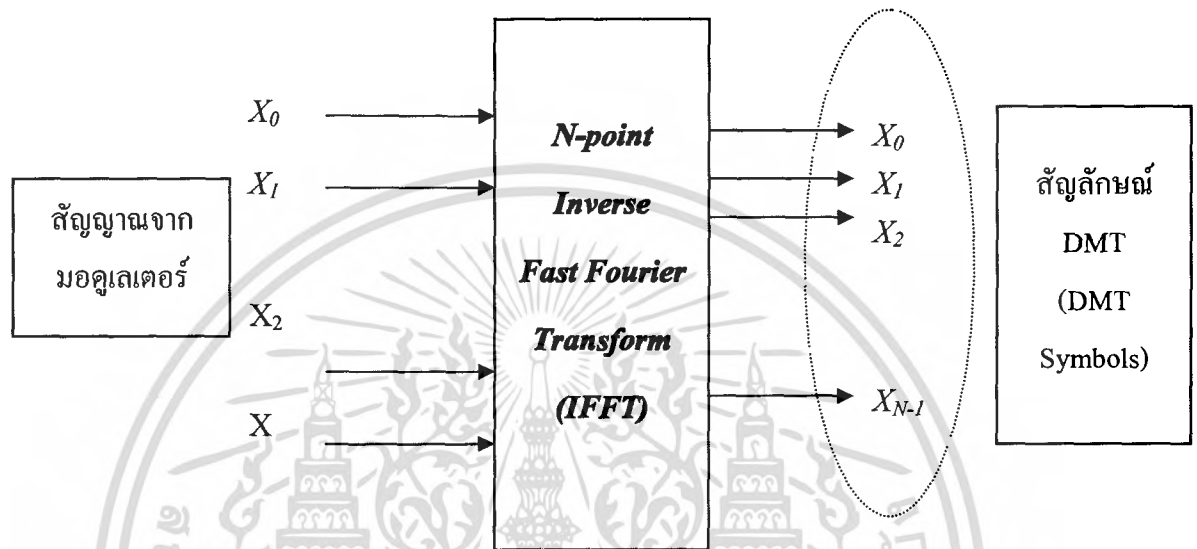
คุณสมบัติการตั้งฉากซึ่งกันและกันของแต่ละคลื่นพหุย่อย กล่าวคือค่าสูงสุดของแต่ละคลื่นพหุย่อย สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพหุย่อยอื่นๆ จะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ ซึ่งผลลัพธ์นี้จะทำให้ไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกันของแต่ละคลื่นพหุย่อยที่ติดกันนั่นเอง ฉะนั้นจึงยอมรับให้มีการเหลื่อมล้ำกันได้ และในการมอดูเลตสัญญาณในแต่ละคลื่นพหุย่อยนั้นเครื่องรับจะเลือกสเปกตรัมที่จุดเหล่านั้น ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของแต่ละคลื่นพหุย่อย ซึ่งปราศจากสัญญาณรบกวนจากคลื่นพหุย่อยอื่นๆ และคุณสมบัติดังกล่าวนี้เองทำให้เกิดเทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบ OFDM ขึ้นมา ซึ่งการสร้างสัญญาณ OFDM ให้ผลสำเร็จได้นั้นจะต้องมีการระมัดระวังควบคุม และดูแลรักษาคุณสมบัติการตั้งฉากซึ่งกันและกันของแต่ละคลื่นพหุย่อยไว้ให้ได้เสมอ มิฉะนั้นอาจส่งผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างคลื่นพหุย่อยที่อยู่ติดกันและส่งผลกระทบต่อการใช้สื่อสารได้ ดังนั้น จึงมีการนำวิธีแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) มาประยุกต์ใช้งานทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับตามลำดับ เนื่องจากรูปแบบเบสแบนด์คอมเพล็กซ์ของสัญญาณ OFDM คือทราเนตฟอร์มของสัญลักษณ์อินพุต N_s QAM จากสเปกตรัมความถี่ให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลาเช่นเดียวกับวิธีการของ IFFT นั่นเอง โดยวิธีการนี้จะช่วยลดขั้นตอนความยุ่งยากและซับซ้อนในการประมวลผลนั่นเอง

ตัว FFT มีผลต่อการทำงานของ discrete Fourier transform (DFT) ปกติ และแบบย้อนกลับด้วย ทฤษฎีการประมวลผลแบบดิจิทัล นั่นก็คือเราใช้ การแปลงผกผันฟูริเยร์แบบเร็ว (Inverse Fast Transform : IFFT) กับสัญญาณเชิงซ้อนจาก QAM modulator การแปลงผกผันฟูริเยร์ จะหมายถึงการหาค่าองค์ประกอบของสัญญาณในโดเมนเวลา (time domain) ซึ่งก็คือ สัญญาณที่จะส่งผ่านช่องการสื่อสาร จากสัญญาณโดเมนความถี่ (frequency domain) ซึ่งได้เป็นเอาต์พุตของ QAM มอดูเลเตอร์ เหตุที่สัญญาณนี้ถือว่าเป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ นั้นหมายถึงว่า ในแต่ละสัญญาณสุ่ม (Sample) ของสัญญาณ จะถือว่าเป็นองค์ประกอบทางความถี่หนึ่งค่า ที่ฝั่งรับก็จะใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ซึ่งเป็นการแปลงกลับของ IFFT เพื่อแปลงสัญญาณในโดเมนเวลานั้น กลับไปเป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ เพื่อนำสัญญาณอินพุต ให้กับ QAM demodulator

เมื่อลำดับสัญญาณจาก QAM modulator ถูกนำเข้ามาตัวแปลงอนุกรม/ขนาน (S/P) สัญญาณก็จะเรียงลำดับออกเป็น N สัญญาณคือ X_1 ถึง X_N ซึ่งจะถูกนับเป็นค่าสัมประสิทธิ์เชิงซ้อน (complex coefficients) ของการแปลง IFFT เพื่อการมอดูเลตกับคลื่นพหุย่อยจำนวน N คลื่นพหุ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตของการแปลง IFFT ก็คือ สัญญาณในเชิงโดเมนเวลา (ซึ่งจะถูกส่งไปยังเครื่องรับผ่านช่องการสื่อสาร ซึ่งก็คือคู่สายโทรศัพท์)

เราใช้สัญญาณ $2N$ สัญญาณ X_1 ถึง X_{2N} เป็นสัญญาณสมมาตร โดยใช้สัญญาณเชิงซ้อนจำนวน N สัญญาณคือ X_0 ถึง X_{N-1} รวมกับสัญญาณ N ที่ได้จากการทำคอนจูเกตเชิงซ้อน (complex conjugate) กับ X_0 ถึง X_{N-1} ซึ่งได้เป็น X_1 ถึง X_N สัญญาณทางโดเมนเวลา ที่เป็นเอาต์พุตของ IFFT นี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าเป็นสัญญาณ DMT (DMT symbol) ซึ่งจำนวน $2N$ สัญลักษณ์ การเลือกให้สัญญาณเชิงซ้อน มีลักษณะเป็นสมมาตรเช่นนี้จะทำให้ได้สัญญาณ X_0 ถึง X_{N-1} ที่เป็นสัญญาณจริง (real signal) ใน โดเมนเวลา



รูปที่ 2.10 สัญญาณเชิงซ้อน โดเมนความถี่ ถูกแปลงฟูเรียร์ผกผัน (IFFT) ทำให้ได้เป็นสัญญาณจริง โดเมนเวลา

มีทฤษฎีที่ใช้คือ

$$iDFTx_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{2\pi i \frac{k}{N} n} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.5)$$

$$DFTX_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i \frac{n}{N} k} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.6)$$

โดย X_k เป็น QPSK signal จำนวน carrier
 N เป็นจำนวน Frame (2^m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาส่วนต่างๆ หาได้ดังนี้

$$X_k = a_k + ib_k \quad (2.7)$$

$$e^{\frac{2\pi i}{N}kn} = \cos\left(2\pi \frac{k}{N}n\right) + i \sin\left(2\pi \frac{k}{N}n\right) \quad (2.8)$$

$$X_k = a_k \cos\left(2\pi i \frac{kn}{N}\right) + ib_k \sin\left(2\pi i \frac{kn}{N}\right) \quad (2.7)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่ามีค่าที่เป็นจริง และจินตภาพอยู่ ในการมอดูเลชันจะใช้ค่าทั้งคู่ในการคำนวณ

2.4 การนำเข้ารหัสสัญญาณ

ในการส่งสัญญาณผ่านระบบสื่อสารส่วนใหญ่มีการเข้ารหัสสัญญาณด้วยกันทั้งสิ้น เพื่อความปลอดภัยของข้อมูลที่อาจถูกโจรกรรมได้ โดยได้มีการเข้ารหัสแบบต่างๆมากมาย ในการทำงานวิจัยนี้ได้นำการเข้ารหัสแบบ Reed Solomon coding มาใช้งาน

รหัสแบบรีด-โซโลมอน (Reed Solomon Codes: RS)

รหัสนี้เป็นรหัสสวนที่ไม่เป็นไบนารี (Non-Binary Cyclic Codes) ในส่วนสัญลักษณ์ (Symbol) ทำขึ้นบนลำดับ m -bit สำหรับทุก n และ k จะมีค่า $0 < k < n < 2^m + 2$ ที่ k คือจำนวนสัญลักษณ์ของข้อมูลเริ่มต้นในการเข้ารหัส และ n คือ จำนวนรวมของสัญลักษณ์รหัสบล็อกการเข้ารหัส สำหรับทุกแบบการเข้ารหัส R-S (n,k) ที่ได้เป็น $(n,k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t)$ ที่ t คือสัญลักษณ์ความผิดพลาดที่สามารถแก้ไขได้ของรหัส และ $n - k = 2t$ เป็นจำนวนของรหัสแก้ไข (Parity)

Data (223 bytes)	Parity (255-223=23 bytes)
-------------------------	----------------------------------

รูปที่ 2.11 Reed-Solomon codes

สำหรับรหัส R-S นี้มีระยะห่าง (Distance) ระหว่าง 2 Codeword จะกำหนดที่จำนวนสัญลักษณ์ที่แตกต่างในลำดับ จะได้ระยะห่างต่ำสุด (Minimum Distance) เป็น $d_{min} = n - k + 1$ รหัสเหมาะแก่การตรวจแก้ไขความผิดพลาดเท่ากับ t หรือข้อผิดพลาดที่น้อยกว่า t สามารถแสดงดังนี้

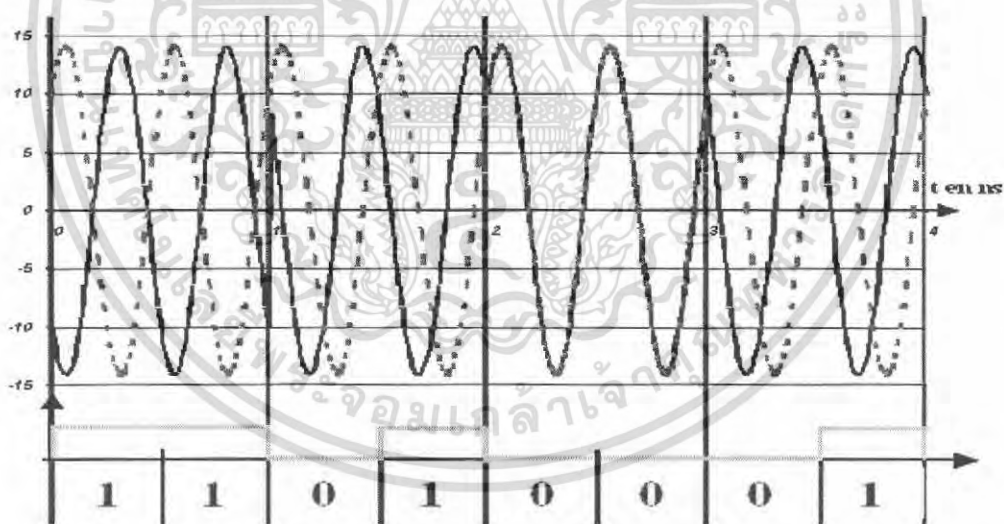
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t = \left\lceil \frac{d \min - 1}{2} \right\rceil = \left\lceil \frac{n - k}{2} \right\rceil \quad (2.8)$$

2.5 Adaptive Modulation (QPSK)

เทคนิคการมอดูเลชันที่ใช้ใช้ในการสื่อสารแบบต่างๆประกอบไปด้วยแบบ quadrature phase shift keying (QPSK) การมอดูเลทแบบที่กล่าวมานี้ สามารถแสดงให้เห็นถึงหลักการได้ และการมอดูเลชันนี้จะมีคุณสมบัติ เช่น ทนต่อสัญญาณรบกวนได้สูง สามารถเพิ่มความจุและความเร็วในการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายไร้สายได้

QPSK จะส่งสัญญาณเป็นสัญลักษณ์ๆ ละ 2 บิต ออกไปพร้อมกัน จะมีการรวมรหัส 4 คู่ คือ 00, 01, 10 และ 11 รหัสเหล่านี้เทียบได้กับเฟส 4 เฟส ของ QPSK บิตต่างๆ มีความสัมพันธ์กันกับการเลื่อนเฟส โดยที่บิตแต่ละบิตจะดูการเลื่อนของเฟสก่อนหน้า คือถ้าเฟสก่อนหน้ามีการเลื่อนเฟส 90 องศา บิตที่เกิดเท่ากับบิต 01 เมื่อเกิดเฟสถัดไป หากไม่มีการเลื่อนเฟสก่อนหน้าก็จะได้บิต 00 ดังแสดงตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.12 แสดงการเลื่อนของเฟส QPSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 บิตสัญลักษณ์ต่อการเลื่อนเฟส QPSK

Symbol	Phase Shift
00	0 degrees
01	90 degrees
11	180 degrees
10	270 degrees

2.6 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่เสมอในระบบการสื่อสาร และจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้อยู่ เช่น ความต้านทาน ทรานซิสเตอร์ และไดโอด เป็นต้น ล้วนเป็นต้นกำเนิดของสัญญาณรบกวนทั้งสิ้น นอกจากนี้สัญญาณรบกวนยังสามารถเกิดขึ้นจากภายนอกได้อีกด้วย

2.6.1 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN

สัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Add White Gaussian Noise) คือ สัญญาณรบกวนแบบที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นในรูปของสมการ

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (2.17)$$

และมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น คือ

$$\begin{aligned} F_x(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(\lambda-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} d\lambda \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\frac{(x-\bar{x})}{\sigma}} e^{-\frac{\lambda^2}{2}} d\lambda \end{aligned} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ช่องสัญญาณหลายวิถี (multi-path channel)

ช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย จะใช้อากาศเป็นช่องสัญญาณ ดังนั้น ผลตอบสนองของช่องสัญญาณจึงไม่คงที่ เนื่องจากหลายๆ ปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ สภาพแวดล้อมรอบๆ ระบบการสื่อสาร การสูญเสียทางด้านต่างๆ เช่น การสูญเสียของพลังงานเนื่องจากระยะทาง การสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อน การจางหาย การหักเห การเลี้ยวเบน การดูดกลืน หรือการสูญเสียเนื่องจากผลกระทบของร่างกายมนุษย์ ฯลฯ ดังนั้นช่องสัญญาณที่ใช้งานจึงประกอบด้วยสัญญาณจากหลายทิศทาง หรืออาจเรียกได้ว่า ช่องสัญญาณหลายวิถี ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณ สามารถกล่าวได้ดังนี้

2.6.2.1 คุณสมบัติของคลื่น

2.6.2.1.1 การสะท้อน (reflection)

การสะท้อนคือ การที่คลื่นกระทบกับตัวกลางที่ต่างกันแล้วเคลื่อนที่กลับมาในตัวกลางเดิม ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับมามีชื่อว่า คลื่นสะท้อน ส่วนประกอบของการสะท้อน คือ รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติ

2.6.2.1.2 การหักเห (refraction)

การหักเหคือ การที่คลื่นเปลี่ยนทิศทางการเดินทาง เมื่อคลื่นมีการเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางมากกว่า 1 ตัวกลางขึ้นไป ซึ่งก็คล้ายกับการสะท้อนแต่รังสีของคลื่นไม่สะท้อนกลับไปยังตัวกลางเดิมแต่จะหักเหสู่ตัวกลางใหม่ ซึ่งมุมหักเหอาจจะไม่เท่ากับมุมสะท้อน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของตัวกลาง

2.6.2.1.3 การเลี้ยวเบน (diffraction)

การเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ คลื่นที่ส่งออกไปจากเครื่องส่งกระทบกับขอบของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง ทำให้สัญญาณเลี้ยวเบนออกไปจากเส้นทางเดิม เป็นผลให้เครื่องรับไม่สามารถรับคลื่นสัญญาณได้แม้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน หรือเครื่องรับสามารถรับคลื่นสัญญาณได้แม้ไม่ได้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน แต่แอมพลิจูดของคลื่นสัญญาณที่รับได้จะลดทอนลงจากที่ควรจะเป็น

2.6.2.1.4 การดูดกลืน (Absorption)

การดูดกลืนก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการลดทอนแอมพลิจูดของสัญญาณซึ่งการดูดกลืนมีหลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นการดูดกลืนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานความถี่เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือจะเป็นการดูดกลืนสัญญาณจากวัตถุที่อยู่รอบๆ ระบบการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.2 การสูญเสียจากร่างกายมนุษย์

ร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนวัตถุชิ้นหนึ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งการเคลื่อนที่ได้นี้เองทำให้ลักษณะของการสื่อสารไร้สายที่เครื่องรับและเครื่องส่งไม่มีการเคลื่อนที่ เปลี่ยนเป็นการสื่อสารเคลื่อนที่ และยังทำให้ผลตอบแทนของช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่เลวร้ายกว่า ไม่มีผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ เนื่องจากร่างกายมนุษย์เปรียบเสมือนวัตถุหลายๆ ชนิด หลายชิ้นมาประกอบรวมกัน การที่กล่าวเช่นนี้เพราะ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ค่าการหักเห สภาพยอมทางไฟฟ้า และอื่นๆ ในแต่ละส่วนของร่างกายมนุษย์มีไม่เท่ากัน ทำให้เมื่อคลื่นเดินทางผ่านร่างกายมนุษย์แล้ว ผลตอบแทนของช่องสัญญาณมีความแตกต่างกันออกไป ในทุกๆ ระยะเวลา ดังนั้นผลตอบแทนสัญญาณเมื่อสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วยร่างกายมนุษย์ถือว่าเป็นผลตอบแทนที่แย่ที่สุด

2.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงข้อกำหนดต่างๆ ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งซึ่งออกโดยคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ FCC ซึ่งว่าด้วยเรื่องของช่วงความถี่ที่ใช้ และกำลังงานในการส่ง และได้กล่าวถึงหลักการของ HDTV ซึ่งมีได้นำเทคโนโลยี UWB มาใช้ในการส่งสัญญาณ รวมถึงกระบวนการเกิดภาพ และระบบเสียงของ HDTV และการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณ

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลองด้วยโปรแกรม Simulink

3.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาลักษณะการทำงานของระบบการส่งสัญญาณ UWB ใน HDTV เราได้ออกแบบแบบจำลองระบบ ซึ่งประกอบด้วยภาคส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณแบบต่างๆ โดยใช้เทคโนโลยีแบบ OFDM และใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้ออกมาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของช่องสัญญาณ และอัตราความผิดพลาดบิต

การนำโปรแกรม Simulink มาใช้ก็เพื่อให้ผู้ทำการทดลองได้เห็นรูปแบบการทำงานที่ง่ายขึ้นของระบบ โดยแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมในส่วนต่างๆ

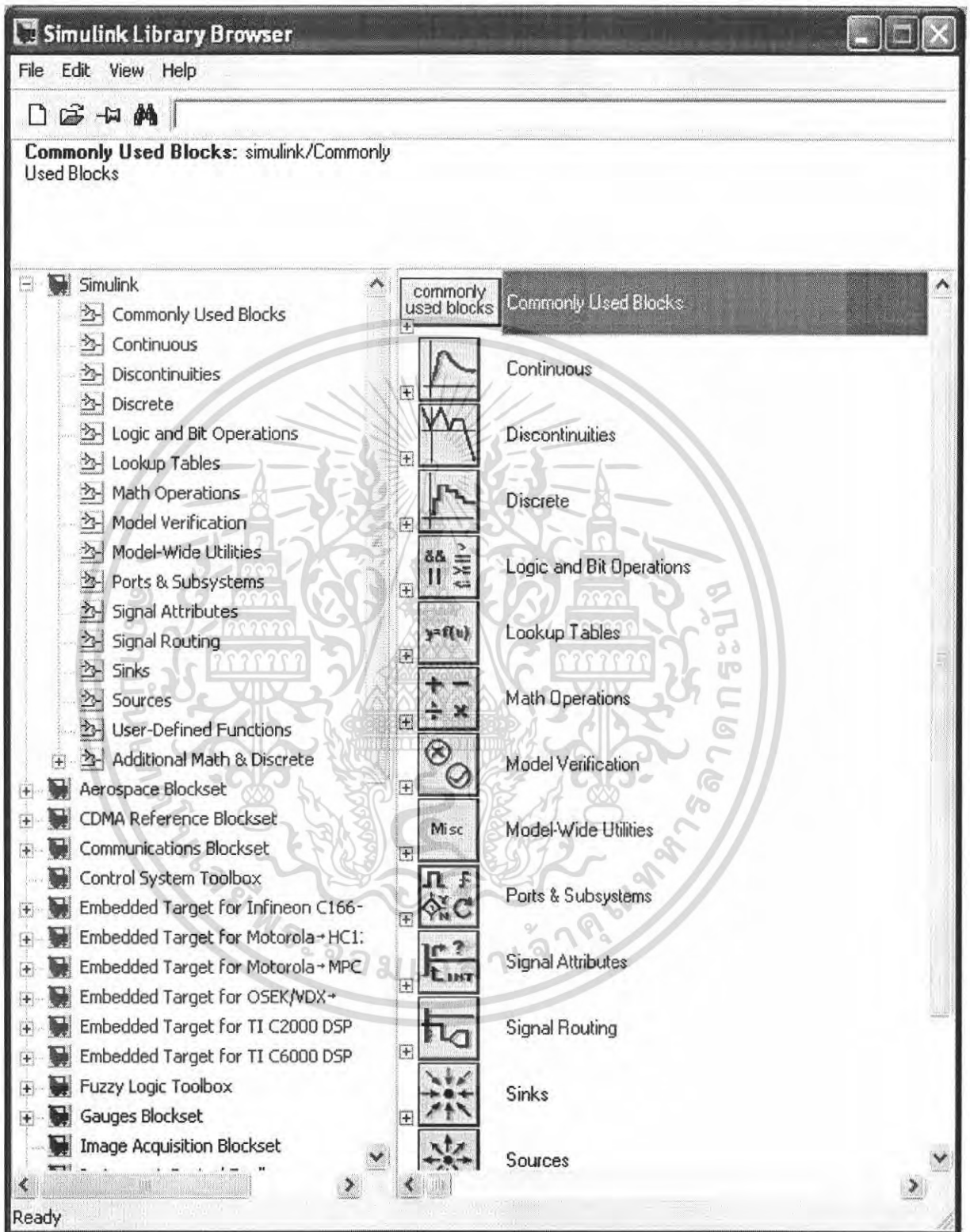
3.2 Simulink

Simulink เป็นโปรแกรมอีกส่วนหนึ่งที่อยู่ใน MATLAB ใช้ในการออกแบบ จำลอง และวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวกับพลังงานในรูปแบบต่างๆ ทั้งยังสามารถสนับสนุนการทำงานที่เป็นทั้งเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้น และรูปแบบของเวลา ระบบยังสามารถทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าที่แตกต่างกันได้อีกด้วย ซึ่งในโครงการนี้จะเน้นไปในส่วนของบล็อกที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร

สำหรับการออกแบบ simulink สามารถทำได้โดยง่ายโดยลากบล็อกที่ต้องการออกแบบมาวางต่อกันได้เลย โดยในโปรแกรม simulink มีบล็อกสำเร็จรูปอยู่แล้ว โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม เพียงกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละบล็อกตามที่ต้องการเท่านั้น แต่ถ้าต้องการสร้างบล็อกไดอะแกรมขึ้นเอง ไม่อยากใช้บล็อกที่โปรแกรมมีให้ ก็สามารถทำได้ เพราะในตัวโปรแกรมเองไม่ได้มีทุกบล็อกที่เราต้องการทั้งหมด โดยมีฟังก์ชัน S-function เอาไว้ให้สำหรับสร้างบล็อกของตัวเองได้

ในการออกแบบต้องออกแบบตามขั้นตอนในการปรับค่าต่างๆ ของบล็อกไดอะแกรมที่ทำได้โดยเพียงแค่ดับเบิ้ลคลิกที่บล็อกไดอะแกรม จากนั้นตัวบล็อกจะขึ้นหน้าที่กำหนดพารามิเตอร์ให้ค่าพารามิเตอร์ในแต่ละบล็อกไดอะแกรมได้มาจากการคำนวณ หรือค่ามาตรฐานที่ถูกยอมรับแล้ว และค่าพารามิเตอร์จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เสร็จแล้วก็สามารถทำการประมวลผลได้เลย แต่หากมีข้อผิดพลาดในการประมวลผลออกมา สามารถวิเคราะห์ ออกแบบ และปรับปรุงใหม่ได้



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าต่างของ โปรแกรม simulink

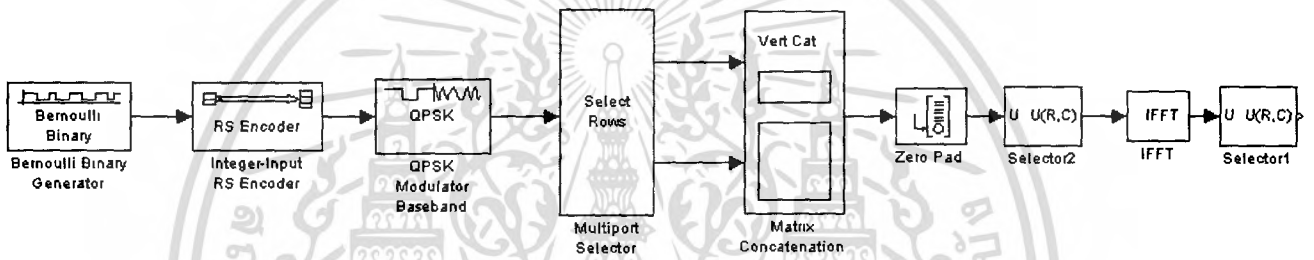
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบชุดจำลองการทำงาน

การออกแบบชุดจำลองการทำงานได้ทำการออกแบบเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือในส่วนของชุดส่งสัญญาณ และชุดรับสัญญาณ โดยผ่านการรบกวนสัญญาณ ทั้งการสูญเสียในระบบและการกระจายแบบหลายวิถี โดยใช้บล็อกโคอะแกรม

3.3.1 ชุดส่งสัญญาณ

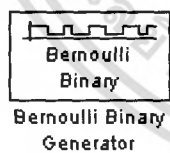
การส่งสัญญาณจะใช้เทคโนโลยี OFDM มาใช้ในการส่งข้อมูลที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยทำการออกแบบใน simulink ของโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การส่งสัญญาณ

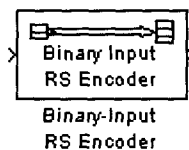
3.3.1.1 ภาพบล็อกอุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณ

3.3.1.1.1 Bernoulli Binary



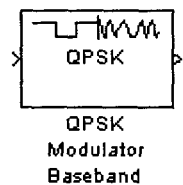
สร้างสัญญาณข้อมูลอินพุตในรูปแบบอินทิจอร์

3.3.1.1.2 Integer-Input RS Encoder



เข้ารหัสสัญญาณข้อมูลแบบ Reed-Solomon

3.3.1.1.3 QPSK Modulator Baseband



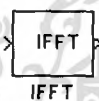
มอดูเลตสัญญาณที่เข้ารหัสแล้ว

3.3.1.1.4 Zero Pad



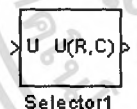
เติมส่วนของข้อมูลให้มีขนาดตามที่กำหนด

3.3.1.1.5 IFFT



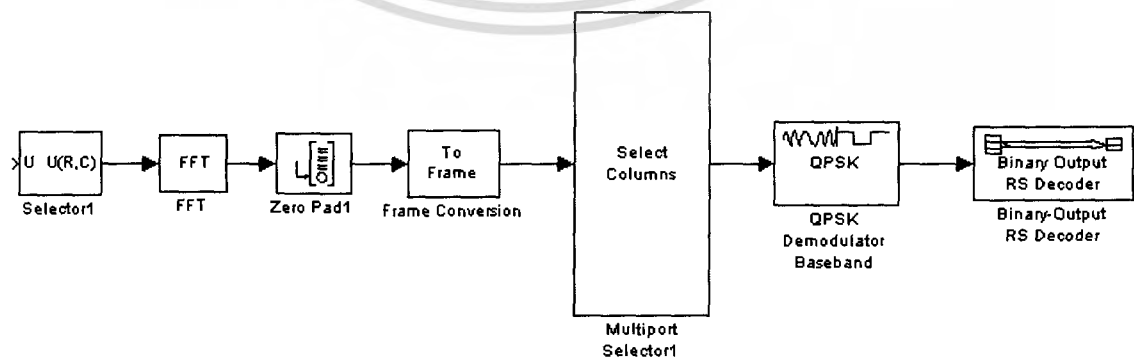
เปลี่ยนโดเมนความถี่ให้เป็นโดเมนเวลา

3.3.1.1.6 Selector



จัดตำแหน่งของข้อมูลในรูปแบบเมทริกซ์

3.3.2 ชุดรับสัญญาณ

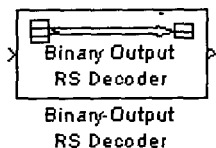


รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์รับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

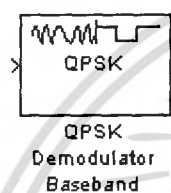
3.3.2.1 ภาพบล็อกอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ

3.3.2.1.1 Binary-Output RS Decoder



ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลแบบ Reed-Solomon

3.3.2.1.2 QPSK Demodulator Baseband



ดีมอดูเลตสัญญาณแบบ QPSK

3.3.2.1.3 Frame conversion



จัดรูปแบบเฟรมข้อมูลให้เป็นแบบ Frame-base

3.3.2.1.4 FFT



เปลี่ยนโดเมนทางเวลาให้เป็นโดเมนทางความถี่

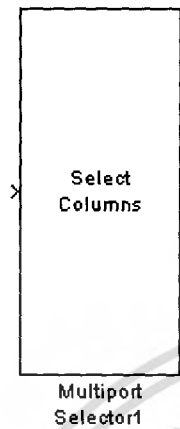
3.3.2.1.5 Selector



จัดตำแหน่งของข้อมูลในรูปแบบเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1.6 Multi-port Selector

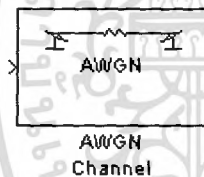


เปลี่ยนข้อมูลแบบอนุกรมเป็นข้อมูลแบบขนาน

3.3.3 ภาพบล็อกช่องสัญญาณรบกวน

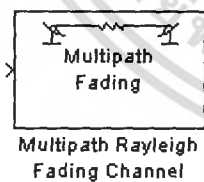
ความหมายของช่องสัญญาณ ได้อธิบายไว้ใน บทที่ 2 แล้ว

3.3.3.1 AWGN



การสูญเสียในระบบ

3.3.3.2 Multi-path Rayleigh Fading

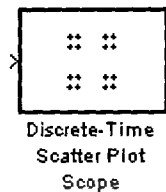


ช่องสัญญาณแบบการกระจายหลายวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ภาพลือกอุปกรณ์แสดงสัญญาณ

3.3.4.1 Discrete-Time Scatter Plot Scope



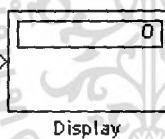
แสดงการกระจายของสัญญาณ

3.3.4.2 Spectrum Scope



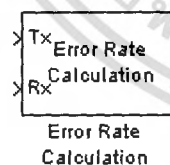
แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ

3.3.4.3 Display



แสดงอัตราความผิดพลาดในการส่งข้อมูล

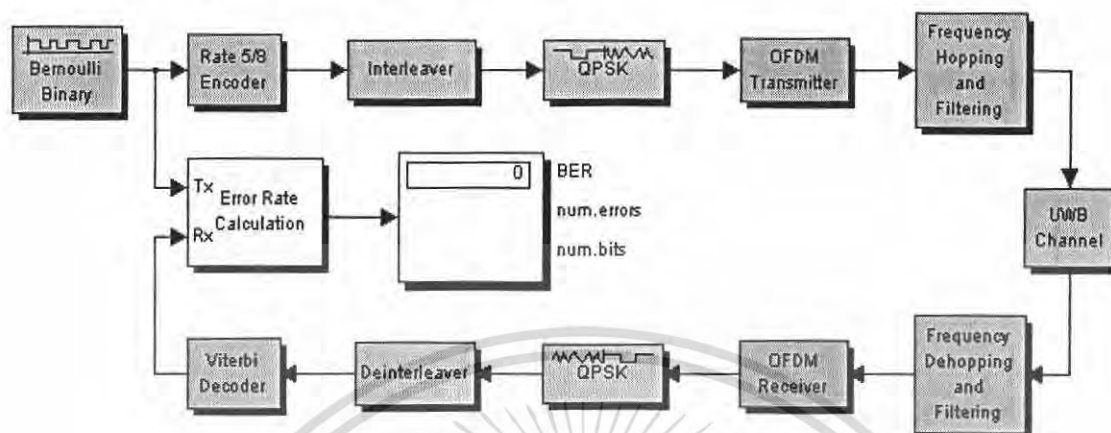
3.3.4.4 Error Rate Calculation



ใช้คำนวณอัตราความผิดพลาดการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบ



รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบ MB-OFDM

โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ

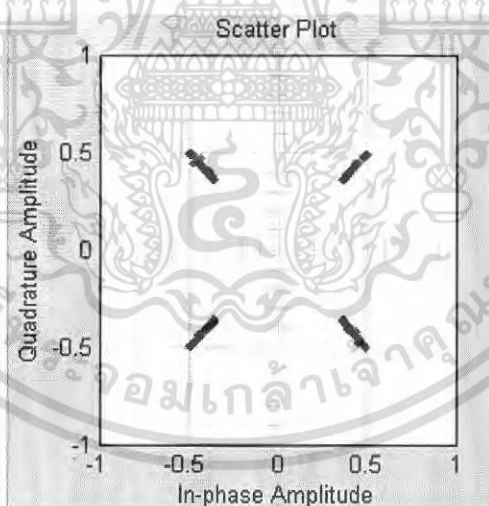
1. ช่องสัญญาณ Line of sight (LOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร
2. ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร
3. ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทาง 4-10 เมตร
4. ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทางมากกว่า 10 เมตร

ซึ่งจะทำการปรับค่า SNR (Signal noise Ratio) เพื่อหาค่าที่ทำให้ สเปกตรัมของสัญญาณทางด้ำนรับเกิดอัตราบิดผิดผลาดที่น้อยที่สุด เพื่อวิเคราะห์ว่า เมื่อเราส่งสัญญาณจากทางฝั่งรับในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ลักษณะของสัญญาณแต่ละรูปแบบจะมีลักษณะอย่างไร

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ Multiband-OFDM

RF transmission bandwidth	528 MHz
Frequency hopping ("Mode 1 device")	3 sub-bands (3.43, 3.96, 4.49 GHz centers)
Symbol Length	312.5 ns
Code rate	R=5/8
Modulation	Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)
OFDM transmission	128-point IFFT; zero-DC
Payload symbols per OFDM symbol	100
Time spreading	2x (across frequency hops)
Multipath resistance from cyclic prefix	60 ns

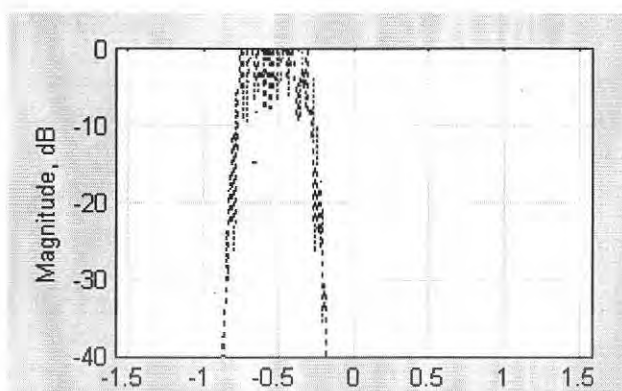
3.3.6 ภาพตำแหน่งสัญญาณและลักษณะสเปกตรัมแบบไม่มีสัญญาณรบกวน



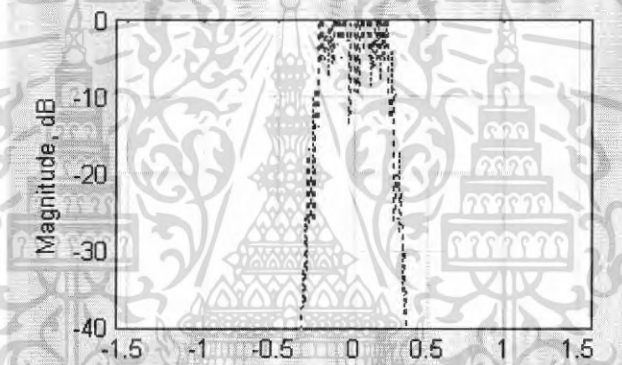
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของสัญลักษณ์ที่ผ่านการมอดูเลตแบบ QPSK

รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของสัญลักษณ์ของสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบ QPSK แบบ Multiband-OFDM ที่ความถี่ 3.43, 3.96 และ 4.49 GHz โดยสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบ QPSK จะถูกแบ่งออกเป็น 4 เฟส ซึ่งแต่ละเฟสห่างกัน 90 องศา โดยที่ด้านส่งและด้านรับจะมีลักษณะที่เหมือนกัน

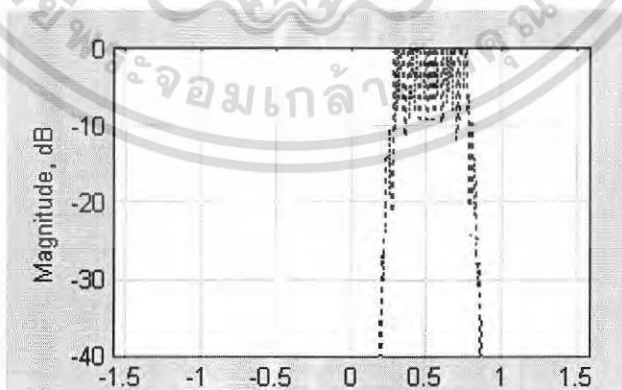
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 สเปกตรัมของระบบทางค้ำส่ง แบบ ไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 3.43 GHz

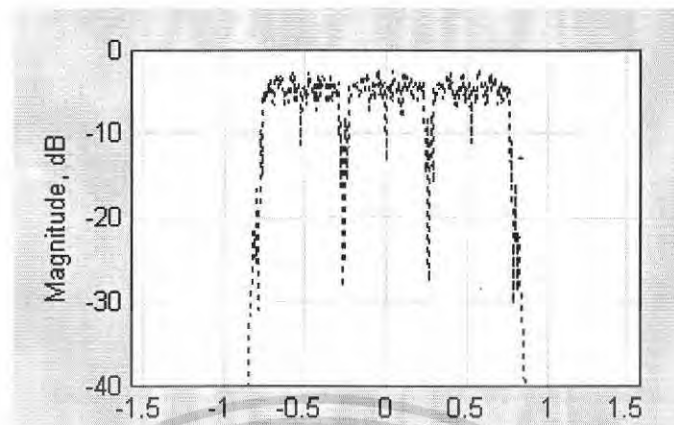


รูปที่ 3.7 สเปกตรัมของระบบทางค้ำส่ง แบบ ไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 3.96 GHz



รูปที่ 3.8 สเปกตรัมของระบบทางค้ำส่ง แบบ ไม่มีช่องสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 4.49 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

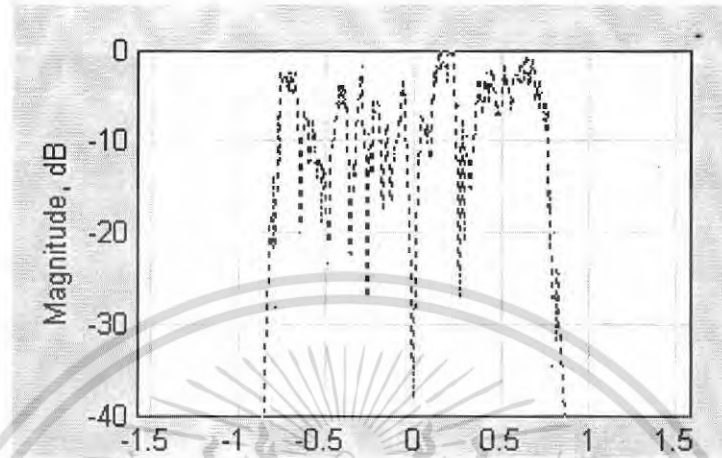


รูปที่ 3.9 สเปกตรัมของระบบ MB-OFDM ทางด้านรับแบบไม่มีช่องสัญญาณรบกวน

รูปที่ 3.9 แสดงสเปกตรัมของระบบ ที่ไม่มีช่องสัญญาณรบกวน มีลักษณะที่ราบ ซึ่งทาง
ด้านส่งและรับจะมีลักษณะที่เหมือนกัน

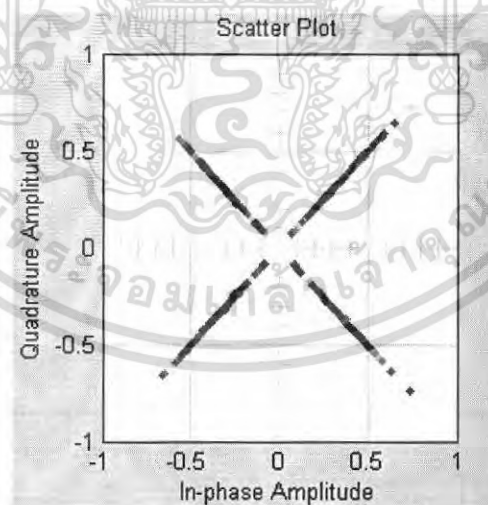
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 CM1 ช่องสัญญาณ Line of Sight (LOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร



รูปที่ 3.10 สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM1

รูปที่ 3.10 แสดงสเปกตรัมทางภาครับ โดยใช้ค่า SNR = 66.1 dB จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมจะไม่ราบเรียบเนื่องจากถูกสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณแบบ AWGN

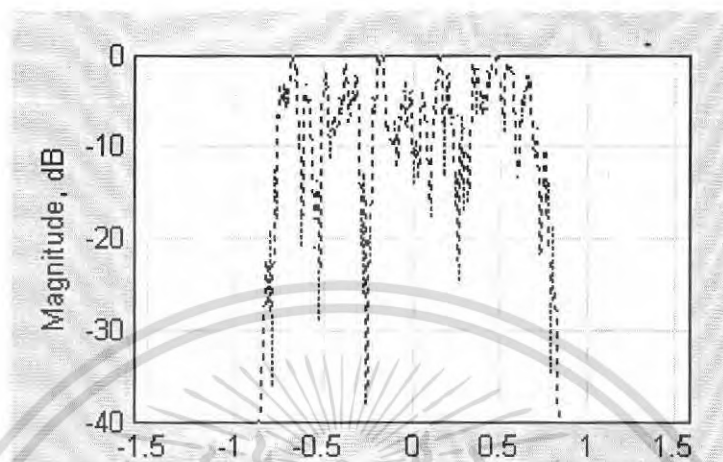


รูปที่ 3.11 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM1

รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งสัญลักษณ์การกระจายของสัญญาณที่ผ่านสัญญาณรบกวนแบบ AWGN จะเห็นได้ว่าการกระจายตัว

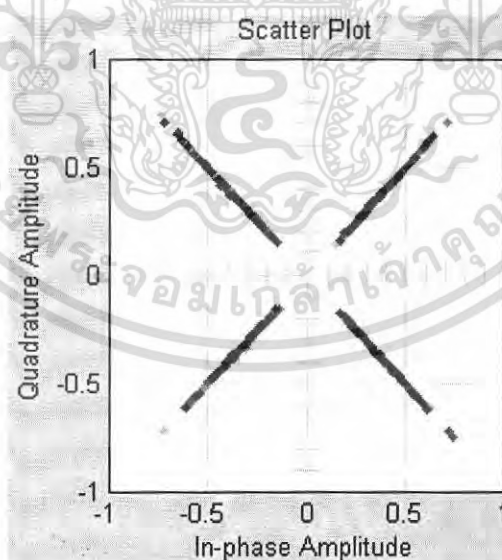
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 CM2 ช่องสัญญาณ Non Line of Sight (NLOS) ที่ระยะทาง 0-4 เมตร



รูปที่ 3.12 สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM2

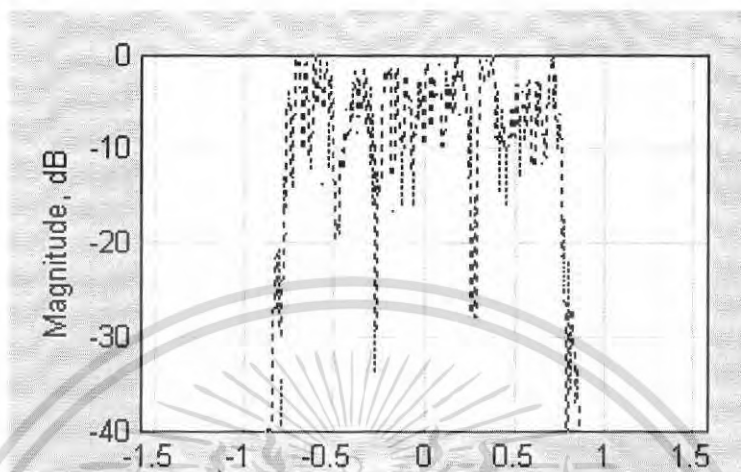
รูปที่ 3.12 แสดงสเปกตรัมทางภาครับ จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมจะไม่ราบเรียบเนื่องจากถูกสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณแบบ AWGN



รูปที่ 3.13 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM2

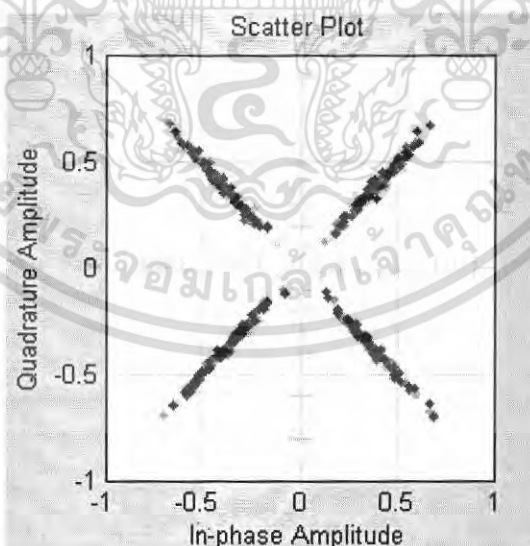
รูปที่ 3.13 แสดงตำแหน่งสัญลักษณ์การกระจายของสัญญาณที่ผ่านสัญญาณรบกวนแบบเอกสาร AWGN จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวมากขึ้น การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 CM3 ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทาง 4-10 เมตร



รูปที่ 3.14 สเปกตรัมทางด้ำนรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM3

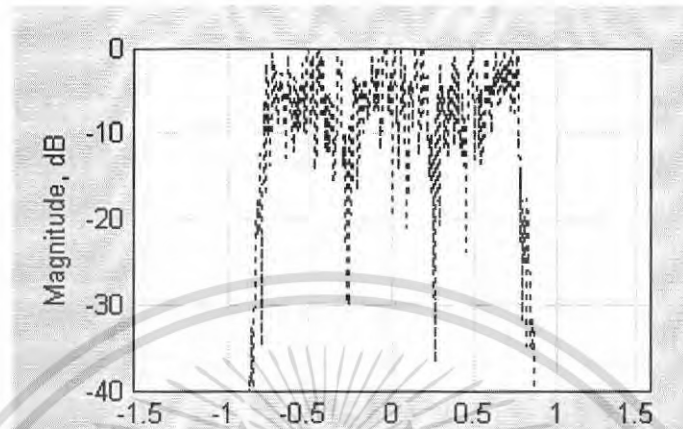
รูปที่ 3.14 แสดงสเปกตรัมทางภาครับ จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมจะไม่ราบเรียบ เนื่องจากถูกสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณแบบ AWGN



รูปที่ 3.15 การกระจายของสัญญาณทางด้ำนรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM3

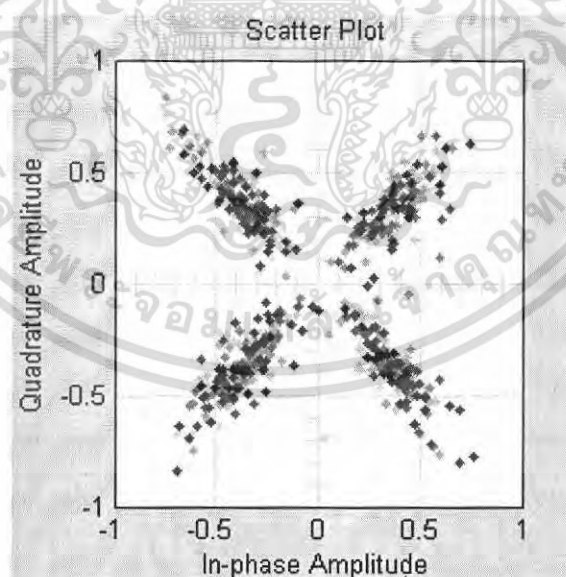
รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งสัญลักษณ์การกระจายของสัญญาณที่ผ่านสัญญาณรบกวนแบบ AWGN จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวมาก การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.10 CM4 ช่องสัญญาณ Non Line of sight (NLOS) ที่ระยะทางมากกว่า 10 เมตร



รูปที่ 3.16 สเปกตรัมทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM4

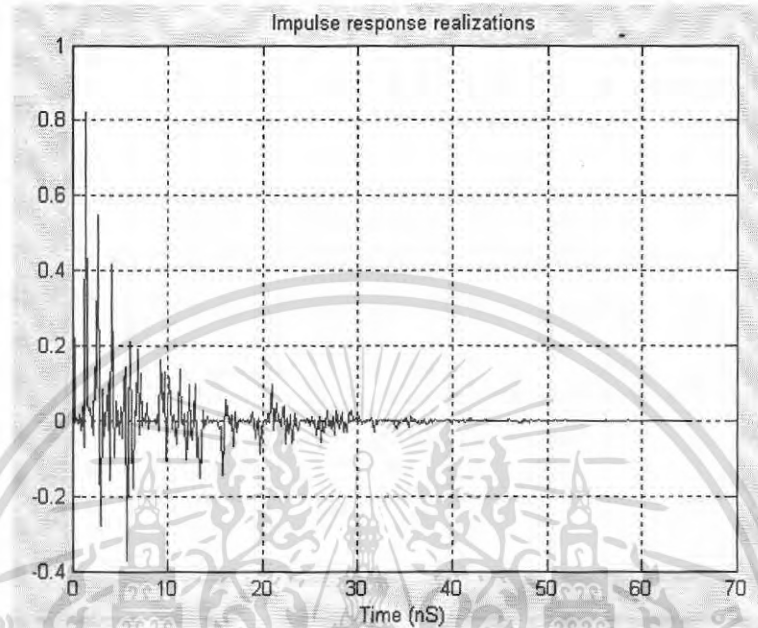
รูปที่ 3.16 แสดงสเปกตรัมทางภากรับ จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมจะไม่ราบเรียบเนื่องจากถูกสัญญาณรบกวนจากช่องสัญญาณแบบ AWGN



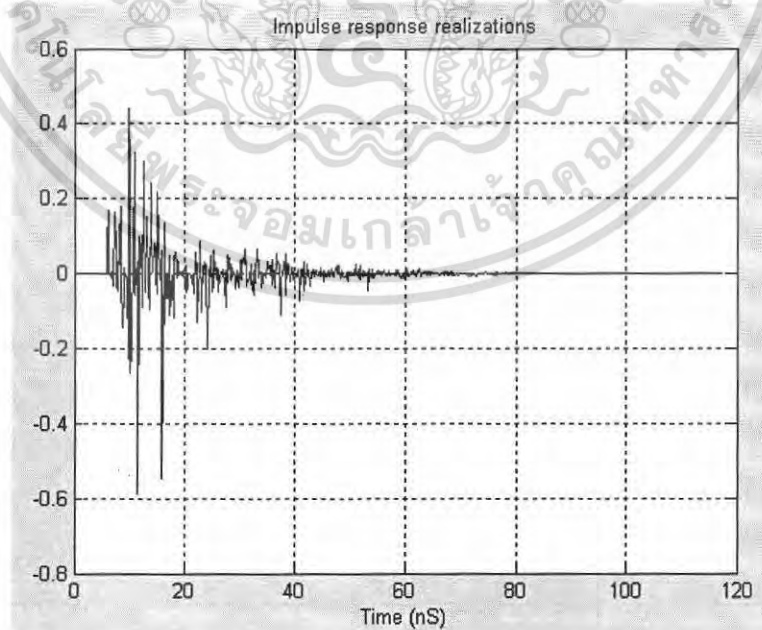
รูปที่ 3.17 การกระจายของสัญญาณทางด้านรับ ผ่านสัญญาณรบกวน ของ CM4

รูปที่ 3.17 แสดงตำแหน่งสัญลักษณ์การกระจายของสัญญาณที่ผ่านสัญญาณรบกวนแบบ AWGN จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.11 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Impulse Response)

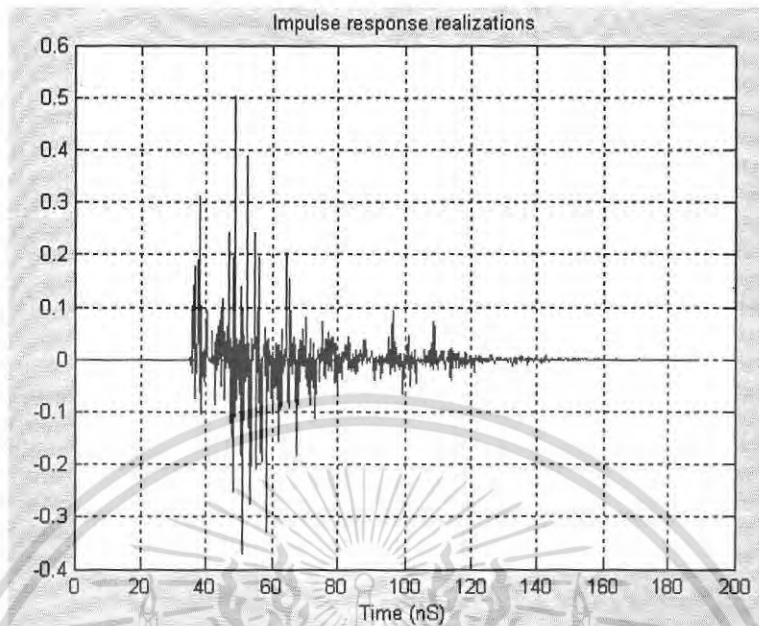


รูปที่ 3.18 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM1

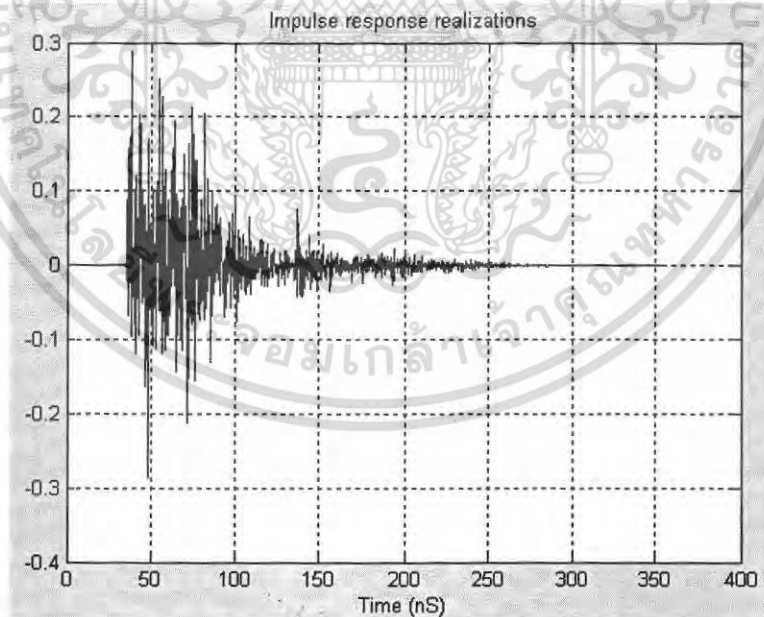


รูปที่ 3.19 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM3



รูปที่ 3.21 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ CM4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการส่งสัญญาณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในระบบของ HDTV ซึ่งจะทำให้การแบ่งช่องสัญญาณของระบบ UWB เป็น 4 ช่อง ซึ่งเรียกว่าระบบ MB-OFDM ซึ่งแสดงในบล็อกไดอะแกรมของระบบ จากนั้นทำการ simulate สัญญาณเพื่อดูลักษณะของสัญญาณว่า การส่งสัญญาณ สัญญาณที่ออกมาออกมาเป็นรูปแบบใด เพื่อประโยชน์ในการทดลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

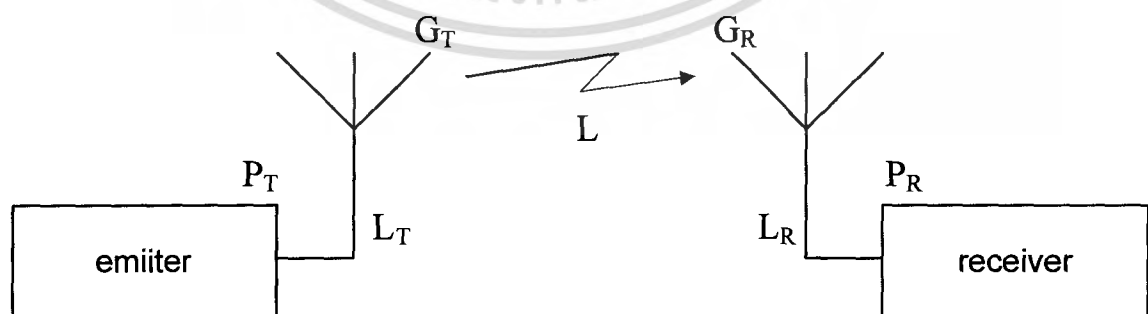
ระบบการทดลอง (Experimental system)

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์การทดลอง ขั้นตอนและแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง สำหรับขั้นตอนในการวัดนั้น จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบการทดลอง และการเตรียมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวัด ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลอง 4 รูปแบบ ด้วยกัน เพื่อจะได้วิเคราะห์สถานะแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป

4.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)

การสูญเสียเชิงวิถีระหว่างคู่ของสายส่งคือ อัตราส่วนของกำลังการส่งผ่านต่อกำลังการรับ โดยปกติแล้วใช้หน่วยเป็นเดซิเบล (decibels) มันรวมความเป็นไปได้ขององค์ประกอบทั้งหมดของการสูญเสียระหว่างการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศตัวรับกับตัวส่ง ในกรณีของช่องสัญญาณที่มีการจางหายของสัญญาณอย่างรวดเร็ว (fast fading) เป็นจำนวนมากเช่นช่องสัญญาณเคลื่อนที่ (mobile channel) การสูญเสียเชิงวิถีใช้กำลังเฉลี่ยหลายวัฏจักรของการจางหาย การสูญเสียเชิงวิถีนี้ยากที่จะวัดได้โดยตรง เพราะมีการสูญเสียและอัตราขยาย ในระบบที่ต้องการพิจารณา เพื่อที่จะนิยามความเหมาะสมของการสูญเสียเชิงวิถีจำเป็นจะต้องพิจารณาการสูญเสียและอัตราขยาย ในระบบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารไร้สายแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของระบบการสื่อสารไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังที่ปรากฏที่จุดต่อเข้าด้านรับ (P_r) ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L L_t L_r} \quad (4.1)$$

โดยที่ P_t เป็นกำลังที่จุดปลายรับ P_r เป็นกำลังที่จุดส่ง
 G_t เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่ง (dB)
 G_r เป็นอัตราขยายของสายอากาศรับ (dBi)
 L_t, L_r เป็นการสูญเสียที่เครื่องป้อนด้านรับด้านส่ง
 L คือ การสูญเสียเชิงวิถี

อัตราขยาย (Gain) สายอากาศถูกแสดงเป็นสมการโดยอ้างอิงจากสายแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ซึ่งกำลังของการแพร่กระจายคลื่นถูกส่งเท่ากันทุกทิศทาง ดังนั้นจึงใช้กำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก (Effective isotropic radiated power, EIRP) ในการคำนวณด้วย โดย

$$EIRP = \frac{P_t G_t}{G_r} = P_{ti} \quad (4.2)$$

$$P_{ri} = \frac{P_r L_r}{G_r} \quad (4.3)$$

โดย P_{ti} คือ กำลังงานซึ่งเป็นผลต่อการส่งผ่านคลื่นไอโซทรอปิก

P_{ri} คือ กำลังงานที่เป็นผลการรับคลื่น ไอโซทรอปิก

ข้อดีของการใช้กำลังงานในเทอมของกำลังงาน ซึ่งเป็นผลต่อการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกในการคำนวณนั้นคือ การสูญเสียเชิงวิถี (L) สามารถถูกแสดงเป็นสมการได้อย่างโดยอิสระของพารามิเตอร์ของระบบ โดยการนิยามเป็นอัตราส่วนกำลังงานซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกของการส่งต่อกำลังงาน ซึ่งเป็นผลการแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิกของการรับหรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสีย นั้นจะถูกคิดในระบบที่เป็นอุดมคติว่าการสูญเสียที่เครื่องป้อนด้านรับด้านส่งจะเป็นศูนย์ ($G_r, T=1, L_r, T=1$)

การสูญเสียเชิงวิถีการส่ง (Path Loss, L)

$$L = 10 \log \left(\frac{P_{ti}}{P_n} \right) = 10 \log \left(\frac{P_t G_t G_r}{P_r L_r L_t} \right) \quad (4.4)$$

ในกรณีที่ Polarization matched กำลังความหนาแน่นที่ส่งถึงสายอากาศด้านรับเท่ากับ

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad (4.5)$$

กำลังงานที่สายอากาศด้านรับ

$$P_r = \frac{P_t G_t A_{eR}}{4\pi r^2} \quad (4.6)$$

โดยที่ คือ Effective aperture ของสายอากาศด้านรับ

$$G_r = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{eR} \quad (4.7)$$

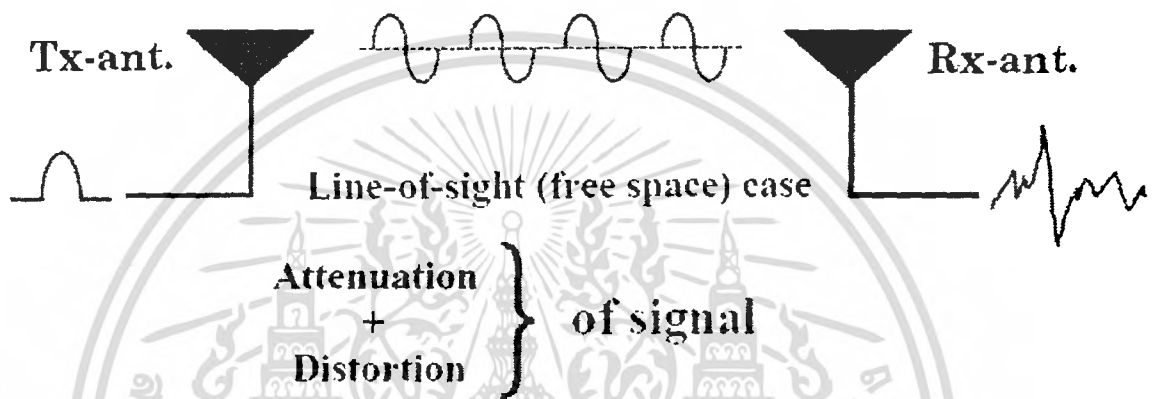
และนำมาแทนค่าจะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = G_r G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการสูญเสียเชิงวิถีในพื้นที่ว่าง (Free space) โดยสูตรของฟรีส (Friis) คือ

$$L = \frac{P_t G_t G_r}{P_r} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \tag{4.9}$$

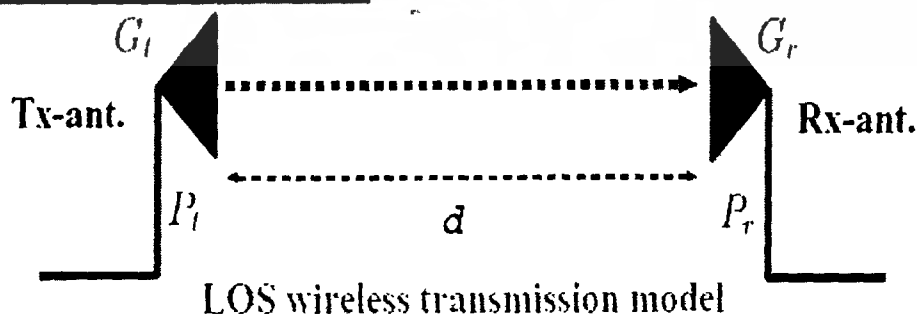


รูปที่ 4.2 รูปแบบการส่งถ่ายของเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล

ผลกระทบจากการลดทอนสัญญาณ (Distortion) จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากสูตรของฟรีสแสดงเป็นสมการในเทอมของความถี่

4.2.1 การประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส สำหรับระบบ UWB

Friis' Transmission Formula



รูปที่ 4.3 รูปแบบการส่งไร้สายแบบเส้นทางตรง (Line of Sight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายการส่งผ่าน (Transmission gain)

$$G_{Friss}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_r(f)G_i(f) \quad (4.10)$$

อัตราขยายแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ว่าง (Free space propagation gain)

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (4.11)$$

ที่ซึ่ง f คือความถี่

$G_t(f)$ คืออัตราขยายสุทธิของสายอากาศส่ง

$G_r(f)$ คือ อัตราขยายสุทธิของสายอากาศรับ

λ คือความยาวคลื่น

สัญญาณอินพุต

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (4.12)$$

หน้าที่การถ่ายโอนผลตอบสนองร่วม (Corresponding transfer function)

$$H_{e-Friss}(f) = \frac{V_r(f)}{E_t} = H_f H_i \bar{H}_r \bar{H}_t \quad (4.13)$$

ที่ซึ่ง

$$\bar{H}_a = \bar{H}_a(\theta_a, \varphi_a, f) \quad a = r \text{ Or } t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่การถ่ายโอนเชิงซ้อน (Complex transfer function) ของพื้นที่ว่าง

$$H_f = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4.14)$$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vectors) ของสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t , \quad \hat{\phi}_r = -\hat{\phi}_t \quad (4.15)$$

Matched filter normalized to satisfy constant noise power output

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friss}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friss}(f)|^2 df}} \quad (4.16)$$

เอาต์พุตเวฟฟอร์ม (Output waveform) จากแมทไฟลเตอร์

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friss}(t) * h_{MF}(f) = \frac{h_{e-Friss}(t) * h_{e-Friss}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |h_{e-friss}^2(f)|^2 df}} \quad (4.17)$$

ค่าสูงสุด(Maximum)

$$v_{MF}(t)_{\max} = v_{MF}(0) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friss}(f)|^2 df} \quad (4.18)$$

“สมการนี้รวมผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศการสูญเสียของการแพร่กระจาย และ

สเปกตรัมของสัญญาณการส่งเข้าไปด้วย”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate: BER)

นิยามเป็นจำนวนบิตที่ผิดพลาดหารด้วยจำนวนบิตที่ส่งไปทั้งหมด ในที่นี้เรากำหนดให้สัญญาณดิจิทัลมี 2 ระดับ คือ $f_1(t)$ และ $f_2(t)$ กำหนดให้เมื่อส่งสัญญาณ $f_1(t)$ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อสัญญาณที่รับได้มีระดับมากกว่าหรือเท่ากับ 0 นั่นคือ ขนาดของของสัญญาณรบกวน $n(t)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 และกำหนดให้เมื่อส่งสัญญาณ $f_2(t)$ จะเกิดความผิดพลาดขึ้นเมื่อมีสัญญาณที่รับได้มีระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 นั่นคือ ขนาดของสัญญาณรบกวน $n(t)$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -1 ซึ่งอัตราความผิดพลาดบิตรวมจะหาได้จากค่าเฉลี่ยระหว่างอัตราความผิดพลาดบิตของ $f_1(t)$ กับ $f_2(t)$ (กำหนดให้มีความน่าจะเป็นของการเกิด $f_1(t)$ เท่ากับ $f_2(t)$) นั่นคือ จะได้

$$BER = \frac{1}{2} [P(X \geq 1) + P(X \leq -1)] \quad (4.19)$$

4.4 Time Dispersion Parameters

เพื่อที่จะเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องสัญญาณแบบหลายทิศทาง และเพื่อพัฒนาการออกแบบของการสื่อสารไร้สาย ดังนั้นจึงต้องศึกษาพารามิเตอร์ (parameters) ที่สามารถบอกปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใช้สื่อสารช่องสัญญาณแบบหลายทิศทางซึ่งมีอยู่หลายตัว ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ (X dB) เป็นพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณแบบหลายทิศทาง ที่สำคัญตัวหนึ่งและนั่นสามารถถูกกำหนดได้จาก กำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณ โดยคุณสมบัติการกระจายเวลาของช่องสัญญาณหลายทิศทาง แบบแบนวิดท์กว้างส่วนใหญ่จะหาปริมาณโดย ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณโดยเวลาซึ่งยึด เป็นการหาช่วงขณะแรกของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณและมันถูกนิยามว่า

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (4.20)$$

ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ เป็นการหารากที่สองของเหตุการณ์ช่วงขณะช่วงกลางลำดับที่สองของกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณซึ่งถูกนิยามไว้ดังนี้

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (4.21)$$

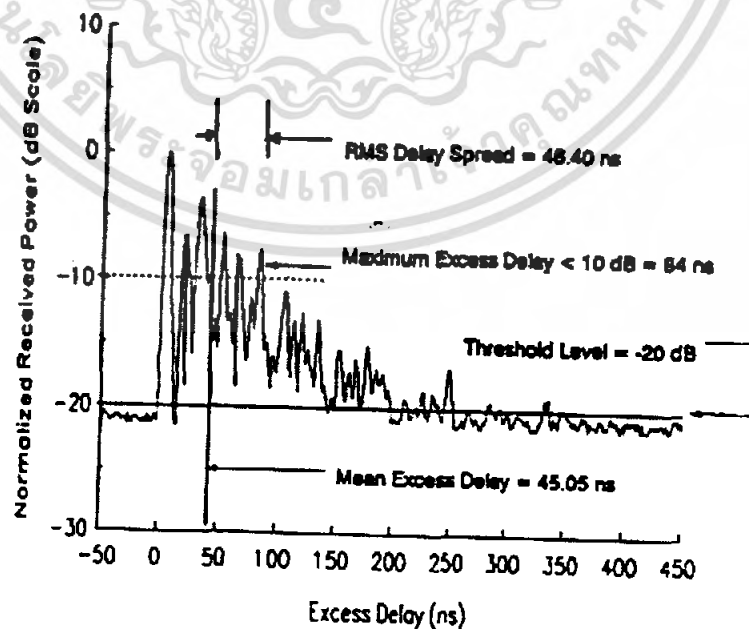
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ซึ่ง

$$\frac{-2}{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (4.22)$$

การทำให้เวลาชดเชยเหล่านี้ถูกวัดค่าได้โดยความสัมพันธ์ของสัญญาณที่ตรวจจับได้ตอนแรกที่มาถึงที่ตัวรับที่ ในสมการดังกล่าวก็ไม่สามารถเชื่อถือได้บนระดับกำลังอย่างแท้จริง (Absolute power level) ของ แต่เป็นเพียงความสัมพันธ์แอมพลิจูดองค์ประกอบแบบหลายทิศทางภายในในที่นี้ยกตัวอย่างค่าของ ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณที่วัดคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ภายนอกอาคารในหน่วยของไมโครวินาที และจากภายในอาคารในหน่วยของนาโนวินาที

มันสำคัญที่ต้องจดบันทึกว่า ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ ได้ถูกนิยามมาจาก กำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณเดี่ยว (single power delay profile) ซึ่งเป็น ค่าเฉลี่ยเกี่ยวกับเวลาและค่าเฉลี่ยที่ช่องว่าง (spatial) ของการวัดผลตอบสนองอิมพัลส์ ตามลำดับ และ ค่าเฉลี่ยเกินพื้นที่รอบบริเวณ (local area) โดยตัวอย่างเช่นการวัดมากมายที่ถูกทำที่พื้นที่รอบบริเวณ เพื่อที่จะพิจารณาช่วงตามสถิติของพารามิเตอร์ของสัญญาณแบบหลายทิศทางสำหรับระบบการ สื่อสารเคลื่อนที่เกินพื้นที่ขนาดใหญ่ (large-scale area)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 4.4** ตัวอย่างกำลังงานที่ได้รับและเวลาในการมาถึงของสัญญาณภายในอาคาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อัตราการขยายกำลัง (Power gain)

ในการวัดอัตราการขยายกำลังใช้วิธีการปรับเปลี่ยนกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศที่วัด เพื่อให้ได้ค่าความเข้มสนามในทิศทางฉลบลกที่ระยะทางเท่ากัน - เท่ากับค่าความเข้มสนามของสายอากาศมาตรฐาน แล้วเทียบอัตราส่วนกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศทั้งสอง

$$A_p = 10 \log \left[\frac{P_r}{P_t} \right] (dB) \quad (4.23)$$

โดยที่

A_p : อัตราการขยายกำลัง

P_r : กำลังถึงสายอากาศด้านรับอ้างอิง

P_t : กำลังถึงสายอากาศทดสอบอ้างอิง

ในกรณี Directivity เราคำนึงถึงกึ่งการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุด ส่วนอัตราการขยายกำลังพิจารณาจากกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศ สองอย่างนี้คล้ายกัน ยกเว้นอัตราการขยายกำลังมีส่วนของการสูญเสียในสายอากาศเข้ามาด้วย เราจึงเขียนสูตรอัตราการขยายกำลังอีกอย่างได้

$$A_p = nD \quad (4.24)$$

ในเมื่อ

D : Directivity

n : ประสิทธิภาพสายอากาศ(=1 หากไม่มีการสูญเสีย)

ค่า Directivity ปกติเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ส่วนอัตราการขยายกำลังใช้ทางปฏิบัติเป็นสำคัญ ค่าทั้งสองนี้จะเท่ากันสำหรับสายอากาศย่านวีเอชเอฟ (VHF) และยูเอชเอฟ (UHF) ส่วนใหญ่ แต่สายอากาศย่านเอ็มเอฟ (MF) และแอลเอฟ (LF) ค่าจะต่างกันบ้างเพราะมีการสูญเสีย

4.6 แบนด์วิคท์ของสายอากาศ

แบนด์วิคท์ของสายอากาศ คือช่วงความถี่ที่สายอากาศที่มีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดหรือช่วงความถี่ที่สายอากาศ ยังคงมีคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต้องจากคุณสมบัติที่ออกแบบไว้ที่ความถี่กลาง จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้ผิดไป จากข้อกำหนดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อินพุตอิมพีแดนซ์, รูปแบบการแพร่กระจายบีมวิทท์, โพลาริเซชัน, อัตราการขยาย, และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิทท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งได้ จึงต้องมีการกำหนดให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป

ปกติเราใช้คุณสมบัติของรูปแบบการแพร่กระจายกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิทท์เป็นตัวกำหนดแบนด์วิทท์ของสายอากาศ

แพทเทิร์นแบนด์วิทท์ (Pattern bandwidth) คือค่าความแตกต่างระหว่างความถี่ที่ทำให้กำลังที่ได้รับลดลงครึ่งหนึ่ง (half power) ของค่าสูงสุดในทิศทางการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด สายอากาศที่วิบแบบง่ายๆ เช่นสายอากาศไดโพล หรือสายอากาศหุกระต่าย ต้องสามารถรับสัญญาณจาก VHF แบนด์ ความถี่ตั้งแต่ 54 เมกะเฮิร์ต ถึง 216 เมกะเฮิร์ต หรือโลบสายอากาศ (loop antenna) เล็กๆ รับ UHF แบนด์ ความถี่ตั้งแต่ 470 เมกะเฮิร์ต ถึง 1000 เมกะเฮิร์ต ผลต่างของความถี่จะเรียกว่าเป็นแบนด์วิทท์ของสายอากาศก็ได้ แต่โดยความจริงแล้ว สายอากาศที่วิบที่กล่าวถึงนี้ เป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพที่แย่ที่สุด ที่พอรับสัญญาณได้เพราะอาศัยเครื่องรับมีความไวสูงและสัญญาณที่ส่งมาที่แรง การหาความถี่กลางเพื่อออกแบบสายอากาศที่วิบในทางปฏิบัติใช้สูตรง่ายๆ คือ

$$f_m = \sqrt{f_L \cdot f_H} \quad (4.25)$$

ในเมื่อ

f_m : ความถี่เฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean frequency)

f_L : ช่วงความถี่ต่ำกว่าปลาย (lower end of the frequency band)

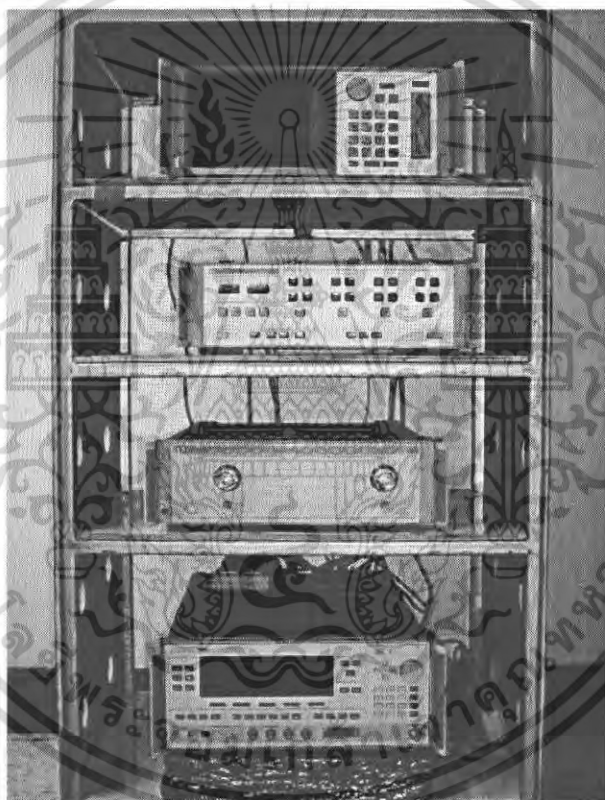
f_H : ช่วงความถี่สูงกว่าปลาย (upper end of the frequency band)

4.7 การออกแบบการทดลอง

4.7.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

4.7.1.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ใช้ในการวัดสัญญาณวิทยุในโดเมนความถี่ โดยสัญญาณวิทยุจะถูกสร้างขึ้น ส่งและรับโดยเครื่อง VNA นี้ ซึ่งทำให้การจัดตั้งการวัดทำได้ค่อนข้างง่าย สัญญาณที่จะส่งเป็นชุดของสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่แคบ ๆ กระจายตัวครอบคลุมตลอดทั้งแถบความถี่ที่ต้องการ ผลที่ได้จากเครื่องวัดนี้เรียกว่า S21-parameter หรือก็คือผลตอบสนองความถี่ต่อย่านความถี่ของช่องสัญญาณนั่นเอง



รูปที่ 4.5 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1.2 สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antenna)

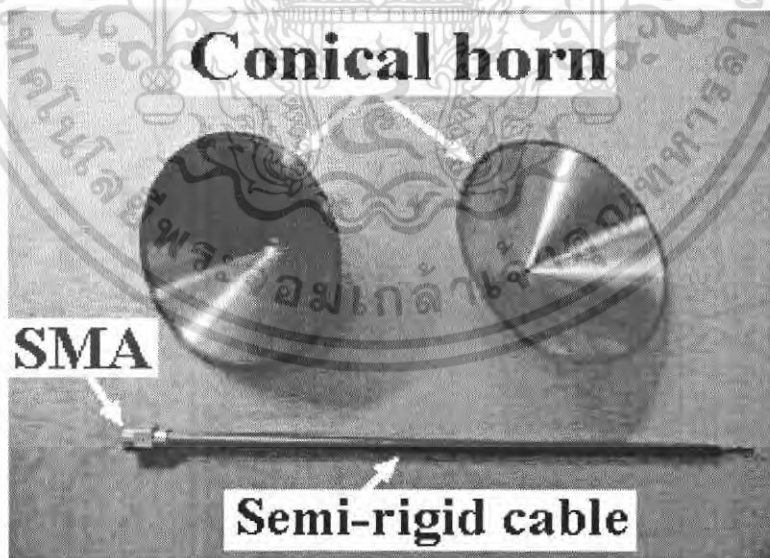
สายอากาศแบบกรวยคู่ (biconical antenna) เป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (azimuth) มีอัตราขยาย (gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 dBi

ลักษณะแพร่กระจายเป็นแบบทุกทิศทางทุกทาง (Omni direction) สามารถคำนวณหาสนามระยะใกล้และสนามระยะไกลได้ดังนี้

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

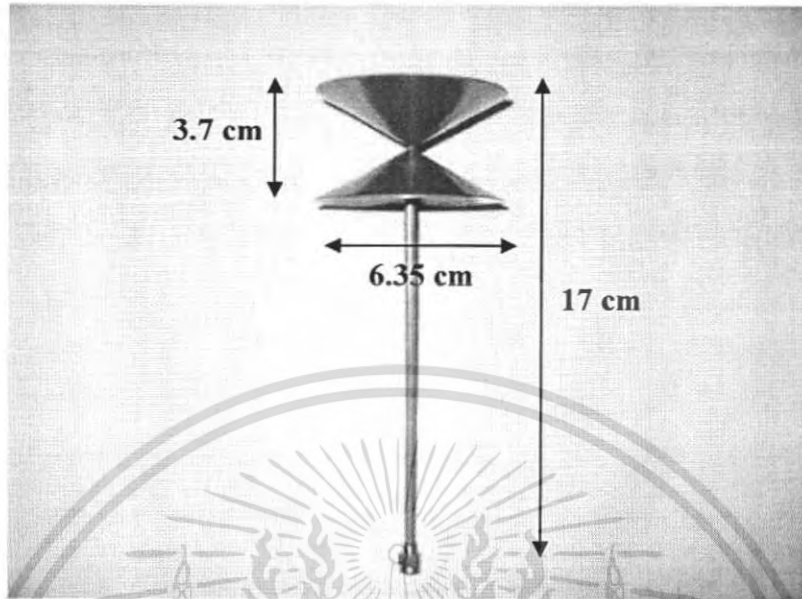
สนามระยะไกลที่สุด $\lambda = \frac{c}{f_{\max}}$ เมื่อ f_{\max} มีค่าเท่ากับ 11 GHz, L มีค่าเท่ากับ 7.636 เซนติเมตร, c มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

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



รูปที่ 4.6 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สายอากาศแบบกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง

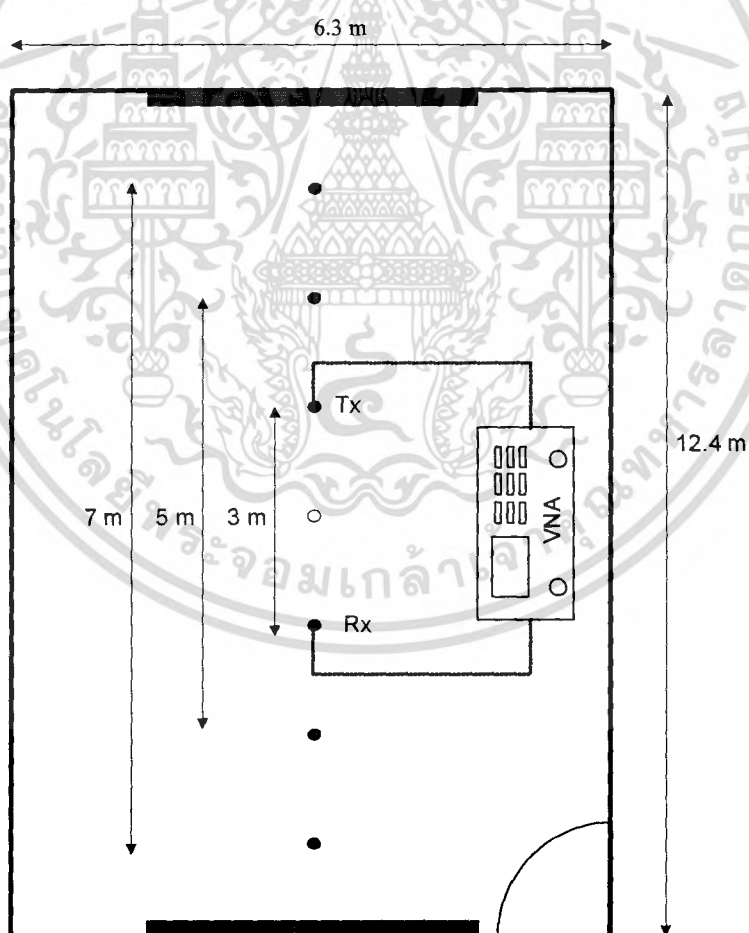
เรื่อง	การศึกษาสัญญาณการส่งผ่านวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับประยุกต์ใน HDTV
จุดประสงค์	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพื่อศึกษาสัญญาณการส่งผ่านวิทยุแบบกว้างยิ่ง และกำลังงานในขณะที่ทำการส่ง รวมถึงระยะที่ใช้งานที่ 3, 5, 7 เมตร ทั้งแบบ LOS NLOS และแบบ Human Body 2. สามารถหาค่าตัวแปรที่ใช้บอกคุณลักษณะของช่องสัญญาณนั้นๆ ได้
อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	<ol style="list-style-type: none"> 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 7 เมตร 1 เส้น 5. ขาตั้งกล้องสูง 1.50 เมตร 6. แผ่นลดการสะท้อน: Absorber 7. กำแพงคอนกรีต
สถานที่ทดลอง	อาคาร 12 ชั้น ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิธีการทดลอง	<ol style="list-style-type: none"> 1. จัดเตรียมสถานที่ในการทดลอง <ol style="list-style-type: none"> 1.1 กำหนดอาณาเขตในการติดตั้งสายอากาศ (measurement grid) ตัวรับและตัวส่ง โดยกำหนดตำแหน่งในการติดตั้ง จำนวน 10 จุด แต่ละจุดห่างกันเป็นระยะทาง 1 เมตร 1.2 ติดตั้งเสาอากาศตัวส่งและตัวรับที่จุดกึ่งกลางของห้อง กำหนดตำแหน่งระยะอ้างอิงที่ 1 เมตร พร้อมทั้งวัดระยะทางจากตำแหน่งที่ติดตั้งสายอากาศตัวส่งไปยังแต่ละตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งสายอากาศตัวรับ 1.3 บันทึกระยะทางที่ได้จากการวัด 2. จัดเตรียมเครื่องมือวัด <ol style="list-style-type: none"> 2.1 ทำการแคลลิเบรท (calibrate) เครื่อง vector network analyzer 2.2 ติดแผ่นลดการสะท้อนรอบเครื่อง vector network analyzer 2.3 ทำการ calibrate แบบ full two-port เครื่องมือวัดเข้ากับสาย semi-rigid coaxial cable ทั้ง 2 เส้น โดยกำหนดย่านความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GHz, จำนวนจุดความถี่ (number of frequency points) ไว้ที่จุด 801 จุด พร้อมบันทึกค่าที่ได้ไว้ใช้ในการทดลอง

- 2.4 ติดตั้งสายอากาศตัวส่งเข้ากับ port1 และสายอากาศตัวรับเข้ากับ port2
3. เริ่มทำการวัดโดยเลือก s_{21} -parameter
4. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลองที่ได้ไว้ที่ฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดให้บันทึกค่าติดต่อกัน 3 ครั้ง (3 snapshots) ต่อการวัดแต่ละจุด
5. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

แบบจำลองประกอบการทดลอง



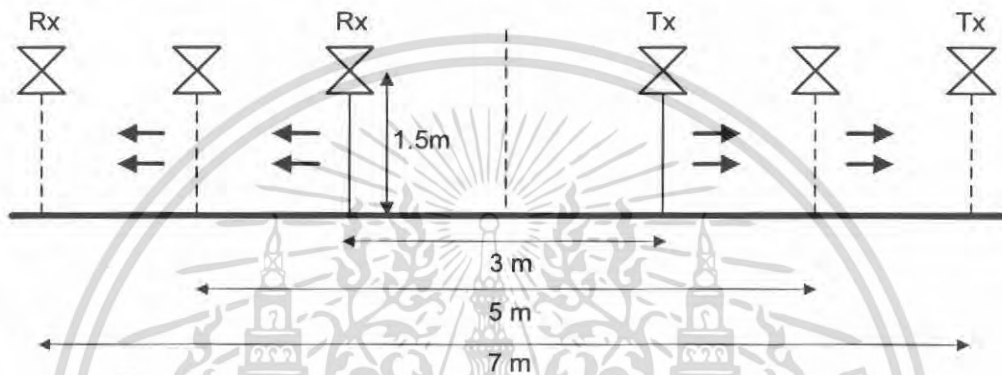
รูปที่ 4.8 แบบจำลองสถานที่ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 แบบจำลองการทดลอง

4.9.1 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 1

แบบจำลองที่ 1 ตัวส่งและตัวรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณไม่มีสิ่งกีดขวาง แล้วทำการวัดผลโดยเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 2 เมตร ออกไปตามจุด ที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร



รูปที่ 4.9 (ก) รูปแบบจำลองที่ 1

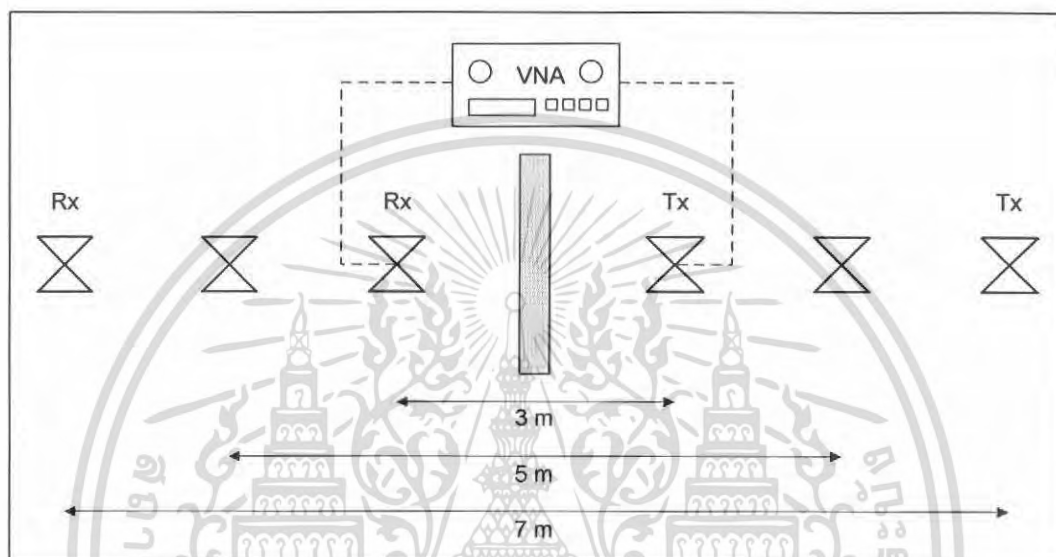


รูปที่ 4.9 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 1

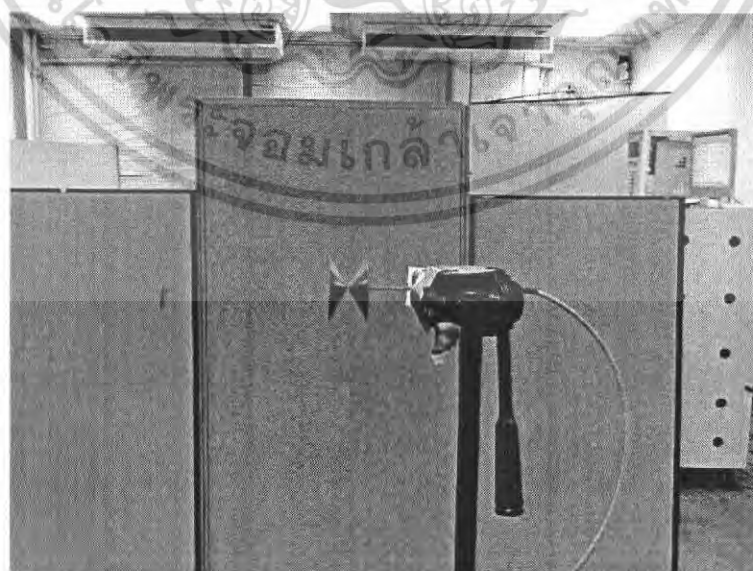
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 2

แบบจำลองที่ 2 ตัวส่งและตัวรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณมีกำลังพาที่ขึ้นกั้นระหว่างกลาง แล้วทำการวัดผลโดยเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 2 เมตร ออกไปตามจุด ที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร



รูปที่ 4.10 (ก) รูปแบบจำลองที่ 2

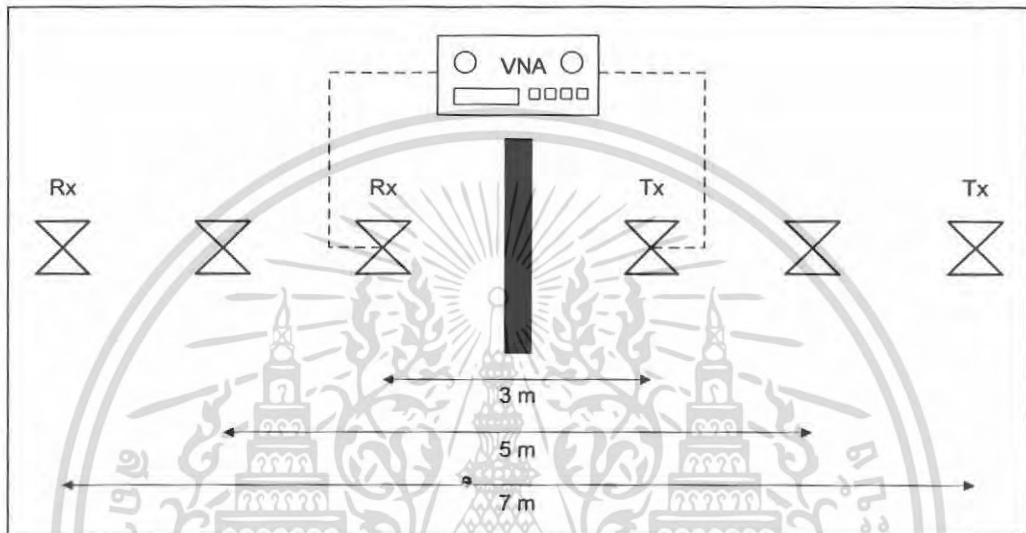


รูปที่ 4.10 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 3

แบบจำลองที่ 3 ตัวส่งและตัวรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณมีกำลังกันระหว่างกลาง แล้วทำการวัดผลโดยเลื่อนตำแหน่งครึ่งละ 2 เมตร ออกไปตามจุด ที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร



รูปที่ 4.11 (ก) รูปแบบจำลองที่ 3

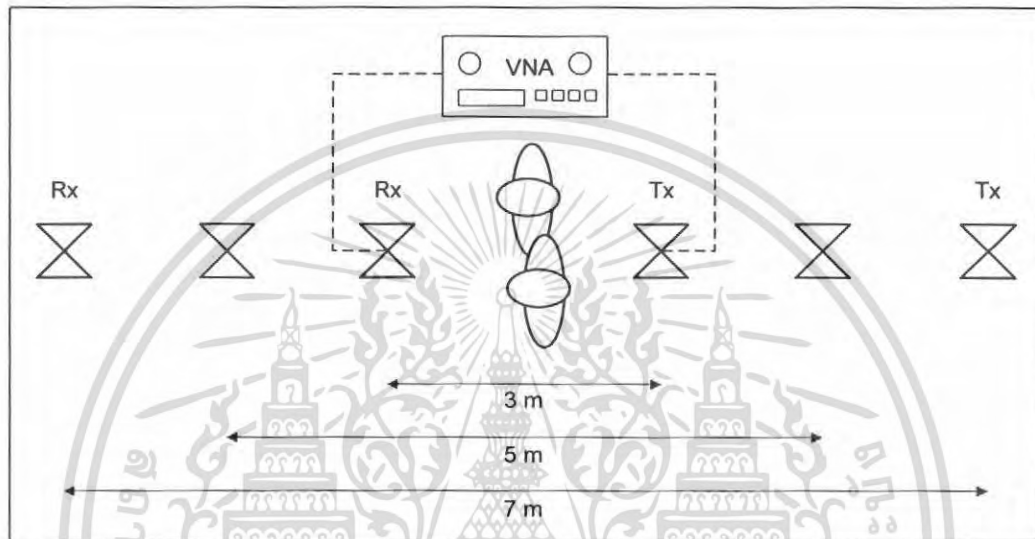


รูปที่ 4.11 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.4 รูปแบบการวัดแบบจำลองที่ 4

แบบจำลองที่ 4 ตัวส่งและตัวรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณมี Human Body เข้าม่ากั้ระหว่างกลาง แล้วทำการวัดผล โดยเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 2 เมตร ออกไปตามจุด ที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร



รูปที่ 4.12 (ก) รูปแบบจำลองที่ 4



รูปที่ 4.12 (ข) ตัวอย่างภาพถ่ายแบบจำลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงสูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ และขั้นตอนในการทดลองวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในสถานะแวดล้อมในอาคาร โดยใช้หลักการส่งสัญญาณใน HDTV คือส่งที่ความถี่ 3.1 – 5.0 GHz โดยมีแบบจำลอง 4 แบบเพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองทั้ง 4 แบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณ ที่ได้จากการวัดตามแบบจำลองทั้ง 4 แบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ การสูญเสียของสัญญาณเชิงวิถี ค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่ และอัตราความผิดพลาดบิต แล้วนำมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 4 แบบ

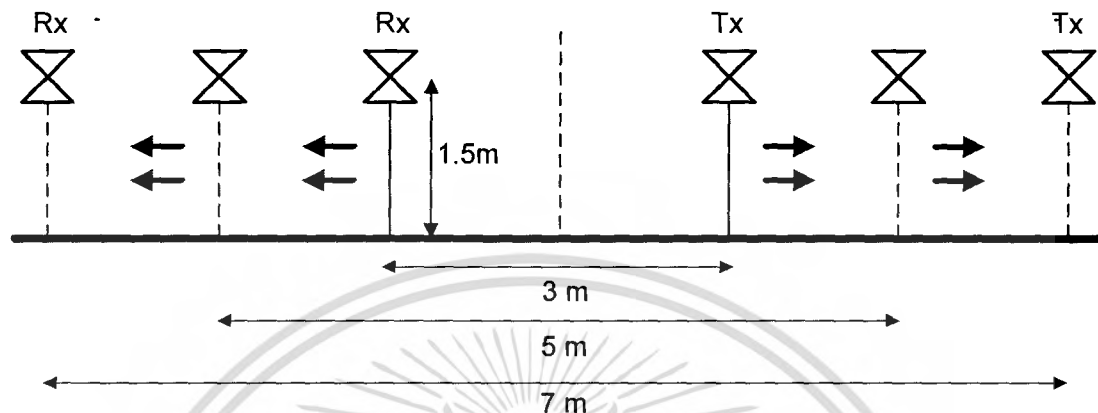
5.2 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
ย่านความถี่	3.1 – 4.8 กิกะเฮิร์ต
จำนวนจุดในการวัด	801
ค่ากำลังพลวัตของเครื่อง	80 dB
ความสูงของสายอากาศตัวส่ง	1.50 m
ความสูงของสายอากาศตัวรับ	1.50 m
มุมของสายอากาศตัวรับและส่งแบบจำลองที่ 1	Vertical Polarization
มุมของสายอากาศตัวรับและส่งแบบจำลองที่ 2, 3, 4	Horizontal Polarization
ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง	3, 5, 7 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการวัดที่ 1

แบบจำลองการวัดแบบที่ 1 ตัวส่งและตัวรับเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical Antennas) ซึ่งสูง 1.50 เมตร แล้วทำการวัดระยะแรกที่ 3 เมตร จากนั้นเลื่อนตำแหน่งทั้งตัวรับและตัวส่งออกไปเรื่อยๆ ครั้งละ 1 เมตร

ตารางที่ 5.2 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
1	61.5191	3
2	66.2832	5
3	69.8489	7

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันเป็นระยะที่ 3, 5, 7 เมตร ตามลำดับ โดยมีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ายิ่งระยะไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็จะยิ่งมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะแปรผันตามระยะทาง คือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับ

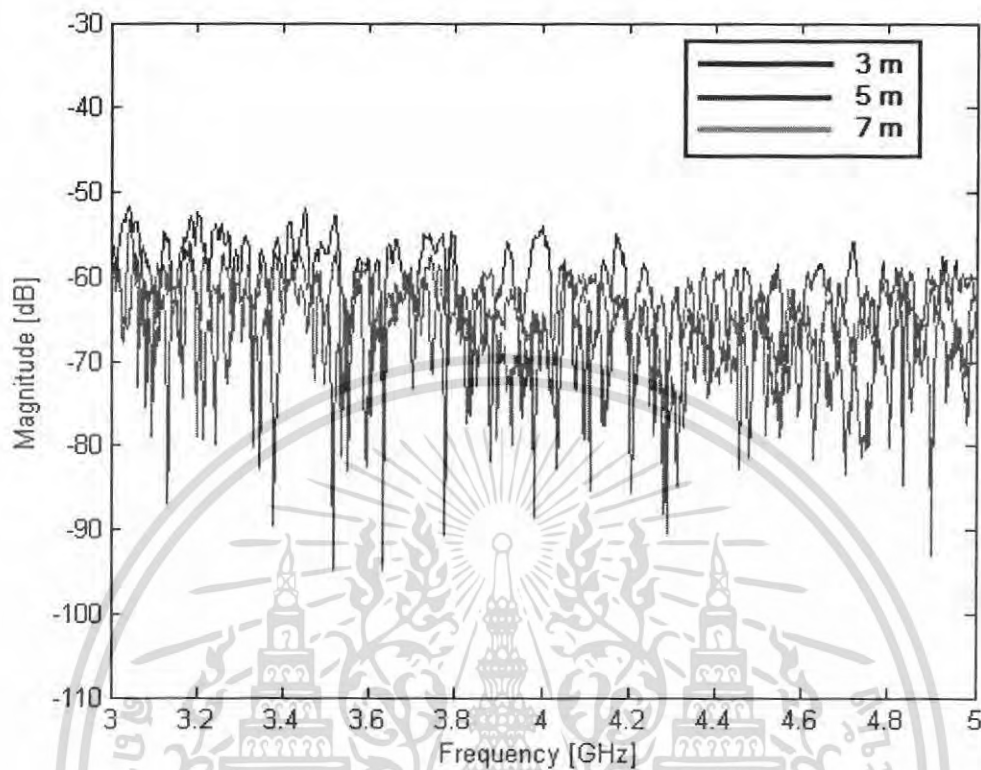
สัญญาณอยู่ใกล้กันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อย

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 1

ระยะทาง (เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
3	0.6014
5	0.5322
7	0.4515

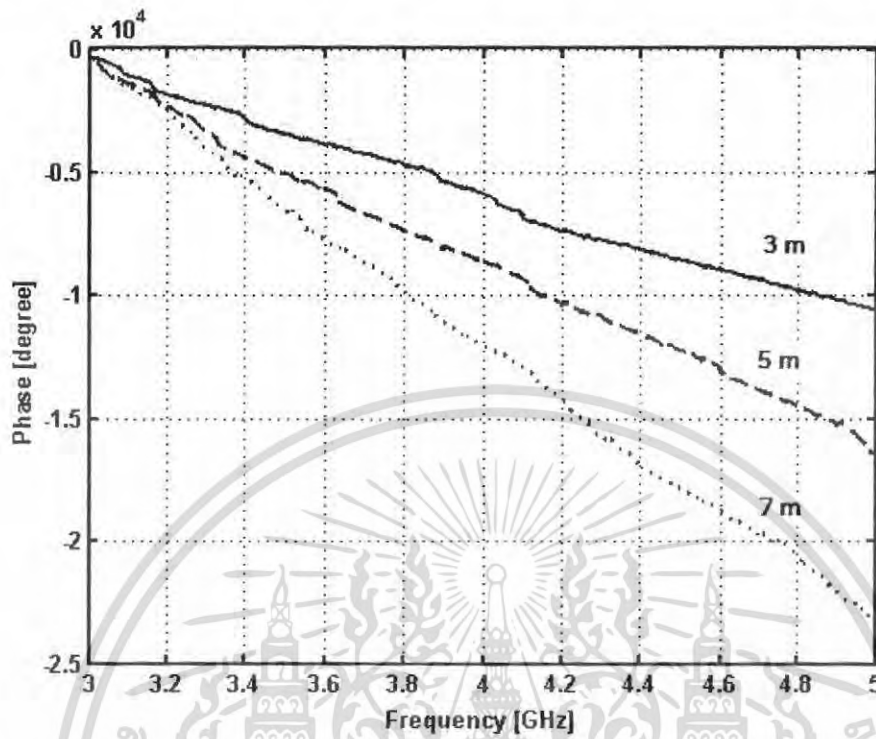
จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่ง ไปยังสายอากาศตัวรับ ที่ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยโปรแกรม MATLAB และนำมาแสดงในกราฟ ระหว่าง เฟส กับความถี่ และ เฟส กับ ความถี่ โดยใช้แบบจำลองที่ 1 แล้วมาหาค่าเฉลี่ยจากนั้น จะแสดงกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่

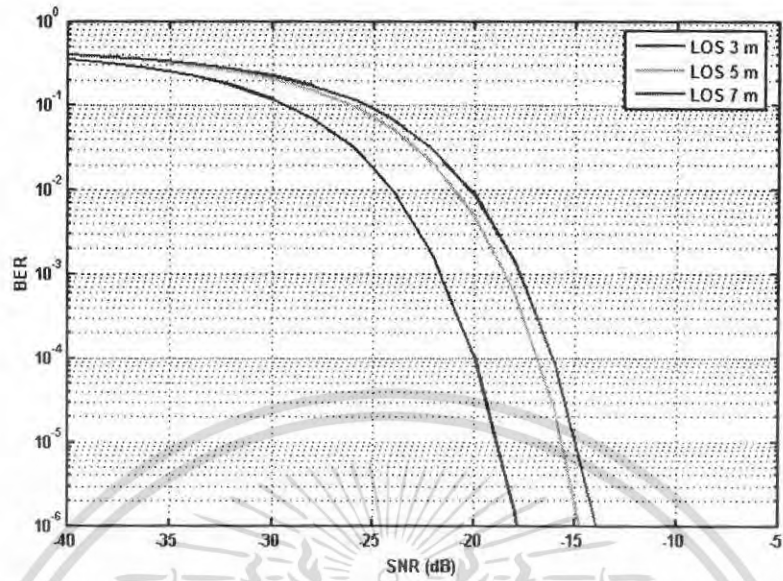
จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกด้วยการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากขึ้นจะทำให้ค่าขนาดมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

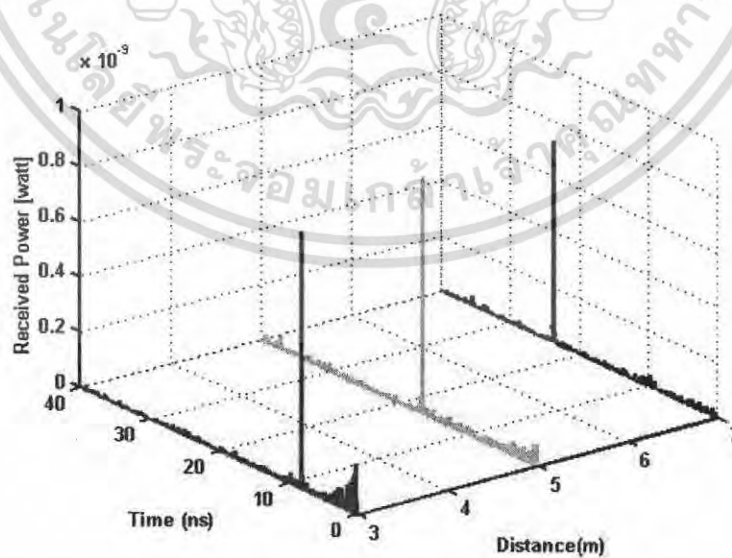
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ห่างกันที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น สัญญาณที่ออกมาจากตัวส่งสัญญาณ ไปยังตัวรับสัญญาณเกิดการรบกวนมากขึ้น

อัตราบิดผิดพลาดสามารถชี้วัดประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลของช่องสัญญาณได้โดยการทดลอง ได้ส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับแล้วทำการพล็อตกราฟอัตราผิดพลาดบิดได้ดังนี้



รูปที่ 5.4 ค่าอัตราผิดพลาดบิตแบบจำลองที่ 1

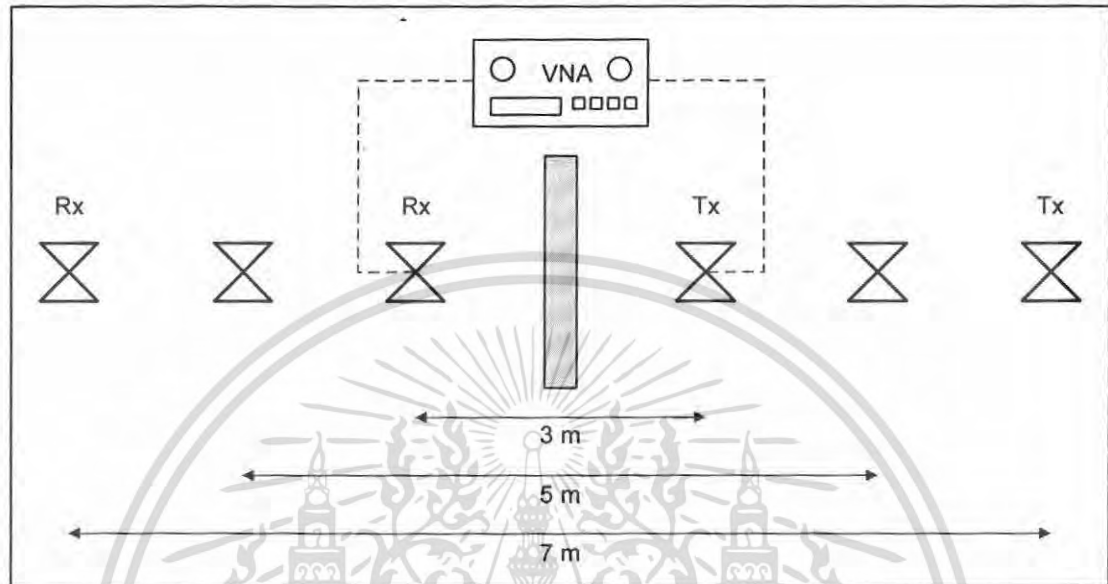
จากผลของอัตราผิดพลาดบิต จะเห็นว่า สำหรับระยะทางในการส่งที่ไกลขึ้น อัตราผิดพลาดบิตก็จะมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตแปรผันตามระยะทางที่สายอากาศตัวส่งส่งสัญญาณถึงสายอากาศตัวรับ



รูปที่ 5.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 2



รูปที่ 5.6 แบบจำลองการวัดที่ 2

ตารางที่ 5.4 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 2

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
1	64.4195	3
2	68.5030	5
3	69.1144	7

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันเป็นระยะที่ 3, 5, 7 เมตร ตามลำดับ โดยมีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ซึ่งแสดงได้ดังตาราง จะเห็นได้ว่า ยิ่งระยะไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็จะยิ่งมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่า ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะแปรผันตามระยะทาง คือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยๆ และแบบจำลองที่ 2 นี้มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

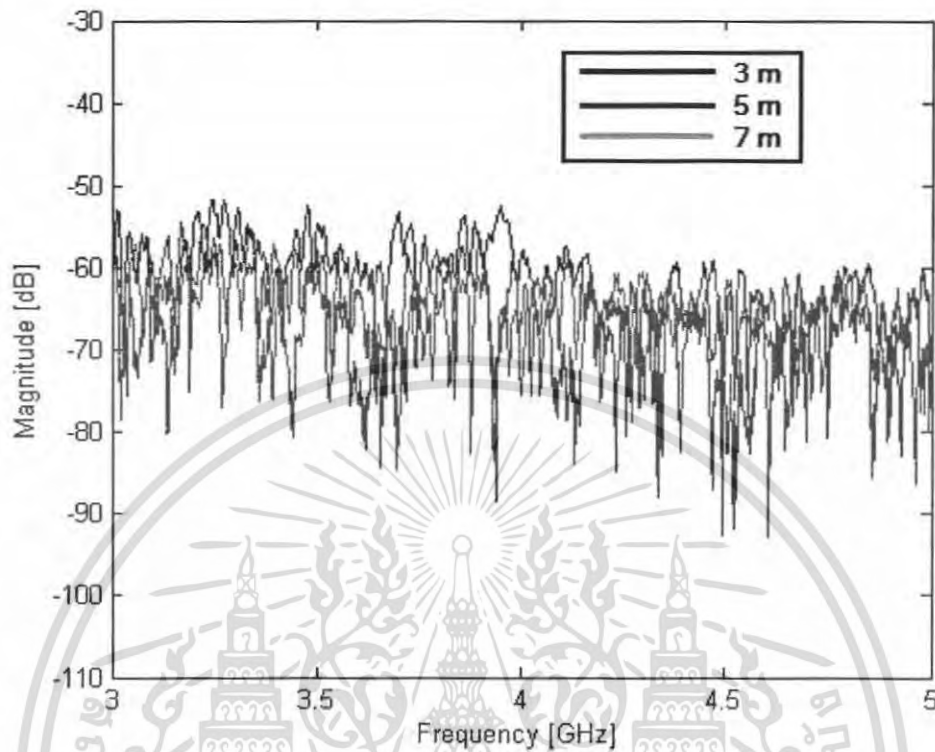
มากกว่าแบบจำลองที่ 1 เพราะมีกำแพงพาดิชั่นเป็นสิ่งกีดขวางการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง

ตารางที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 2

ระยะทาง (เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
3	0.4154
5	0.4077
7	0.3774

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่ง ไปยังสายอากาศตัวรับ ที่ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

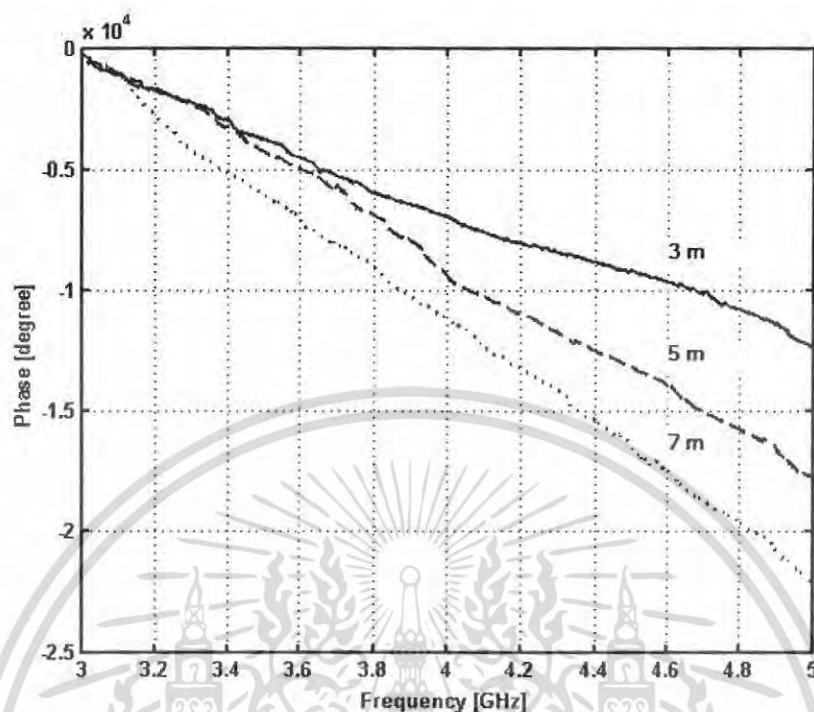
การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยโปรแกรม MATLAB และนำมาแสดงในกราฟ ระหว่าง เฟส กับความถี่ และ เฟส กับ ความถี่ โดยใช้แบบจำลองที่ 2 แล้วมาหาค่าเฉลี่ยจากนั้น จะแสดงกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งสัญญาณ แต่มีกำแพงมาคั่นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกด้วยว่าการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากขึ้นจะทำให้ค่าขนาดมากขึ้นด้วย

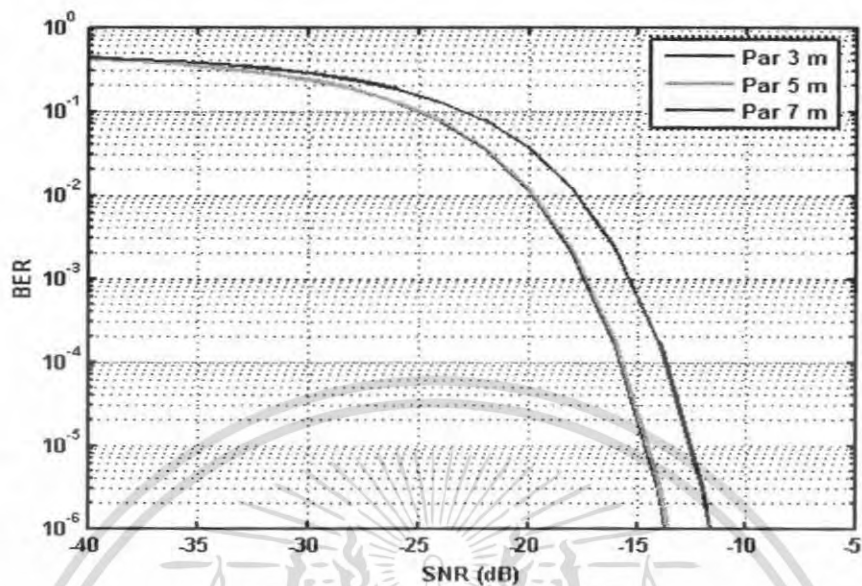
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

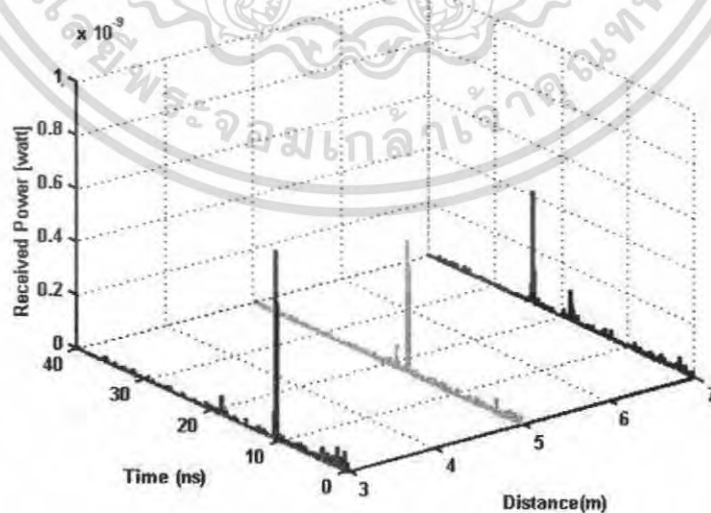
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ห่างกันที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น การรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ

อัตราบิดผิดพลาด สามารถชี้วัดประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลของช่องสัญญาณได้โดยการทดลองได้ส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ พร้อมทั้งมีกำแพงมากั้นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ แล้วทำการพล็อตกราฟอัตราบิดพลาดบิตได้ดังนี้



รูปที่ 5.9 ค่าอัตราผิดพลาดแบบจำลองที่ 2

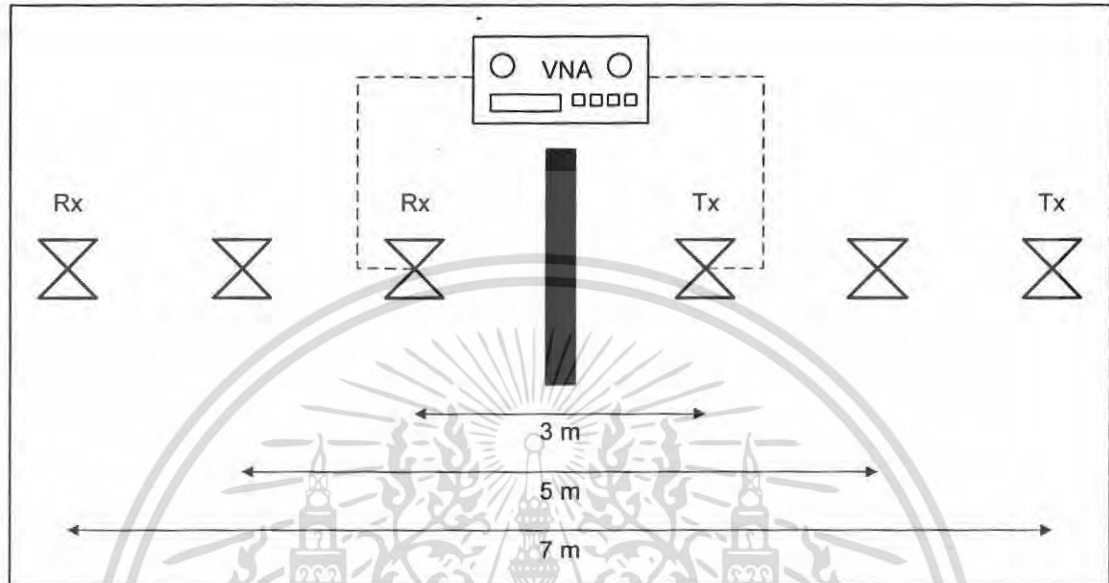
จากผลของอัตราผิดพลาดบิต จะเห็นว่า สำหรับระยะทางในการส่งที่ไกลขึ้น อัตราผิดพลาดบิตก็จะมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตแปรผันตามระยะทางที่สายอากาศตัวส่งส่งสัญญาณถึงสายอากาศตัวรับ



รูปที่ 5.10 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 3



รูปที่ 5.11 แบบจำลองการวัดที่ 3

ตารางที่ 5.6 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 3

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
1	66.2363	3
2	68.6594	5
3	74.3821	7

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันเป็นระยะที่ 3, 5, 7 เมตร ตามลำดับ โดยมีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ซึ่งแสดงได้ดังตาราง จะเห็นได้ว่า ยิ่งระยะไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็จะยิ่งมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่า ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะแปรผันตามระยะทาง คือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อย และแบบจำลองที่ 3 นี้มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

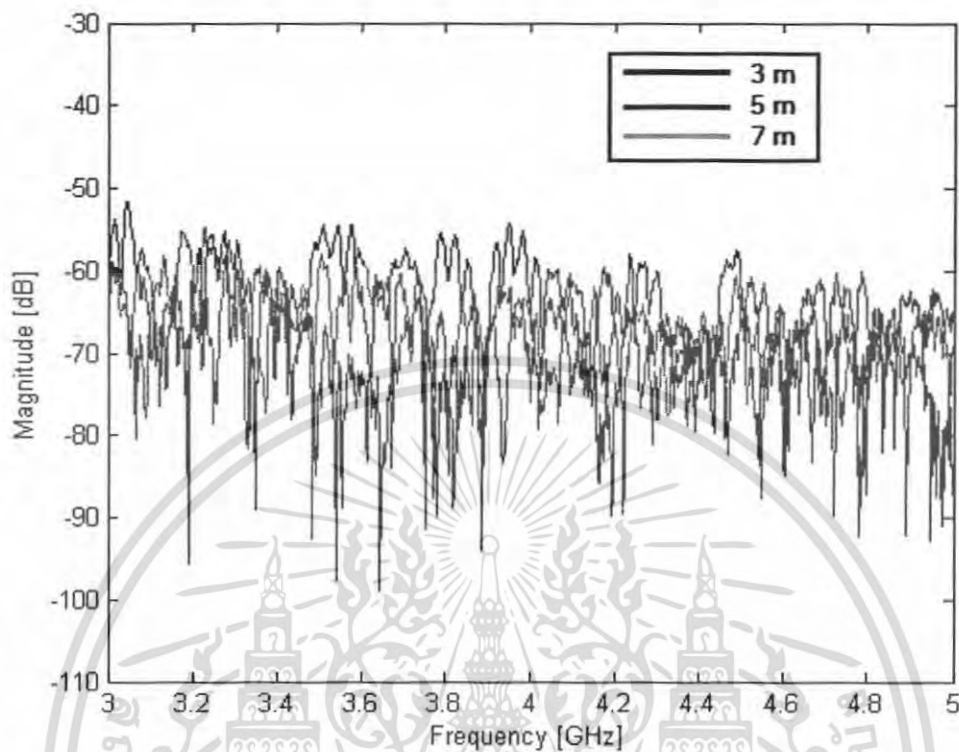
มากกว่าแบบจำลองที่ 1 เพราะมีกำแพงคอนกรีตเป็นสิ่งกีดขวางการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่ง

ตารางที่ 5.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 3

ระยะทาง (เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
3	0.5391
5	0.4717
7	0.3281

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่ง ไปยังสายอากาศตัวรับ ที่ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

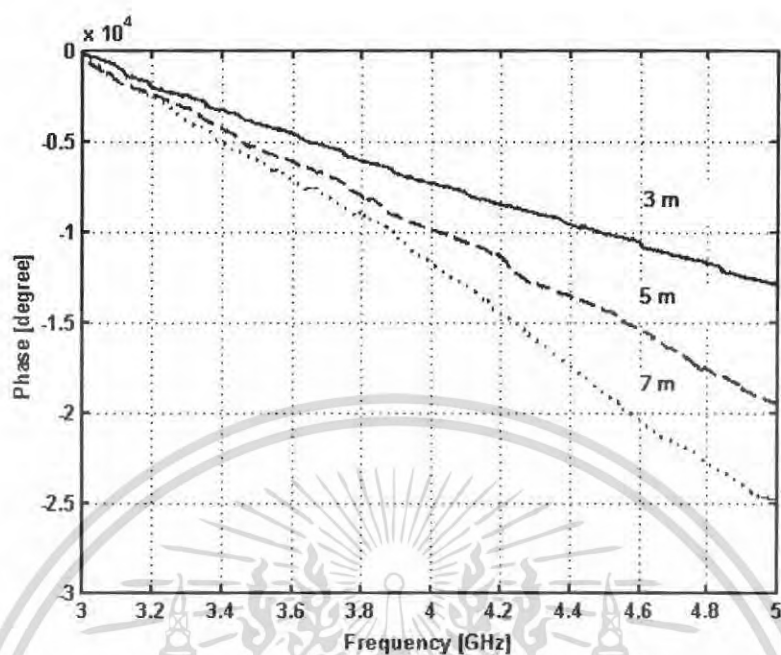
การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยโปรแกรม MATLAB และนำมาแสดงในกราฟ ระหว่าง เฟส กับความถี่ และ เฟส กับ ความถี่ โดยใช้แบบจำลองที่ 3 แล้วมาหาค่าเฉลี่ยจากนั้น จะแสดงกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดใช้สายอากาศแบบไบโคเนคอด ทั้งทางด้านรับและด้านส่งสัญญาณ แต่มีกำลังมากันระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้ จะบ่งบอกด้วยการรับสัญญาณขั้วถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากขึ้นจะทำให้ค่าขนาดมากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

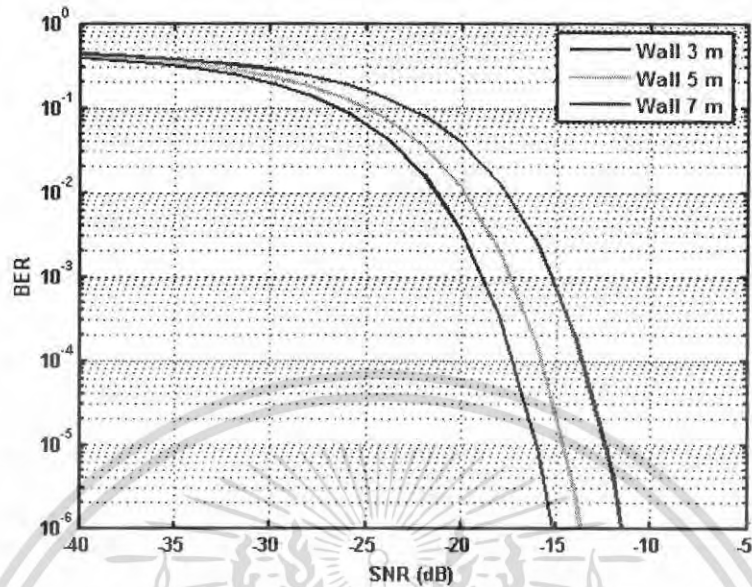


รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคเนคคัล ทั้งทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ห่างกันที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ

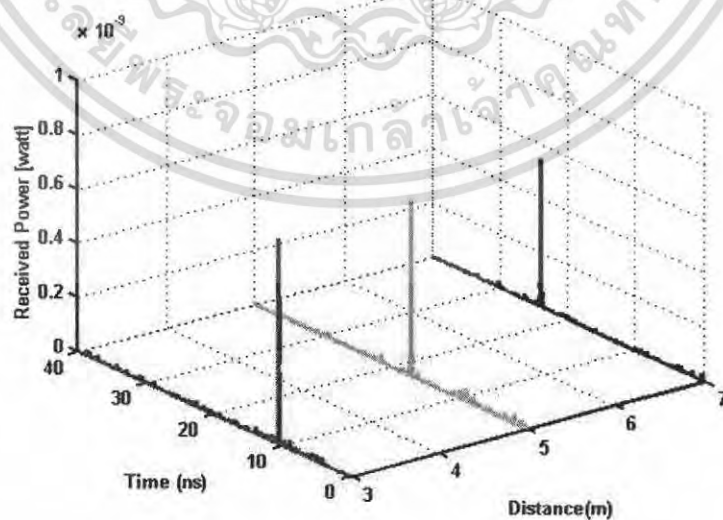
อัตราบิดผิพลาสดสามารถชี้วัดประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลของช่องสัญญาณได้โดยการทดลอง ได้ส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ พร้อมทั้งมีกำแพงมากั้นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ แล้วทำการพล็อตกราฟอัตราบิดผิพลาสดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ค่าอัตราบิตผิดพลาดแบบจำลองที่ 3

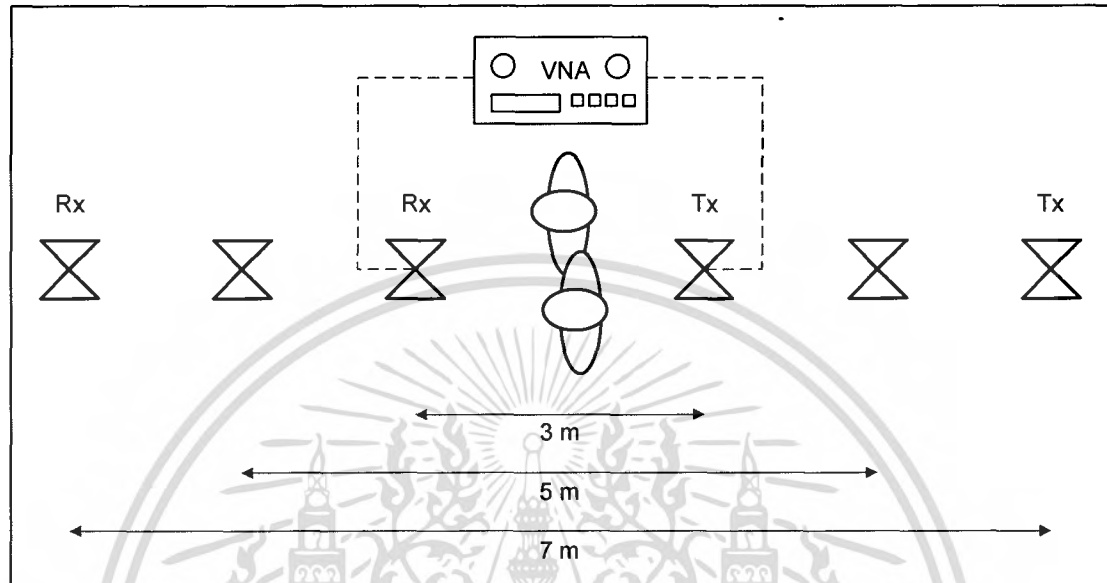
จากผลของอัตราผิดพลาดบิต จะเห็นว่า สำหรับระยะทางในการส่งที่ไกลขึ้น อัตราผิดพลาดบิตก็จะมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตแปรผันตามระยะทางที่สายอากาศตัวส่งส่งสัญญาณถึงสายอากาศตัวรับ



รูปที่ 5.15 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ผลการทดลองจากแบบจำลองการวัดแบบที่ 4



รูปที่ 5.16 แบบจำลองการวัดที่ 4

ตารางที่ 5.8 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 4

ตำแหน่งที่	การสูญเสียเชิงวิถี (dB)	ระยะทาง(เมตร)
1	67.2722	3
2	70.9740	5
3	74.5106	7

จากตารางเป็นการแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี ที่ตำแหน่งต่างๆ โดยตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันเป็นระยะที่ 3, 5, 7 เมตร ตามลำดับ และระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับมีบุคคลเข้ามาขวาง โดยมีทั้งหมด - ตำแหน่ง ซึ่งแสดงได้ดังตาราง จะเห็นได้ว่ายิ่งระยะไกลออกไปค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็จะยิ่งมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้เครื่องรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าตำแหน่งที่ไกลออกไปจากตัวรับสัญญาณ ซึ่งจะกล่าวได้ว่า ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะแปรผันตามระยะทาง คือ ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมากตาม ค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการรับสัญญาณจะรับได้น้อยกว่าค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

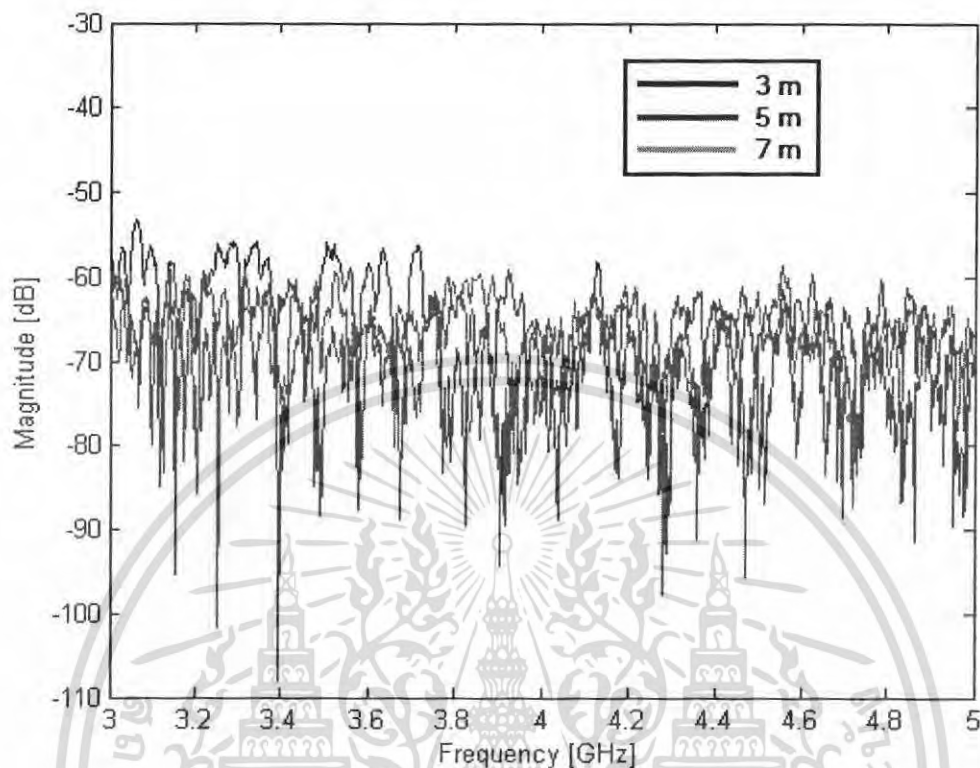
การสูญเสียเชิงวิถีน้อย และแบบจำลองที่ 4 นี้มีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมกกว่าแบบจำลองทั้งหมด แสดงว่า ร่างกายมนุษย์มีผลต่อสัญญาณที่ส่งจากสายอากาศด้านส่งไปสายอากาศทางด้านรับมากที่สุด

ตารางที่ 5.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 4

ระยะทาง (เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
3	0.5801
5	0.3978
7	0.3157

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่ง ไปยังสายอากาศตัวรับ ที่ระยะทางมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลง นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

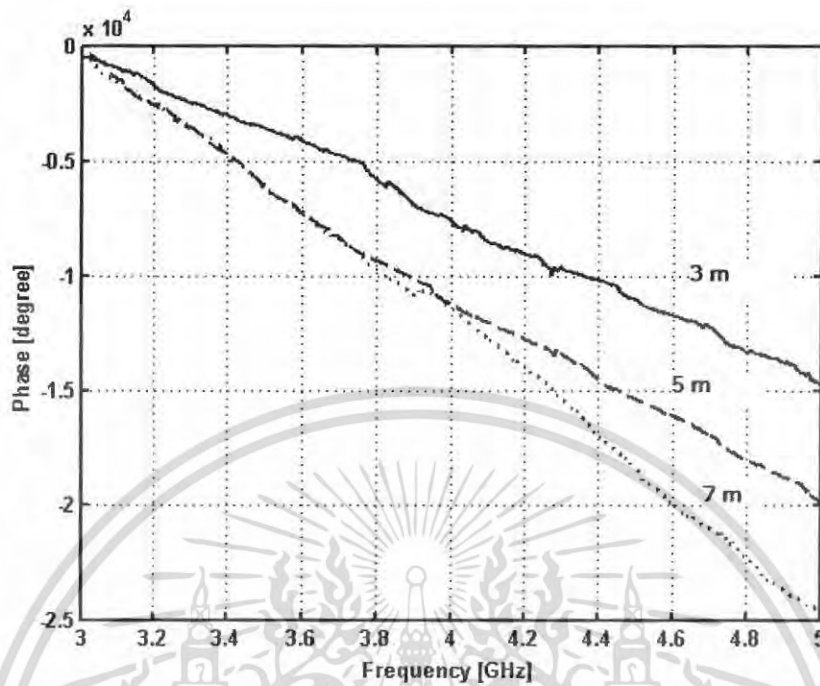
การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยโปรแกรม MATLAB และนำมาแสดงในกราฟ ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ และ เฟส กับ ความถี่ โดยใช้แบบจำลองที่ 1 แล้วมาหาค่าเฉลี่ยจากนั้น จะแสดงกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่

จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งสัญญาณ แต่มีกำแพงมากั้นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกด้วยการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากขึ้นจะทำให้ค่าขนาดมากขึ้นด้วย

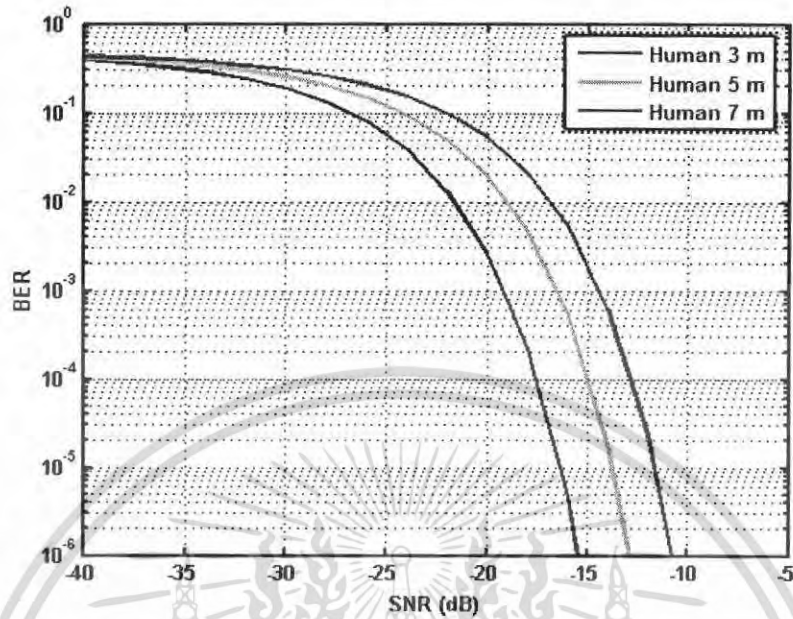
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่

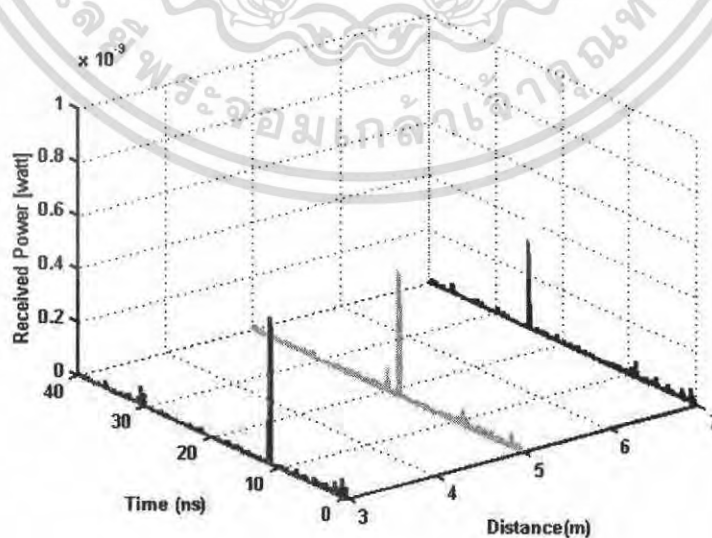
จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบไบโคเนคคัล ทั้งทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ห่างกันที่ระยะ 3, 5, 7 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ

อัตราบิดผิดพลาดสามารถวัดประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลของช่องสัญญาณได้ โดยการทดลอง ได้ส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ พร้อมทั้งมีกำแพงมากั้นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ แล้วทำการพล็อตกราฟอัตราบิดผิดพลาดบิตได้ดังนี้



รูปที่ 5.19 ค่าอัตราผิดพลาดแบบจำลองที่ 4

จากผลของอัตราผิดพลาดบิต จะเห็นว่า สำหรับระยะทางในการส่งที่ไกลขึ้น อัตราผิดพลาดบิตก็จะมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตแปรผันตามระยะทางที่สายอากาศตัวส่งส่งสัญญาณถึงสายอากาศตัวรับ

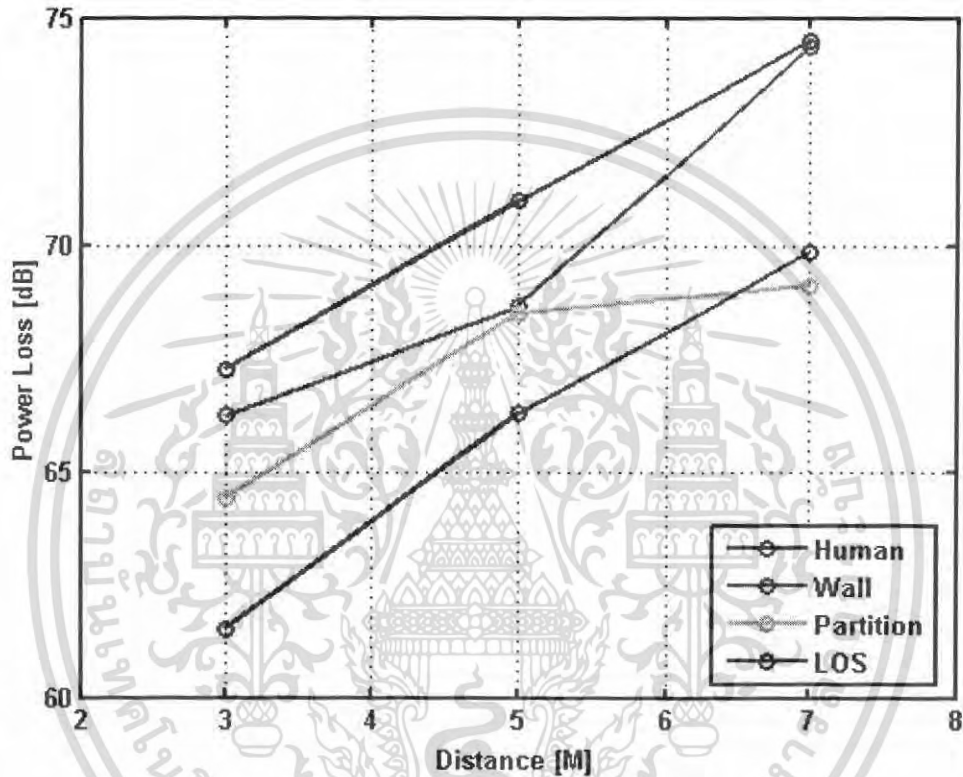


รูปที่ 5.20 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 การเปรียบเทียบการทดลอง

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการทดลองในแบบจำลองทั้ง 4 แบบแล้ว ค่าที่ได้จากกราฟต่างๆ จะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในหัวข้อนี้ เราจะนำกราฟที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ มาทำการเปรียบเทียบ

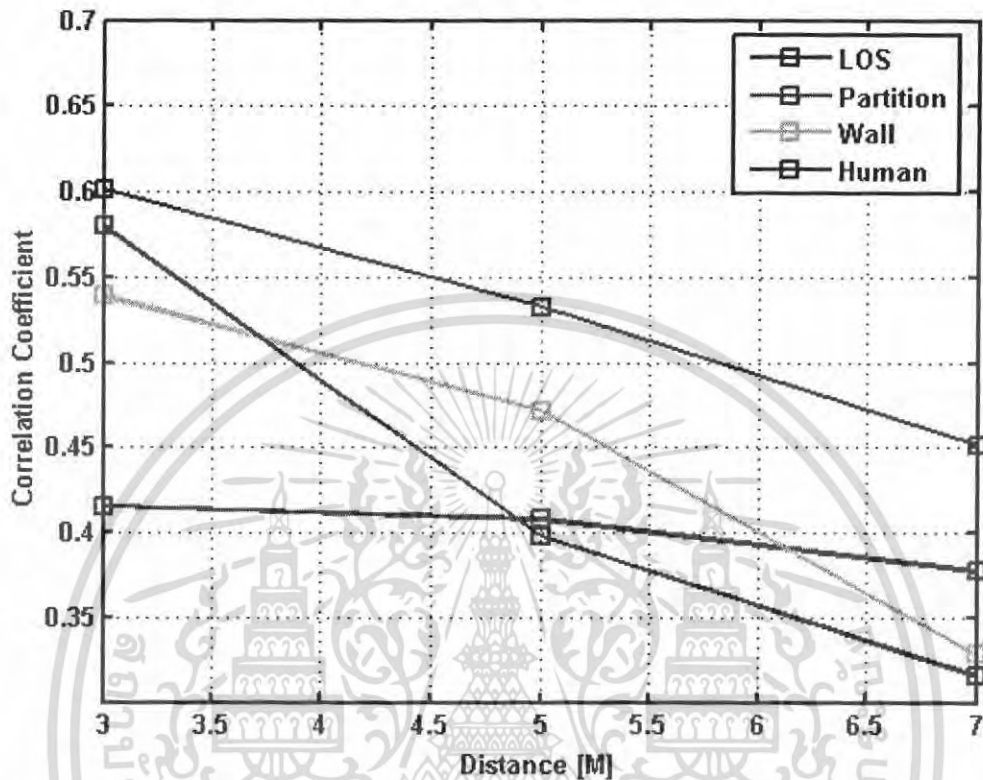


รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4

ตารางที่ 5.10 ตารางเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4

ที่	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB) แบบจำลองที่ 1	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB) แบบจำลองที่ 2	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB) แบบจำลองที่ 3	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB) แบบจำลองที่ 4	ระยะทาง (เมตร)
1	61.5191	64.4195	66.2363	67.2722	3
2	66.2832	68.5030	68.6594	70.9740	5
3	69.8489	69.1144	74.3821	74.5106	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4

ตารางที่ 5.11 ตารางเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบจำลองการวัดที่ 1, 2, 3 และ 4

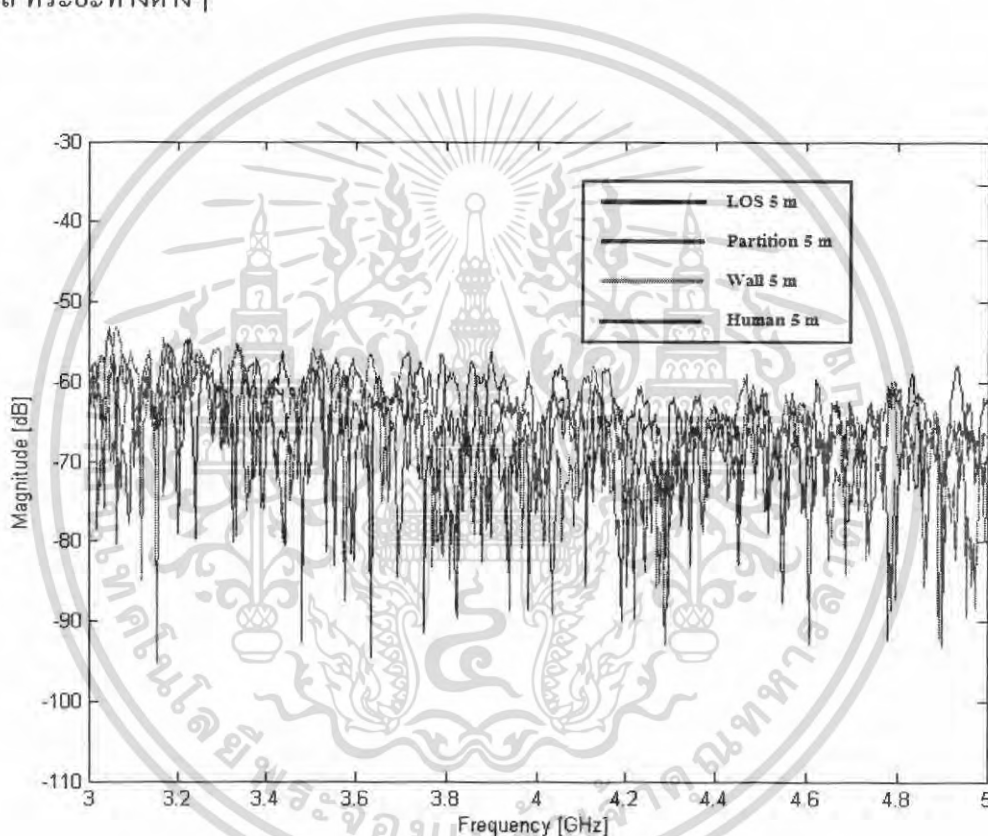
ที่	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ แบบจำลองที่ 1	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ แบบจำลองที่ 2	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ แบบจำลองที่ 3	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ แบบจำลองที่ 4	ระยะทาง (เมตร)
1	0.6014	0.4154	0.5391	0.5801	3
2	0.5322	0.4077	0.4717	0.3978	5
3	0.4515	0.3774	0.3281	0.3157	7

จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทั้ง 4 แบบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คล้ายกัน คือเมื่อระยะทางมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทั้ง 4 แบบ ที่ระยะทาง 3 เมตร แบบจำลองที่ 2 คือมีกำแพงพาทิจันเข้ามาใกล้จะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำที่สุด และที่ระยะ 5 เมตรและ 7 เมตร คือมีร่างกายมนุษย์เข้ามาใกล้ระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำที่สุด

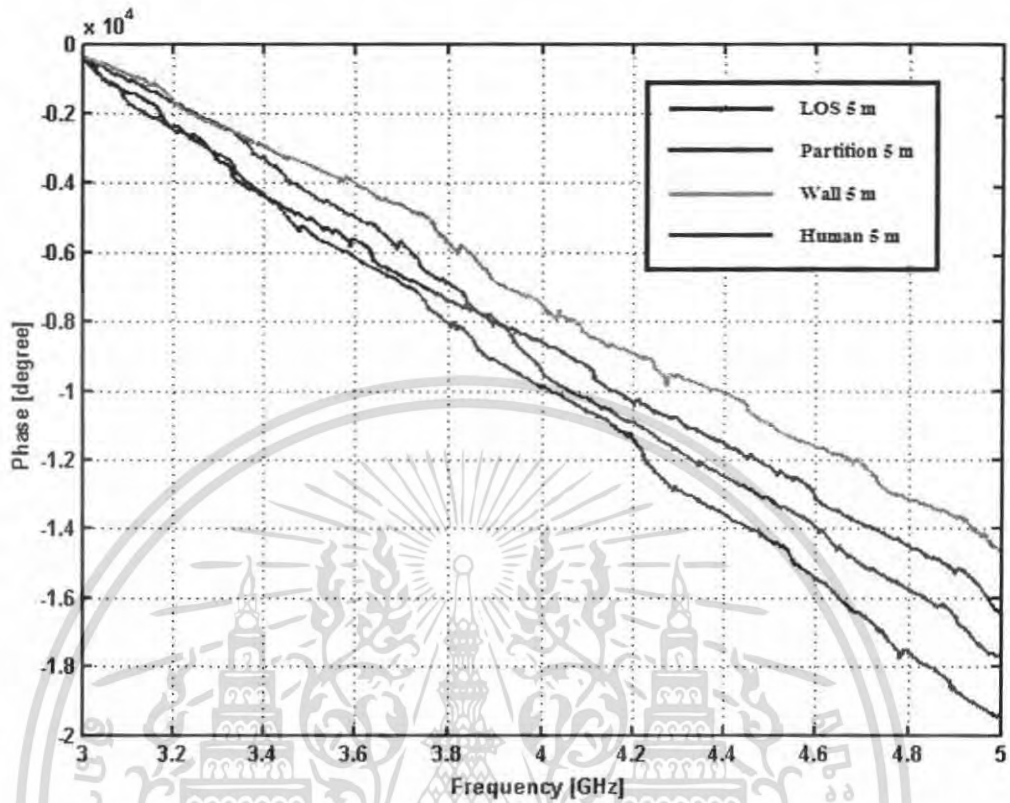
การนำค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB และนำมาพล็อตกราฟ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองการวัดทั้ง 4 โดยดูจาก เฟส กับ ความถี่ และ เฟส กับ ความถี่ ที่ระยะทางต่างๆ



รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ที่ระยะ 5 เมตร

จากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกได้ว่า การรับสัญญาณยังถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกันมากขึ้นจะทำให้ค่าขนาดมากขึ้นด้วย และสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ก็จะทำให้ค่าขนาดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

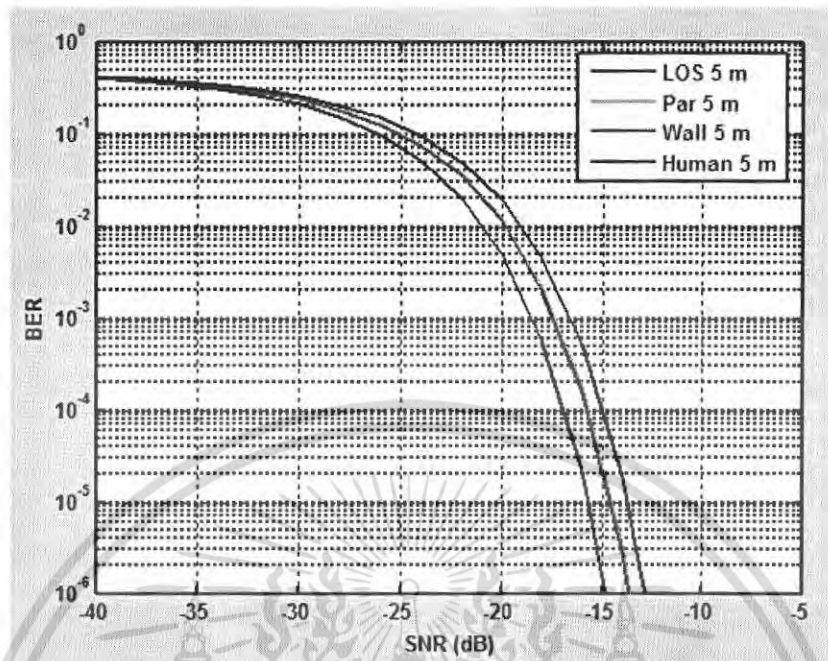


รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ที่ระยะ 5 เมตร

จากรูปกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ ซึ่งในการวัดได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งทางด้านส่งสัญญาณและด้านรับสัญญาณ ซึ่งอยู่ห่างกันที่ระยะ 5 เมตร สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อระยะทางในการส่งเท่ากัน แต่มีสิ่งกีดขวางระหว่าง สายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ เฟสของสัญญาณที่ไม่มีสิ่งกีดขวางจะเป็นเชิงเส้นมากกว่า เฟสของสัญญาณที่มีกีดขวางกัน และมีคนเข้ามาใกล้

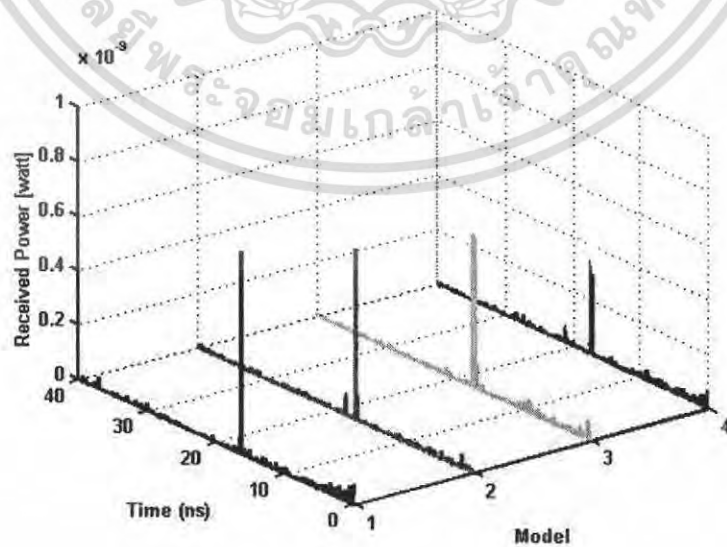
อัตราบิดผดพลาด สามารถชี้วัดประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลของช่องสัญญาณได้โดยการทดลองได้ส่งสัญญาณจากสายอากาศตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ ทั้ง 4 แบบ แล้วทำการแสดงกราฟอัตราบิดผดพลาดได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 ค่าอัตราผิดพลาดบิตทั้ง 4 แบบ

จากผลของอัตราผิดพลาดบิต จะเห็นว่า สำหรับระยะทางในการส่งที่ไกลขึ้น อัตราผิดพลาดบิตก็จะมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราผิดพลาดบิตแปรผันตามระยะทางที่สายอากาศตัวส่งส่งสัญญาณถึงสายอากาศตัวรับ



รูปที่ 5.26 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณแบบจำลองที่ 1, 2, 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 สรุปการทดลอง

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแบบจำลองทั้ง 4 แบบ โดยได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การสูญเสียของสัญญาณเชิงวิถี ค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่ และอัตราความผิดพลาดบิต ซึ่งบทสรุปของปริิณญาณินพนธ์นี้จะกล่าวในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ผ่านมา ได้จำลองสภาพแวดล้อมที่ต่างกันไป ดังนั้นเราจึงต้องศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของสัญญาณ ที่ใช้ในระบบ HDTV โดยสัญญาณนั้นจะมีช่วงความถี่ในช่วง 3.1-4.8 GHz ซึ่งเป็นความถี่ช่วง Low Band ซึ่งใช้ในระบบ HDTV จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าระยะทาง และสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศตัวส่งสัญญาณ และสายอากาศตัวรับสัญญาณ ซึ่งในการทดลอง ได้ใช้วัสดุที่แตกต่างกันออกไป

สัญญาณที่รับได้ มีค่าการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่มากขึ้น เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า ยิ่งระยะทางระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมาก ค่าการสูญเสียเชิงวิถีก็ยิ่งมาก และเมื่อมีวัสดุเข้ามาทั้งระหว่างสายอากาศตัวส่งสัญญาณและสายอากาศตัวรับสัญญาณ ก็จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้น โดยจากการทดลอง ร่างกายมนุษย์มีผลให้เกิดค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุด

ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด กับ ความถี่ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับสัญญาณ ซึ่งค่าแอมพลิจูดนี้จะบ่งบอกด้วยการรับสัญญาณยิ่งถ้าตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กันมากขึ้นจะทำให้ค่าแอมพลิจูดมากขึ้นด้วย

ความสัมพันธ์ระหว่าง เฟส กับ ความถี่ สามารถอธิบายได้ว่า ในตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีระยะทางอยู่ใกล้กับเครื่องส่งสัญญาณจะมีค่าเฟสเป็นเชิงเส้นมากกว่าตำแหน่งที่ไกลจากเครื่องส่งสัญญาณออกไป นั่นก็คือเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณได้ต่ำกว่าที่ระยะทางที่อยู่ใกล้เครื่องส่งสัญญาณ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีวัสดุเข้ามาทั้งระหว่างกลาง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเฟส กับ ความถี่ ก็จะไม่เป็นเชิงเส้นมากกว่าแบบจำลองที่ไม่มีกั้นระหว่างกลางด้วย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง BER กับระยะทาง จะเห็นได้ว่า BER เพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นเพราะยิ่งระยะทางไกล ค่าความสูญเสียเชิงวิถีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจข้อมูลผิดพลาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน และหากพิจารณาที่ระยะทางเท่ากัน แต่กำหนดให้วัสดุที่ใช้กั้นระหว่างกลางแตกต่างกันออกไป จะเห็นได้ว่า ร่างกายมนุษย์ มีผลให้เกิด BER สูงกว่าวัสดุอื่นๆ

จากการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปรผกผันกับระยะทาง

สัญญาณที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งภายในอาคารเป็นสัญญาณที่เข้ามาจากหลายทิศทาง เป็นไปตามกลไกการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อน หักเห และเลี้ยวเบน ซึ่งทำให้แต่ละเส้นทางเข้ามาถึงด้านรับไม่พร้อมกัน ซึ่งสามารถแสดงการขยายออกทางเวลาได้ด้วยค่าภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ซึ่งค่า delay ของสัญญาณนั้นจะแปรตามระยะห่างระหว่างด้านส่งและด้านรับ เมื่อระยะมากขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มมากขึ้น ค่า delay มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

5.2.1 การทดลองแต่ละครั้งมีผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีการวัดซ้ำหลายครั้ง เพื่อได้ค่าที่แน่นอน

5.2.2 เทคโนโลยี UWB ที่นำมาใช้ใน HDTV เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ทำให้ต้องใช้เวลาในการรวบรวมเนื้อหาและทำความเข้าใจนานพอสมควร

6.3 แนวทางการพัฒนาโครงการ

5.3.1 ทดลองภายใต้สภาวะที่หลากหลายมากขึ้น

5.3.2 วิเคราะห์ค่าคุณลักษณะอื่นๆ ของช่องสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่ง

5.3.3 นำแบบจำลองไปทดลองส่งสัญญาณภาพและเสียงที่ใช้ในระบบ HDTV

บรรณานุกรม

- [1] Brain Willis, FOCUS Enhancements, Tokyo, Japan. **UWB Technology Applied to Consumer Applications For Video Data Rates Across Home Size Distances.**
- [2] C. Duan, G. Pekhteryev, J. Fang, Y-P Nakache, J. Zhang, K. Tajima, Y. Nishioka, H. Hirai, **Transmitting Multiple HD Video Streams over UWB Links.** January 2006.
- [3] Chang, R. W. 1966. **Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission.** Bell System Technical Journal 46, 1775-1796.
- [4] Kai-Chuan Chang, Gerald E. Sobelman, Ebrahim Saberinia and Ahmed H. Tewfik, **TRANSMITTER ARCHITECTURE FOR PULSED OFDM.** Department of Electrical and Computer Engineering University of Minnesota Minneapolis, MN55455 USA
- [5] Sabira Khatun, Rashid A. Saeed, Borhanuddin Mohd. Ali, Mohd. Khazani Abdullah, ChanSook Fun. **ULTRA-WIDEBAND (UWB) FOR MULTIMEDIA APPLICATIONS.** Department of Computer and Communications Systems Engineering Engineering Faculty, Universiti Putra Malaysia
- [6] The MathWorks, MATLAB Digest, **Fixed-Point Modeling in an Ultra Wideband (UWB) Wireless Communication System.** May 2004.
- [7] High-definition television - Wikipedia, the free encyclopedia,
http://en.wikipedia.org/wiki/High-definition_television#HDTV_Sources