

รูปแบบการประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตาและไม่ใช่มะดับสายตาของการ
แพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยั้งสำหรับโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล
LINE OF SIGHT AND NON-LINE OF SIGHT ESTIMATION SCHEME OF
ULTRA-WIDEBAND PROPAGATION CHANNEL FOR WIRELESS
PERSONAL AREA NETWORK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LINE OF SIGHT AND NON-LINE OF SIGHT ESTIMATION SCHEME OF
ULTRA-WIDEBAND PROPAGATION CHANNEL FOR WIRELESS
PERSONAL AREA NETWORK**



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

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ รูปแบบการประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตาและไม่ใช่ระดับ
สายตาของการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับโครงข่ายไร้
สายพื้นที่ส่วนบุคคล

ชื่อนักศึกษา นายอนุพัฒน์ วีระวงศ์สวัสดิ์ รหัสประจำตัว 46015651
นายโสภณ บัวเบา รหัสประจำตัว 46015650

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	รูปแบบการประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตาและไม่ใช้ระดับสายตาของการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับโครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล	
ชื่อนักศึกษา	นายอนุพัฒน์ วีระวงศ์สวัสดิ์	รหัสประจำตัว 46015651
	นายโสภณ บัวเบา	รหัสประจำตัว 46015650
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นแบบที่อยู่ในระดับที่สายตามองเห็นและแบบที่ไม่ได้อยู่ในที่ระดับสายตาสามารถมองเห็นได้ เพื่อใช้สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล โดยโครงการนี้จะทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับค่าของการสูญเสียเชิงวิถี อัตราการขยายการส่งผ่าน รูปแบบการหน่วงกำลังงาน และการแพร่ของค่าการหน่วงโดยเฉลี่ย เพื่อเป็นแนวทางสู่การนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะข้างต้นดังที่ได้กล่าวมา และเพื่อเป็นส่วนสำหรับอ้างอิงในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของช่องสัญญาณที่ใช้งานในระบบสื่อสารแบบไร้สาย

Thesis Title	LOS/NLOS Estimation Scheme of Ultra-Wideband Propagation Channel for Wireless Personal Area Network	
Student	Mr. Anupat Weerawongsawat	ID. 46015651
	Mr. Sopon Baubow	ID. 46015650
Advisor	Prof. Sathaporn Promwong Asst. Prof. Pichaya Supannakun	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2005	

ABSTRACT

This project intends to study about the scheme of channel of line of sight (LOS) and non line of sight NLOS) of ultra wideband (UWB) and the propagation channel for wireless personal area network (WPAN). This project will test and analyze the propagation of both LOS and NLOS waves in space model twice. First the transmitter and the receiver can see each other and second, the transmitter and the receiver can not see each other. The data will be analyzed for Path Loss, Transmission Gain, Power Delay Profile and RMS Delay Spread. This project can be to use for environments line of sight and non-line of sight scheme and it can use for referent about to study and research for characteristic of free space channel.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ากราบขอขอบพระคุณคณะบุคคลเหล่านี้อย่างยิ่ง ได้แก่ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล และ อาจารย์ธัญญา มีชัย ที่ได้มีส่วนร่วมในการช่วยให้ปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์

อีกทั้งข้าพเจ้ากราบขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ เปิดโอกาสและสนับสนุนในทุกๆด้าน ปริญญาฉบับนี้จะสมบูรณ์ขึ้นมาไม่ได้เลยหากคณะบุคคลเหล่านี้ ขอคุณพระศรีรัตนไตรช่วยให้คณะบุคคลเหล่านี้จึงมีแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

นายอนุพัฒน์ วีระวงศ์สวัสดิ์

นายโสภณ บัวเบา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ	1
1.2 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

2.1 เทคโนโลยีอัตราไวด์แบนด์	5
2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง	7
2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	9
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	9
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป	10
2.4 สมการถ่ายโอนของฟรีส (Friis's Transmission Formula)	12
2.5 การประยุกต์ใช้สมการถ่ายโอนของฟรีส (Extension Friis's Transmission Formula)	12
2.6 ช่องทางการแพร่กระจายสัญญาณ	13
2.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation Mechanism)	14
2.7.1 การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณ (Deflection)	14
2.7.2 การแตกกระเจิงของสัญญาณ (Scattering)	14
2.7.3 การสะท้อนของคลื่นสัญญาณ (Reflection)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การประเมินและการจำลอง	
3.1 แบบจำลองสำหรับการวัดสัญญาณ	15
3.1.1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (Line of sight)	16
3.1.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (Non-Line of sight)	17
3.2 การวัดสัญญาณคลื่น	18
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้	18
3.2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการประมาณค่า	19
3.2.3 วิธีการวัดสัญญาณ	19
3.2.4 ปัจจัยที่กำหนดในการวัดสัญญาณ	20
การวัดสัญญาณในระดับสายตา	20
การวัดสัญญาณที่ไม่ใช่ระดับสายตา	20
3.2.5 ผลจากการประมาณค่าที่ได้จากเครื่อง Vector Analyzer Network	21
ผลจาก Line of Sight	21
ผลที่ได้จาก Non-Line of Sight	27
บทที่ 4 ผลจากการทดลอง	
4.1 สัญญาณอินพุต (Input Signal)	31
4.2 การประมาณค่าจากสมการในทางทฤษฎี	33
4.2.1 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตา (Line of Sight)	33
4.2.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)	33
4.2.1.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	35
4.2.1.3 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)	36
4.2.1.4 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	38
4.2.1.5 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	41
4.2.2 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณไม่ใช่ระดับสายตา (Non Line of Sight)	41
4.3 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณ	42
4.3.1 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณในระดับสายตา (LOS)	42
4.3.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	43
4.3.1.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	44
4.3.1.4 RMS Delay Spread	45
4.3.2 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณไม่ใช่ระดับสายตา (NLOS)	46
4.3.2.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)	46
4.3.2.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	47
4.3.2.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	48
4.3.2.4 RMS Delay Spread	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 ผลที่ได้จากการวิจัย	50
5.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	50
5.1.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)	51
5.1.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	52
5.1.4 RMS Delay Spread	53
สรุปวิจารณ์	54
ภาคผนวก	55

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 มาตรฐาน 802.15 ของ WPAN	3
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิปที่ใช้กับระบบ UWB	5
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของระบบต่างๆ	7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกับระบบ UWB	7
รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่ง	11
รูปที่ 2.5 การส่งผ่านข้อมูลไร้สายแบบ LOS	12
รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้สมการของฟรีส	12
รูปที่ 3.1 ขนาดของแบบจำลองที่ใช้ในการวัดสัญญาณ	15
รูปที่ 3.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสาย (Line of sight)	16
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสาย (Non Line of sight)	17
รูปที่ 3.4 เครื่อง Vector Network Analyzer	18
รูปที่ 3.5 สายอากาศ Biconical	19
รูปที่ 3.6 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 0.5 เมตร ของ LOS	21
รูปที่ 3.7 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 1.0 เมตร ของ LOS	21
รูปที่ 3.8 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 1.5 เมตร ของ LOS	22
รูปที่ 3.9 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.0 เมตร ของ LOS	22
รูปที่ 3.10 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.5 เมตร ของ LOS	22
รูปที่ 3.11 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.0 เมตร ของ LOS	23
รูปที่ 3.12 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.5 เมตร ของ LOS	23
รูปที่ 3.13 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.0 เมตร ของ LOS	23
รูปที่ 3.14 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.5 เมตร ของ LOS	24
รูปที่ 3.15 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ LOS	24
รูปที่ 3.16 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.5 เมตร ของ LOS	24
รูปที่ 3.17 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.0 เมตร ของ LOS	25
รูปที่ 3.18 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.5 เมตร ของ LOS	25
รูปที่ 3.19 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.0 เมตร ของ LOS	25
รูปที่ 3.20 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.5 เมตร ของ LOS	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.21 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 8.0 เมตร ของ LOS	26
รูปที่ 3.22 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.0 เมตร ของ NLOS	27
รูปที่ 3.23 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.5 เมตร ของ NLOS	27
รูปที่ 3.24 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.0 เมตร ของ NLOS	28
รูปที่ 3.25 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.5 เมตร ของ NLOS	28
รูปที่ 3.26 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.0 เมตร ของ NLOS	28
รูปที่ 3.27 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.5 เมตร ของ NLOS	29
รูปที่ 3.28 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ NLOS	29
รูปที่ 3.29 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ NLOS	29
รูปที่ 3.30 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.0 เมตร ของ NLOS	30
รูปที่ 3.31 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.5 เมตร ของ NLOS	30
รูปที่ 3.32 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.0 เมตร ของ NLOS	30
รูปที่ 4.1 ก. รูปแบบสัญญาณอินพุต	32
รูปที่ 4.1 ข. รูปแบบแถบสัญญาณอินพุต	32
รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของอัตรการขยายเชิงวิถี (Transfer function of free space)	34
รูปที่ 4.3 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี	35
รูปที่ 4.4 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี	37
รูปที่ 4.5 ค่าอัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี	38
รูปที่ 4.6 การนิยามให้ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน เท่ากับอัตราการขยายของ ฟรีส	39
รูปที่ 4.7 ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) ในทางขนาดของแรงดัน	40
รูปที่ 4.8 ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) ในทางขนาดของกำลังงาน	40
รูปที่ 4.9 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	41
รูปที่ 4.10 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) จากการทดลองและวัดค่า	43
รูปที่ 4.11 ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) จากการทดลองและวัดค่า	44
รูปที่ 4.12 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	45
รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายการหน่วงเวลา (RMS Delay Spread)	46
รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) จากการทดลองและวัดค่า	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15 ค่าการอัตราการขยายสัญญาณของช่องสัญญาณ จากการทดลองและวัดค่า	48
รูปที่ 4.16 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)	48
รูปที่ 4.17 รูปแบบการกระจายการหน่วงเวลา (RMS Delay Spread)	49



บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของโครงการ

ในระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่เป็นการสื่อสารไร้สายแบบระยะทางสั้นๆ นั้น ที่มีความต้องการที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารที่ความเร็วอัตราสูง ใช้กำลังงานการส่งที่ต่ำเพราะความสนใจในด้านสุขภาพและความปลอดภัยเกี่ยวกับชีวิตความเป็นอยู่กำลังเพิ่มมากขึ้น และราคาของอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้สำหรับสื่อสารต้องไม่แพงเกินกำลังซื้อของลูกค้าได้ ดังนั้นเทคโนโลยีที่จะใช้งานในระบบนี้ต้องเป็นเทคโนโลยีที่รองรับความต้องการหลักของระบบนี้ได้ และตัวหนึ่งที่ระบบนี้กำลังสนใจอยู่คือ เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband technology: UWB Technology)

ในการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีของระบบ UWB สายอากาศถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก การที่จะเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมนั้นต้องมีการศึกษาถึงการทำงานของระบบที่จะนำเอาเทคโนโลยี UWB ไปใช้งานว่าระบบนั้นมีการรับ/ส่ง ข้อมูลในแบบใดบ้างเช่น บางระบบมีการรับ-ส่ง ข้อมูลเฉพาะด้านหน้าของอุปกรณ์หรือผู้ใช้ หรือบางระบบต้องการให้มีการรับ/ส่ง ข้อมูลเพียงแค่ด้านหน้าและด้านหลังของของผู้ใช้งาน ดังนั้นสายอากาศที่จะนำไปใช้ในแต่ละระบบย่อมมีคุณสมบัติที่ต่างกัน สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลนี้ระบบที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทุกทิศทางที่จะเลือกสายอากาศให้มีความเหมาะสมกับระบบจึงต้องพิจารณาสายอากาศที่มีคุณสมบัติแบบรอบทิศทางหรือที่เรียกว่า “Omni directional” ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้สายอากาศแบบ Biconical

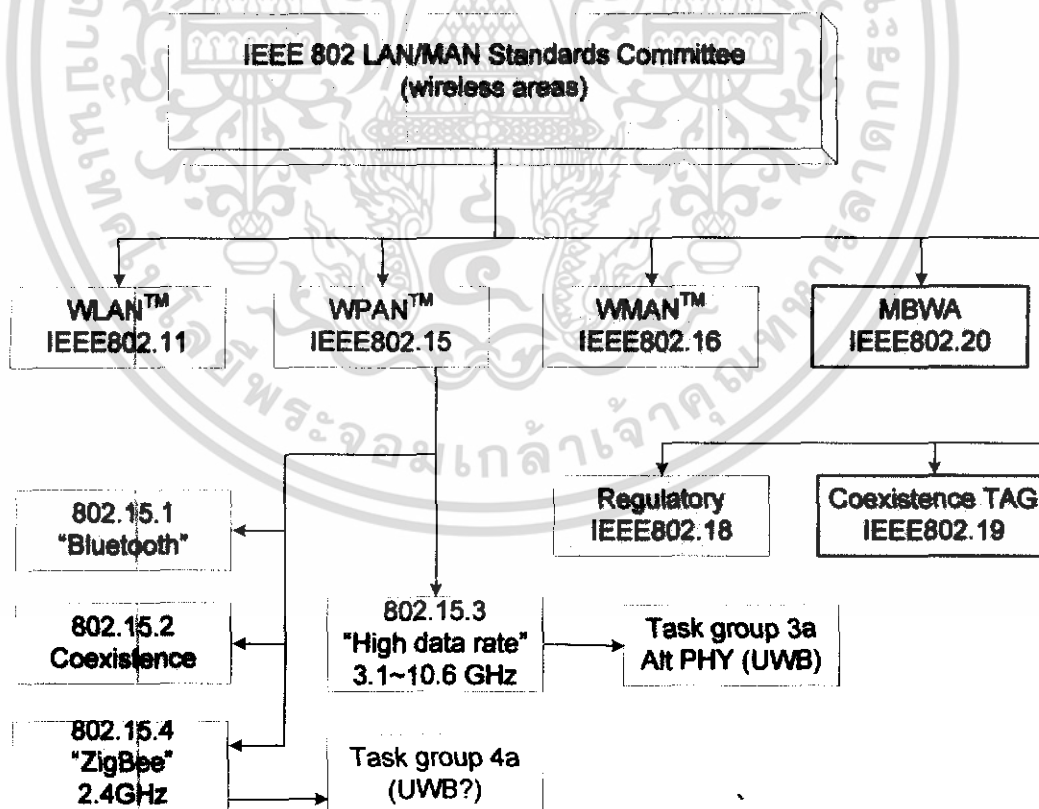
ในระบบสื่อสารความถี่ของสัญญาณข้อมูลถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากที่ต้องพิจารณา เนื่องจากหากสัญญาณที่รับได้ไม่ตรงกับสัญญาณที่ส่งมาโดยสิ้นเชิง นั้นแสดงว่าด้านรับจะไม่ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ทำการติดต่อสื่อสารด้วยประสิทธิภาพลง หรืออาจถือได้ว่าเป็นการล้มเหลวของการสื่อสาร และในระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลมีความต้องการความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูง เนื่องจากอยู่ในระยะทางที่สั้นๆ การผิดพลาดก็ไม่น่าจะมี และด้วยเทคโนโลยีของ UWB ที่สามารถที่จะลดหรือแก้ไขปัญหานี้ได้

ด้วยสาเหตุดังที่กล่าวมานี้ ในโครงการนี้จึงได้เลือกเอาเทคโนโลยีของ UWB มาใช้กับระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) เพราะเล็งเห็นถึงคุณสมบัติที่สอดคล้องกันระหว่างระบบที่ใช้กับเทคโนโลยีที่นำมาเป็นเครื่องมือในระบบการสื่อสาร

โครงการนี้สนใจที่จะวิเคราะห์ถึงรูปแบบการรับ-ส่ง สัญญาณในลักษณะของแบบที่สายตามองเห็น (Line of sight: LOS) และในรูปแบบที่ไม่ได้อยู่ในระดับที่สายตาสามารถมองเห็นได้ (Non-line of sight: NLOS) เพราะโดยหลักแล้วการใช้งานระบบการสื่อสารทั่วไปจะมีการรับ-ส่งข้อมูลในลักษณะทั้งสองอย่างดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จากที่กล่าวทั้งหมดโครงการนี้ได้ตั้งเป้าไว้ว่าเราจะทราบได้อย่างไรว่า ระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่นำเอาเทคโนโลยีของ UWB มาใช้งานจะสามารถใช้ได้กับการรับ-ส่ง ข้อมูลทั้งในรูปแบบที่เป็น LOS และ NLOS ได้ จึงเป็นที่มาของโครงการนี้

1.2 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง

ระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลมีการอ้างอิงถึงมาตรฐานที่กำหนดการใช้งานไว้โดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การทำงานของระบบที่นำมาใช้วิเคราะห์นี้เป็นไปตามข้อกำหนดของ IEEE802.15 ว่าด้วยการกำหนดระดับของกำลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลไว้ไม่เกิน -41.3 dB และความถี่ที่ใช้งานอยู่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz



รูปที่ 1.1 มาตรฐาน 802.15 ของ WPAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การรับ-ส่งสัญญาณคลื่นระดับสายตาในย่านแถบความถี่กว้างยิ่ง
- 1.3.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การรับ-ส่งสัญญาณคลื่นไม่ใช่ระดับสายตาในย่านแถบความถี่กว้างยิ่ง
- 1.3.3 เพื่อหาค่าการสูญเสียด้านกำลังข้อภาครับ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ทำการวัดค่าของสัญญาณทางด้านรับ
- 1.4.2 วิเคราะห์สัญญาณ
- 1.4.3 เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์กับการวัด

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

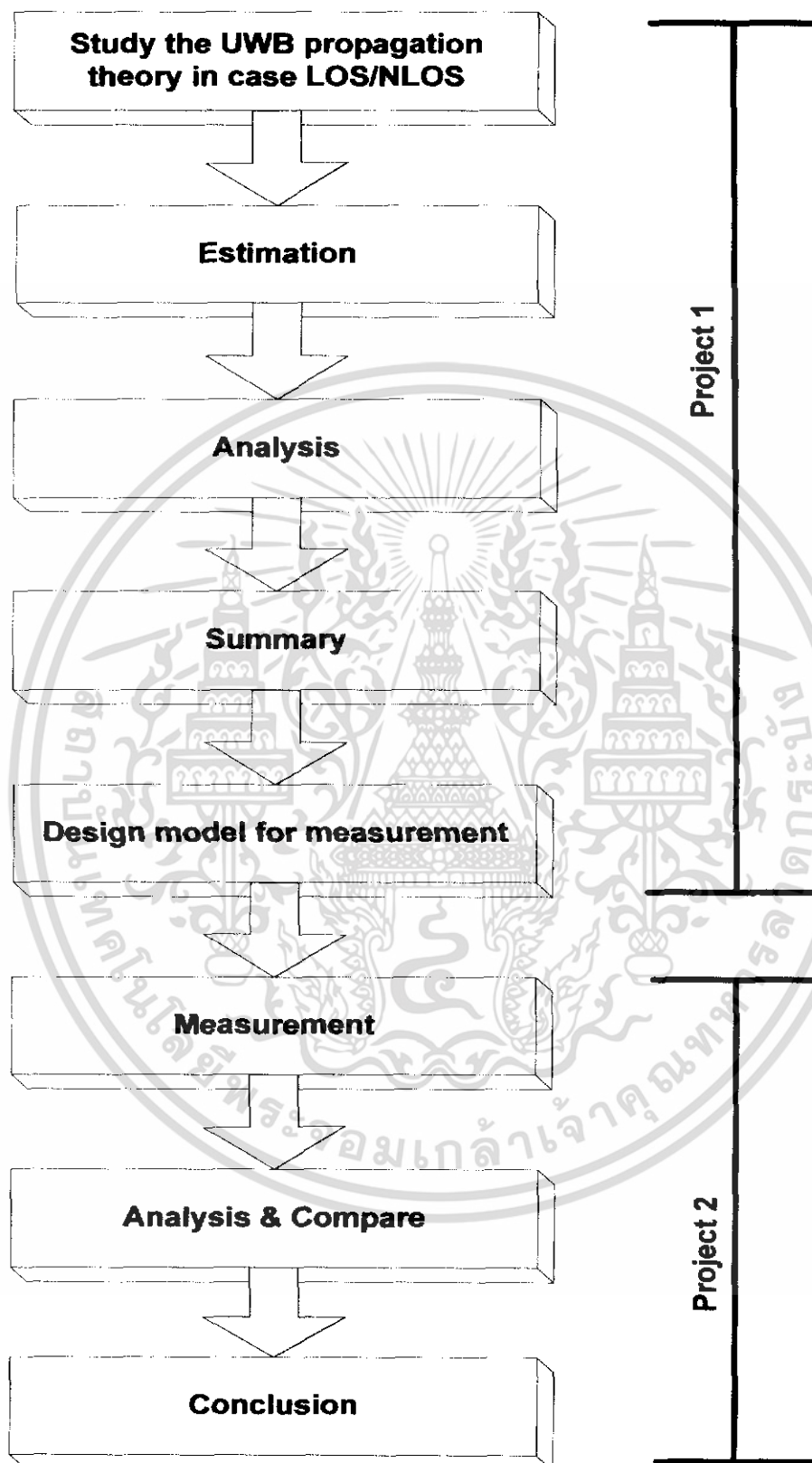
สามารถนำค่าที่ได้จากการประมาณนี้ไปประยุกต์ใช้ได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาวางแผนและการทำงานตามขั้นตอนการดังนี้

- 1.6.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายคลื่นในย่าน อัลตราไวด์แบนด์
- 1.6.2 ทำการประมาณค่าตามทฤษฎี
- 1.6.3 วิเคราะห์ผลจากการประมาณค่า
- 1.6.4 สรุปการประมาณค่า
- 1.6.5 ออกแบบแบบจำลอง
- 1.6.6 วัดค่าการแพร่กระจายคลื่นในย่าน อัลตราไวด์แบนด์
- 1.6.7 วิเคราะห์ผลจากวัดค่าและเปรียบเทียบกับผลจากการประมาณค่า
- 1.6.8 สรุปการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



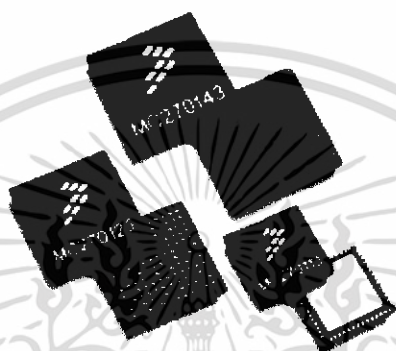
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์

2.1 เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิปที่ใช้กับระบบ UWB

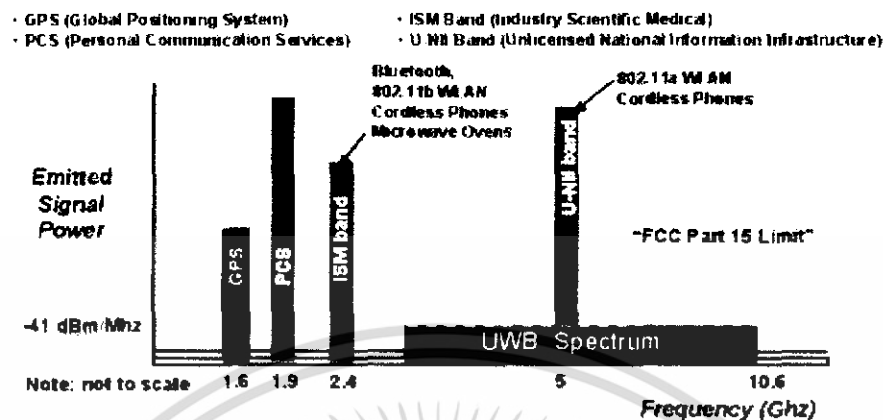
เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband: UWB) มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาริตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 จากนั้นเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960 – 1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการกิจการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและกำจัดการส่งสัญญาณของระบบอัลตราไวด์แบนด์ โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิตซ์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสารแบบอัลตราไวด์แบนด์ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการใช้สื่อสารแบบอัลตราไวด์แบนด์นั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของ

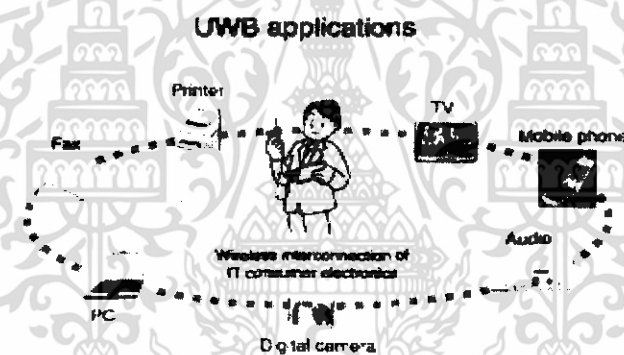
ระบบอุตราไวต์แบนด์นั้นมีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการ คือ การส่งสัญญาณอุตราไวต์แบนด์นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณอุตราไวต์แบนด์จะใช้แบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลางหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบอุตราไวต์แบนด์ไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบอุตราไวต์แบนด์ใช้แถบความถี่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบอุตราไวต์แบนด์ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งจากการที่ระบบการสื่อสารแบบอุตราไวต์แบนด์มีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบอุตราไวต์แบนด์ได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่าง ๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสารแบบอุตราไวต์แบนด์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ที่มีต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์ (radio frequency; RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (spectral density) ที่กว้างมาก ซึ่งโดยจะแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้คิวตี้ไซเคิล (duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของระบบต่างๆ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกับระบบ UWB

2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (impulse) พัลส์แคบ (short - pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซอว์ (non - sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (carrier less) แถบกว้างยิ่ง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเฟรมถี่อย่างรวดเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แคบโมโน (mono - pulse) [Taylor, 1995] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่น ๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณน้อยมาก ๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่หรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ที่ต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise) เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนระบบรบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิธของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมากเมื่อระบบมีแบนด์วิธที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking) ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่

หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B_f) ของสัญญาณ โดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.0 (Taylor, 1995)

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} = \frac{f_H - f_L}{f_C} \quad (2.0)$$

โดยที่ f_L คือความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.0 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (เมกะเฮิรต์)	ภายใน	ภายนอก
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

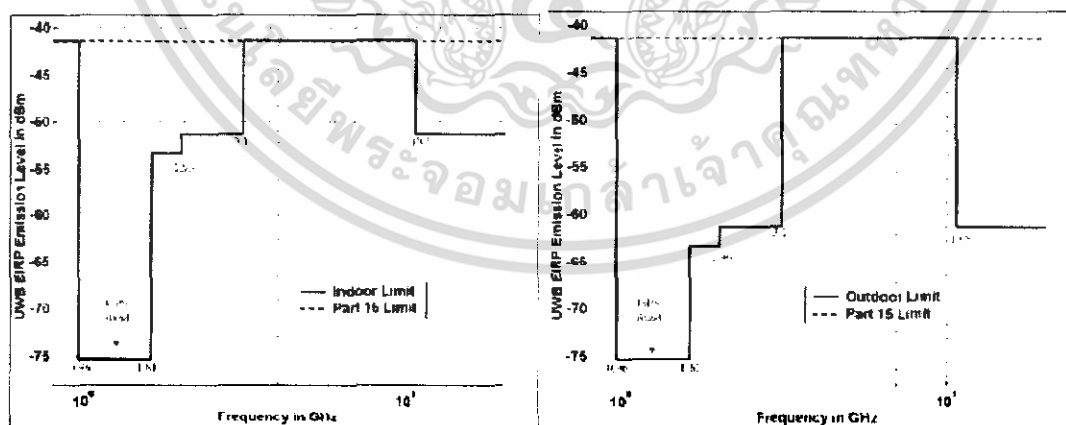
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

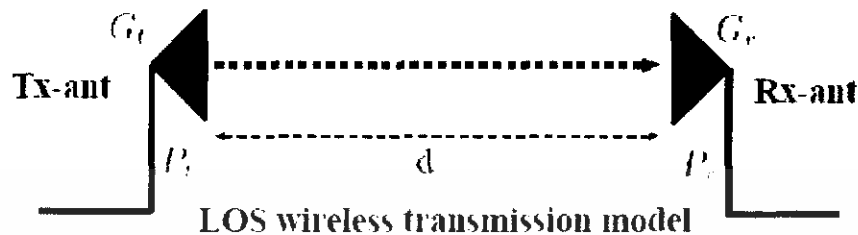
	Frequency range [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f / 10.6)$
Outdoor mask	$-61.3 + 87 \log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f / 10.6)$

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่ง

2.4 สมการถ่ายโอนของฟรีส (Friis's Transmission Formula)



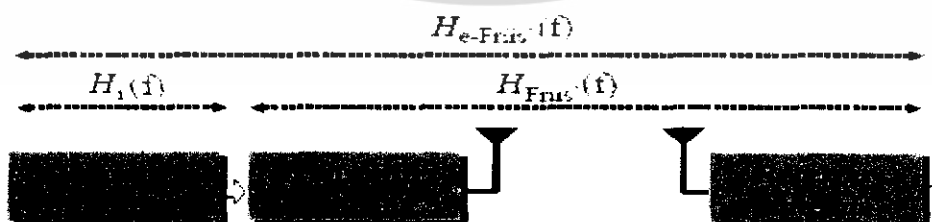
รูปที่ 2.5 การส่งผ่านข้อมูลไร้สายแบบ LOS

สมการการถ่ายโอนของฟรีส ได้รับการยอมรับและนิยมในวงการวิจัยเกี่ยวกับระบบการสื่อสารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสมการที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการวิเคราะห์โดยที่สมการทั่วไปสามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_{\text{Friis}}(f) = G_t(f) G_f(f) G_r(f) \quad (2.1)$$

เมื่อ	$G_{\text{Friis}}(f)$	แทนอัตราขยายของฟรีส
	$G_t(f)$	แทนอัตราขยายของด้านส่ง
	$G_f(f)$	แทนอัตราขยายของพื้นที่ว่าง
	$G_r(f)$	แทนอัตราขยายของด้านรับ

2.5 การประยุกต์ใช้สมการถ่ายโอนของฟรีส (Extension Friis's Transmission Formula)



รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้สมการของฟรีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสมการของฟรีสไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ เพราะว่าจากสมการที่ 2.1 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่ โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$H_{e-iris}(f, d) = H_t(f)H_r(f, d)H_f(f, d)H_i(f, d) \quad (2.2)$$

เมื่อ $H_{e-iris}(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของฟรีสที่ปรับแต่งแล้ว
 $H_t(f)$ แทนค่าการถ่ายโอนของด้านส่ง
 $H_r(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของด้านรับ
 $H_i(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของสัญญาณอินพุต
 $H_f(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของอวกาศว่าง
 จากการที่สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณทำให้ค่าของการถ่ายโอนของอวกาศว่าง ต้องมีการระบุรูปแบบเสียใหม่ดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp^{-jkd} \quad (2.3)$$

เมื่อ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และ $\lambda = \frac{c}{f}$
 λ ความยาวคลื่น
 c ค่าความเร็วแสงเท่ากับ 3×10^8 m/s

2.6 ช่องทางการแพร่กระจายสัญญาณ

ในระบบสื่อสารข้อมูล สื่อกลางในการรับส่ง ข้อมูลถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะว่าสื่อกลางที่มีความแตกต่างกันจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่ต่างกันออกไป ในการสื่อสารไร้สายมีการนำเอาอากาศมาเป็นสื่อกลางในการรับ-ส่ง ข้อมูลระหว่างภาครับและภาคส่งดังนั้นการศึกษาคูณสมบัติของสื่อจึงชี้ไปที่อากาศ จากการประมาณค่ามีการตั้งสมมติฐานว่า ในสื่อชนิดเดียวกันแต่มีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณอาจไม่เท่ากันเสมอไป และอาจเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารมีความแตกต่างกัน

2.7 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Propagation Mechanism)

การที่สัญญาณเดินทางผ่านช่องสัญญาณไปสู่ด้านรับนั้นบางครั้งช่องสัญญาณที่เดินทางไม่ได้เป็นอากาศอย่างเดียว สัญญาณยังเดินทางผ่านไปยังสิ่งกีดขวางทำให้รูปแบบของการเดินทางเปลี่ยนไปโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกเป็น

2.7.1 การเลี้ยวเบนของคลื่นสัญญาณ (Defection)

เป็นการที่สัญญาณเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางแล้วไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ในทิศทางเดิม จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนทิศทางโดยการอ้อมสิ่งกีดขวางนั้นไป

2.7.2 การแตกกระเจิงของสัญญาณ (Scattering)

เป็นการที่สัญญาณเดินทางไปชนกับผิวของวัตถุแล้วมีการแตกกระจายออกของสัญญาณออกไปในหลายๆทิศทาง

2.7.3 การสะท้อนของคลื่นสัญญาณ (Reflection)

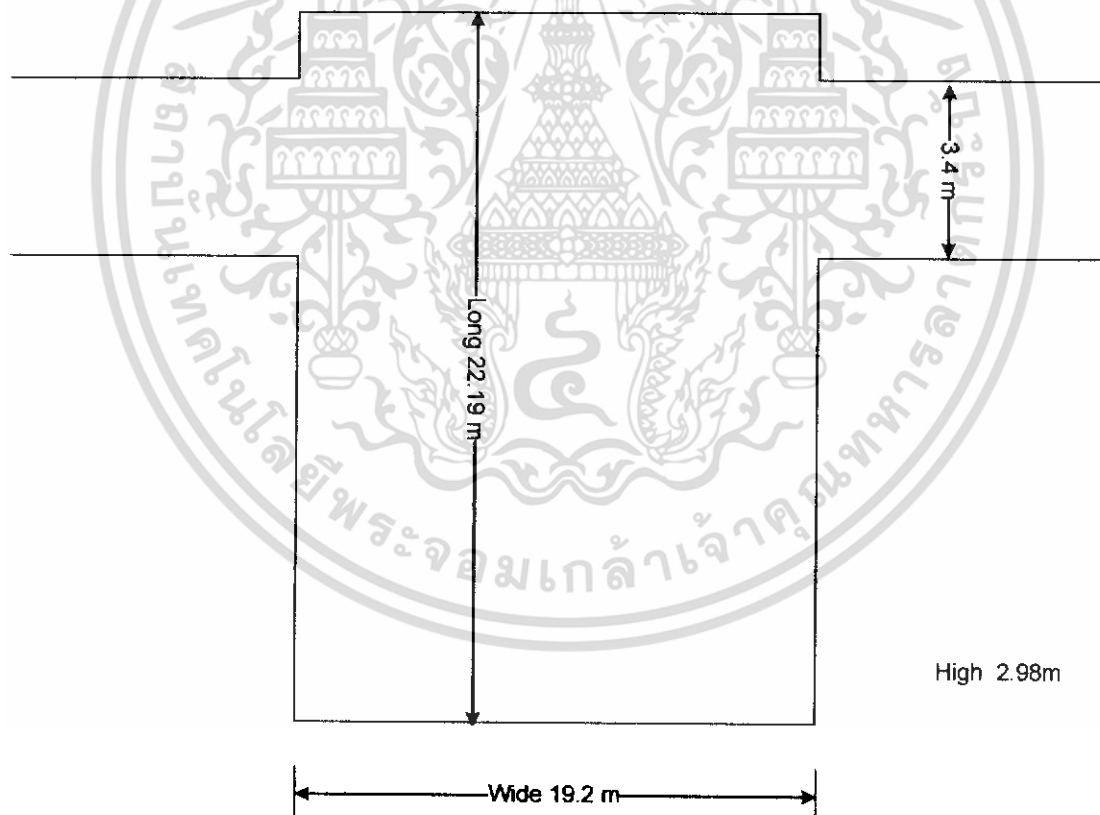
เป็นการที่คลื่นสัญญาณชนกับผิวของวัตถุแล้วมุมที่สะท้อนมีค่าเท่ากับมุมที่ตกกระทบ

บทที่ 3

การประเมินและการจำลอง

3.1 แบบจำลองสำหรับการวัดสัญญาณ

ในการออกแบบ แบบจำลองในการวัดค่าสัญญาณคลื่นในย่านอัลตราไวแบนด์ทั้งสองแบบ คือ แบบที่ 1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (Line of sight) และ แบบที่ 2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (Non-Line of sight) นั้น ได้ใช้บริเวณทางเดินของอาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นแบบจำลอง ซึ่งมีมีความกว้างเท่ากับ 19.2 เมตร ยาวเท่ากับ 22.19 เมตร ความสูงจากพื้นถึงเพดานเท่ากับ 2.98 เมตรและความกว้างของทางเดินหน้าห้องเท่ากับ 3.4 เมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดของแบบจำลองที่ใช้ในการวัดสัญญาณ

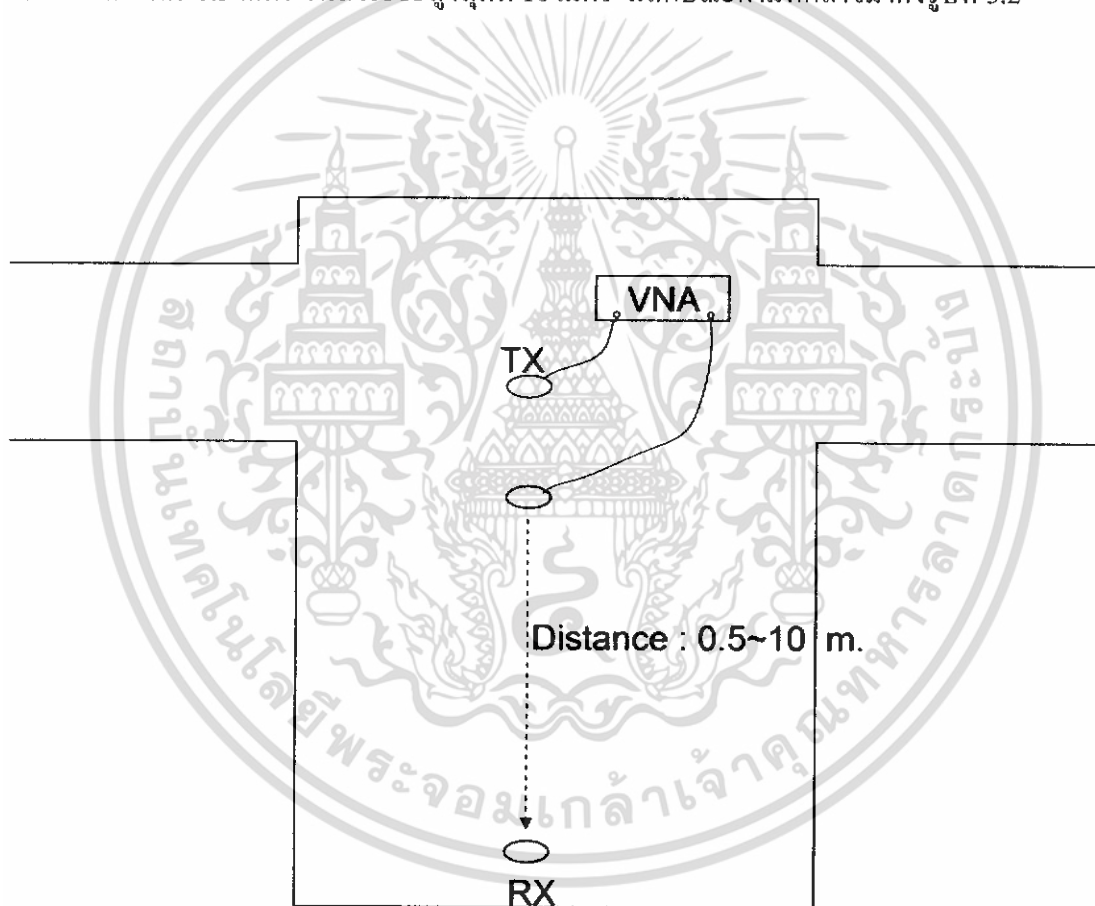
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีแบบจำลองการวัดสัญญาณดังนี้

- แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (Line of sight)
- แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (Non-Line of sight)

3.1.1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (Line of sight)

ในการวัดสัญญาณระดับสายตาทางด้านตัวส่ง (TX) จะตั้ง ณ. ตำแหน่งคงรูปและจะไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะทำการเลื่อนด้านตัวรับ (RX) โดยเริ่มตั้งแต่ระยะห่างเท่ากับ 0.5 เมตร และเพิ่มระยะห่างครั้งละ 0.5 เมตร จนถึงระยะสูงสุดที่ 10 เมตร มีลักษณะตามที่กล่าวมาดังรูปที่ 3.2

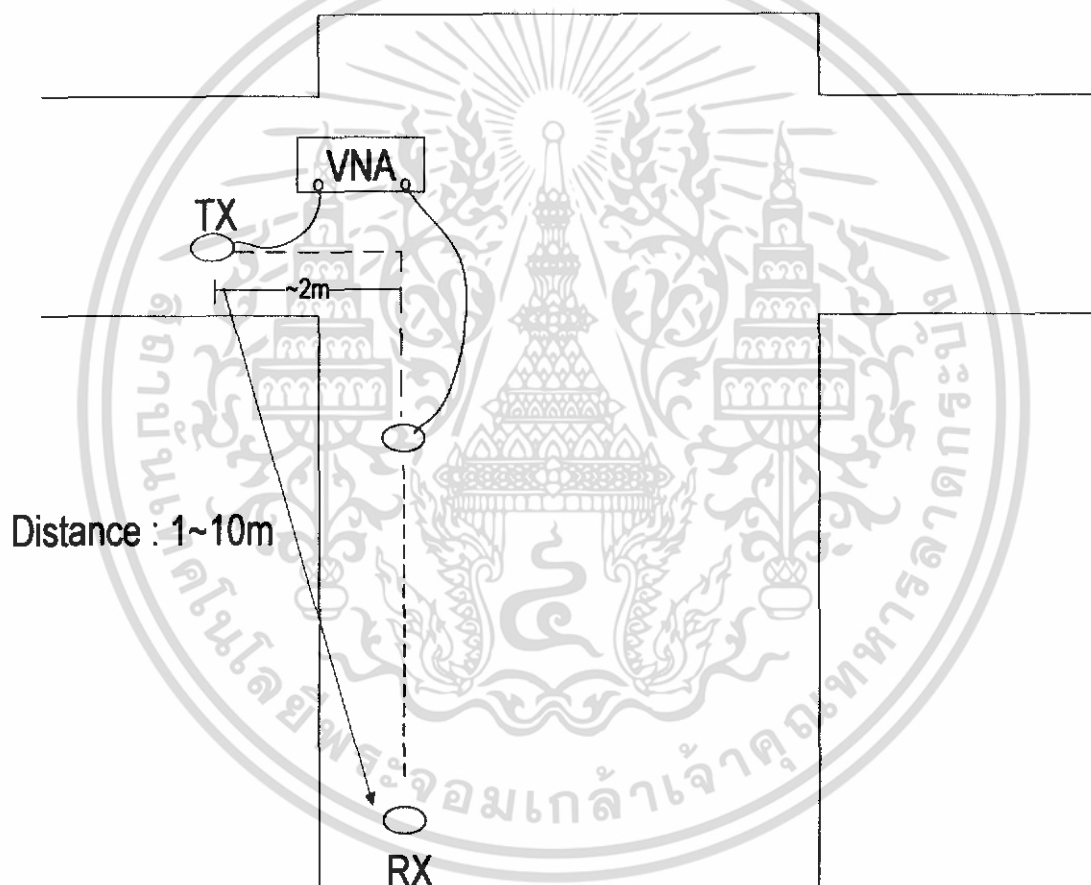


รูปที่ 3.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (Line of sight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (Non-Line of sight)

ในการวัดสัญญาณระดับสายทางด้านตัวส่ง (TX) จะตั้ง ณ ตำแหน่งคงรูปและจะไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะทำการเลื่อนด้านตัวรับ (RX) ซึ่งในแบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตานี้จะมีการเริ่มวัดจุดแรกประมาณระยะที่เริ่มมีการบัง และเพิ่มระยะห่างครั้งละ 0.5 เมตร จนถึงระยะสูงสุดที่ 10 เมตร มีลักษณะตามที่กล่าวมาดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (Non Line of sight)

3.2 การวัดสัญญาณคลื่น

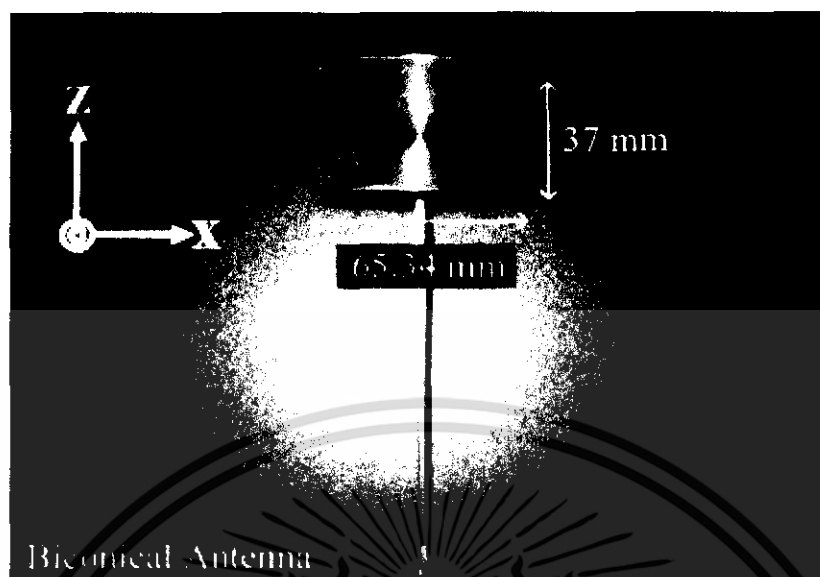
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่อง Vector Network Analyzer : รุ่น HP 8720C 50 MHz – 20 GHz
 2. ชุดคาร์ิเบรท 85022 B. 3.5 mm
 3. สายอากาศ ชนิด Biconical
 4. ขาตั้งสายอากาศ (สูงประมาณ 1.60 ม.)
 5. คอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบและวิเคราะห์
 6. เครื่องคิดเลข
 7. เครื่องเขียน
 8. เครื่องพิมพ์
- อื่นๆ



รูปที่ 3.4 เครื่อง Vector Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 สายอากาศ Biconical

3.2.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการประมาณค่า

การประมาณค่าในรูปแบบทั้งที่เป็นระดับสายตาและที่ระดับสายตาไม่สามารถมองเห็นได้นั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ในการคำนวณเสียก่อน โดยที่ค่าต่างเหล่านั้นต้องสอดคล้องกันกับข้อกำหนดในการใช้งานจริง ข้อกำหนดที่ถือเป็นมาตรฐานส่วนมากจะเป็นข้อกำหนดที่มาจากทวีปยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น เพราะเหล่านี้เป็นกลุ่มประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีองค์กรที่นิยมในการอ้างอิงได้แก่ IEEE และ FCC ซึ่งในโครงการนี้ได้อ้างมาตรฐานของทั้งสององค์กร โดยที่ย่านความถี่ที่ใช้งานเท่ากับ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz กำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านเท่ากับ -4.13 dB กำหนดให้เกณฑ์ของสัญญาณที่ด้านส่งเท่ากับ 10 เท่า และเกณฑ์ที่ด้านรับเท่ากับ 10 เท่า ของสัญญาณที่รับมาได้

3.2.3 วิธีการวัดสัญญาณ

ในการวัดสัญญาณเพื่อจะนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับเครื่องที่จะทำการวัดเสียก่อนเพื่อผลที่ได้จะได้ตรงตามความต้องการ ส่วนหนึ่งที่สำคัญต่อการวัดระดับของสัญญาณที่ต้องการคือการปรับเครื่องให้มีความพร้อมก่อนการใช้งาน ในที่นี้ใช้การปรับความพร้อมของเครื่องแบบ Tree Antennas Method ขั้นตอนในการปฏิบัติ จำเป็นต้องอาศัยความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะเกิดความผิดพลาดไม่ได้ มิฉะนั้นต้องทำการปรับแต่งเครื่องใหม่และอาจเกิดความเสียหายแก่เครื่องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tree Antennas Method ประกอบด้วยโหลดจำนวน 3 ตัวด้วยกันอันได้แก่ Open, Load และ Shot ทั้งสามตัวจะต้องใช้ในการปรับเครื่องเพื่อให้เครื่องอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้

3.2.4 ปัจจัยที่กำหนดในการวัดสัญญาณ

การวัดสัญญาณในระดับสายตา

Parameter	Value
Frequency rang	3 to 11 GHz
Number of frequency point	801
Dynamic power rang	80 dB
Distance between Tx and Rx	0.5 to 8 m.
Tx and Rx antenna height	1.6 m.
Rx step remove	0.5 m.
Antenna type	Biconical

การวัดสัญญาณที่ไม่ใช่ระดับสายตา

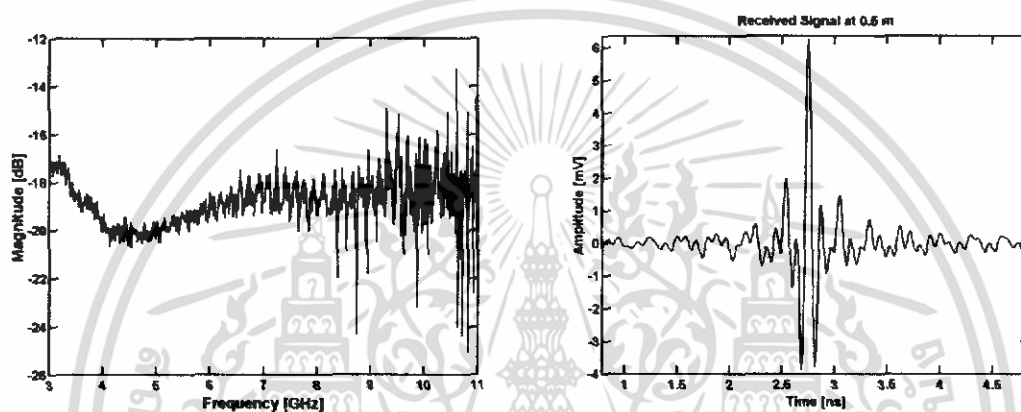
Parameter	Value
Frequency rang	3 to 11 GHz
Number of frequency point	801
Dynamic power rang	80 dB
Distance between Tx and Rx	2 to 7 m.
Tx and Rx antenna height	1.6 m.
Rx step remove	0.5 m.
Antenna type	Biconical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

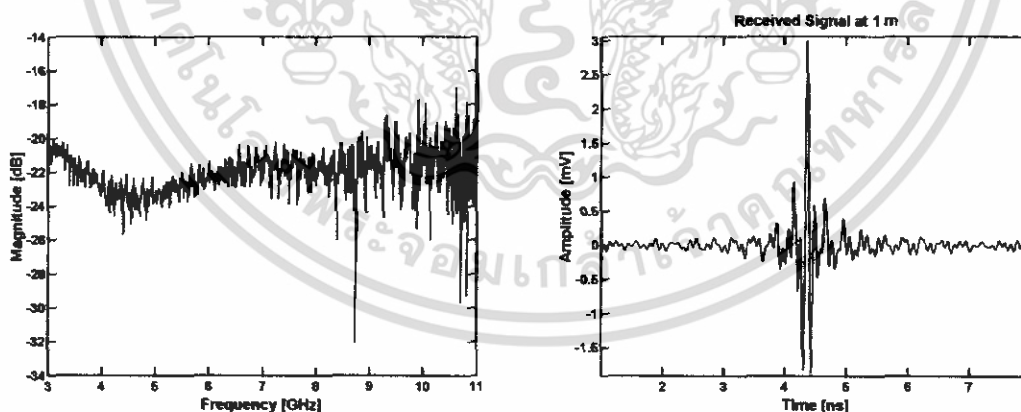
3.2.5 ผลจากการประมาณค่าที่ได้จากเครื่อง Vector Analyzer Network

ผลจาก Line of Sight

ผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ ซึ่งแสดงทั้งในโดเมนของความถี่และโดเมนของเวลาเนื่องจากการที่ระบบ Ultra-Wideband ส่งสัญญาณในโดเมนของความถี่ผ่านช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง ก่อนที่ด้านรับจะทำการตรวจจับและแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนของเวลา เพราะ Ultra-Wideband สนใจระดับของสัญญาณในโดเมนของเวลามากกว่าโดเมนของความถี่

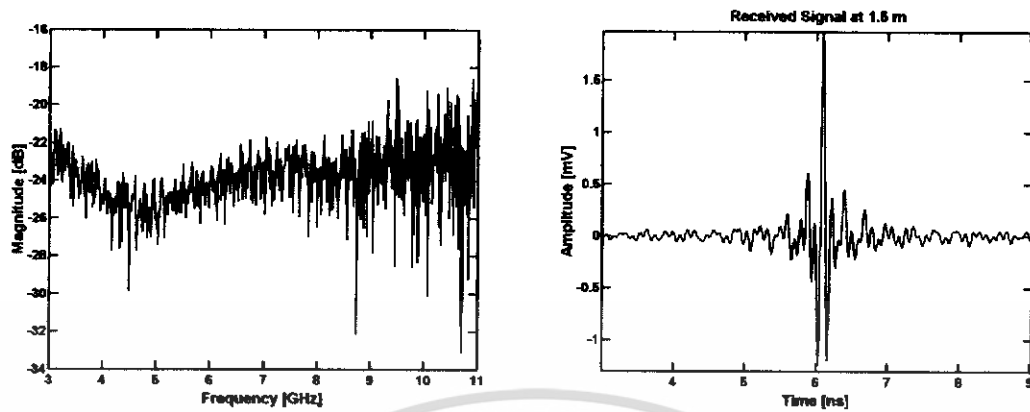


รูปที่ 3.6 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 0.5 เมตร ของ LOS

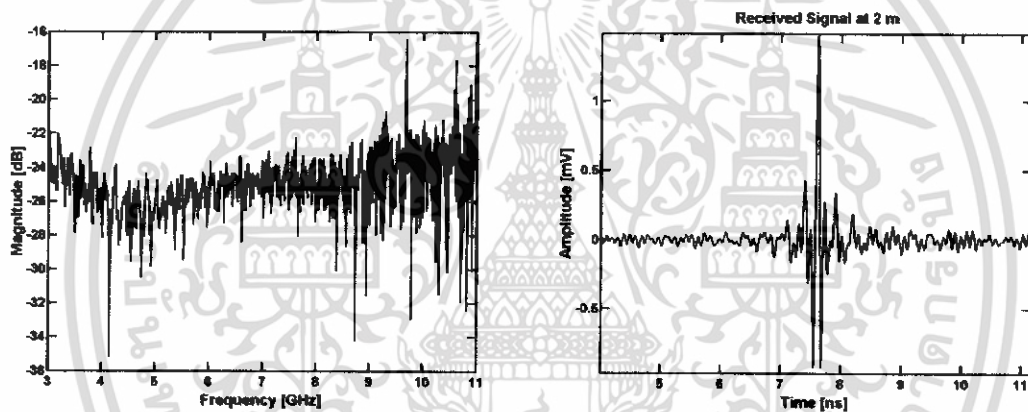


รูปที่ 3.7 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 1.0 เมตร ของ LOS

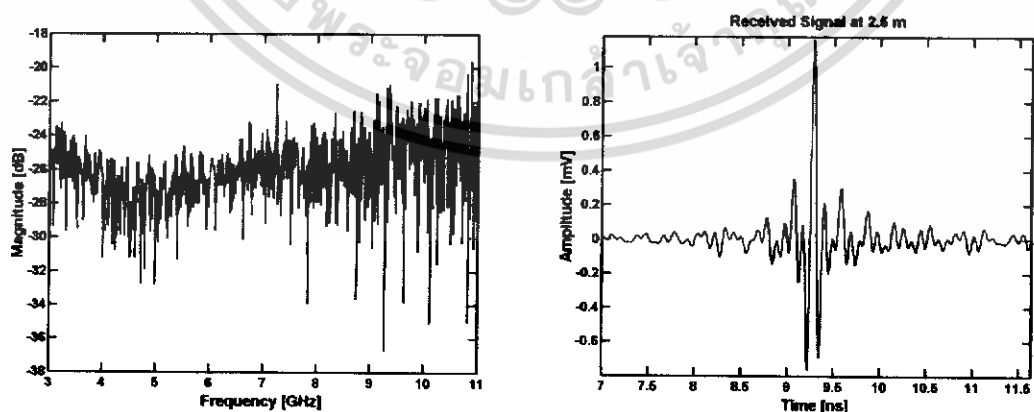
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 1.5 เมตร ของ LOS

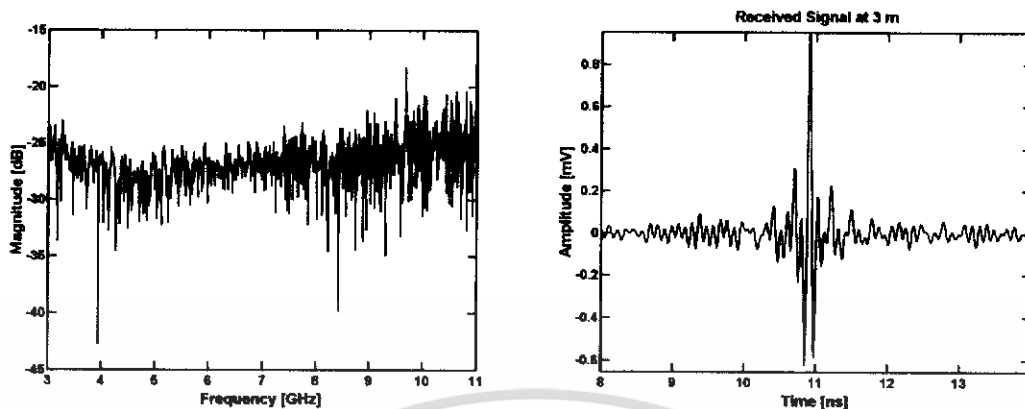


รูปที่ 3.9 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.0 เมตร ของ LOS

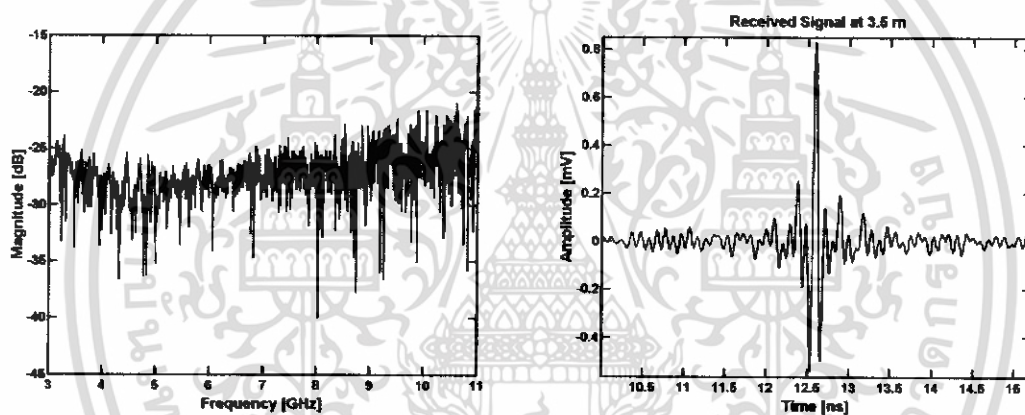


รูปที่ 3.10 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.5 เมตร ของ LOS

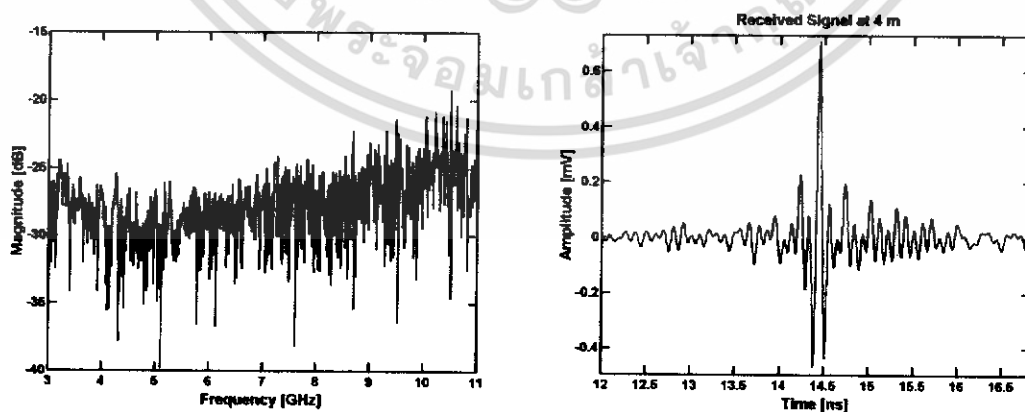
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.0 เมตร ของ LOS

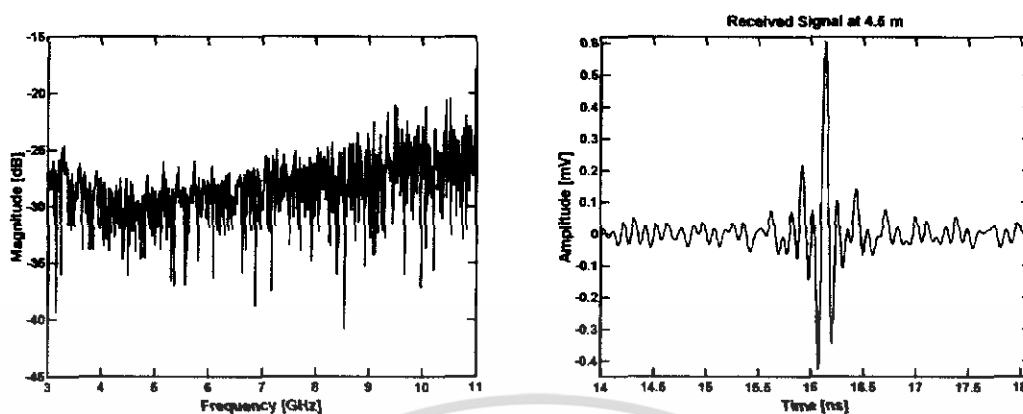


รูปที่ 3.12 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.5 เมตร ของ LOS

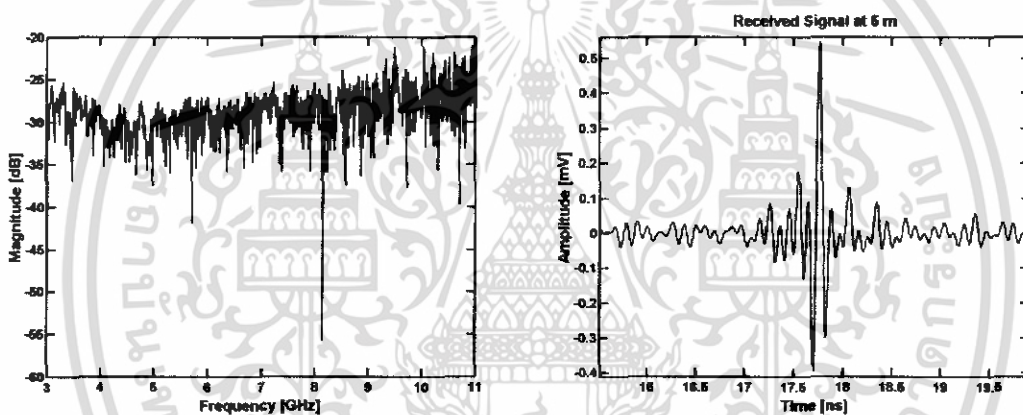


รูปที่ 3.13 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.0 เมตร ของ LOS

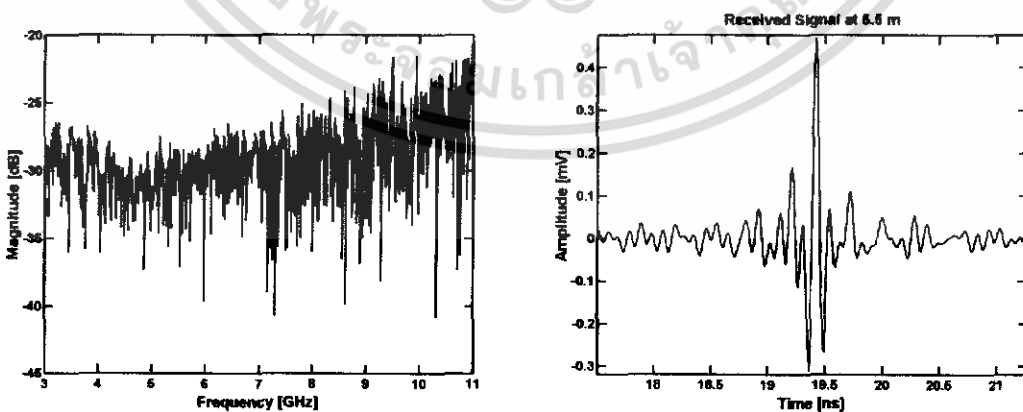
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.5 เมตร ของ LOS

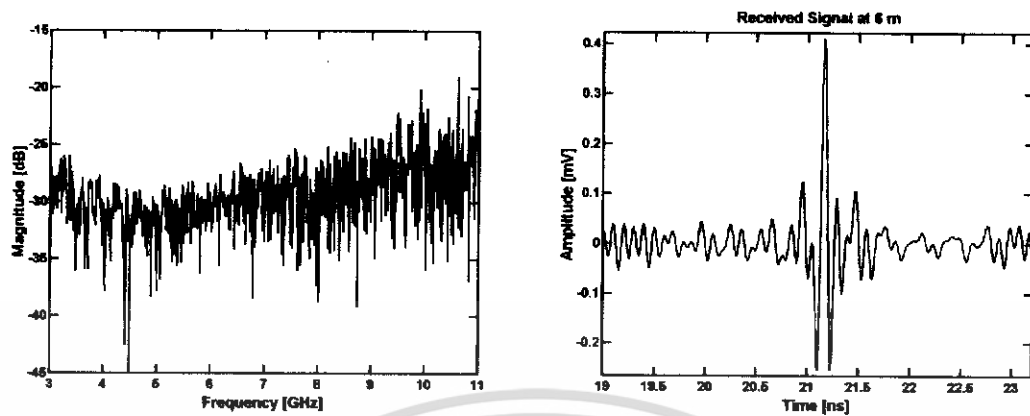


รูปที่ 3.15 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ LOS

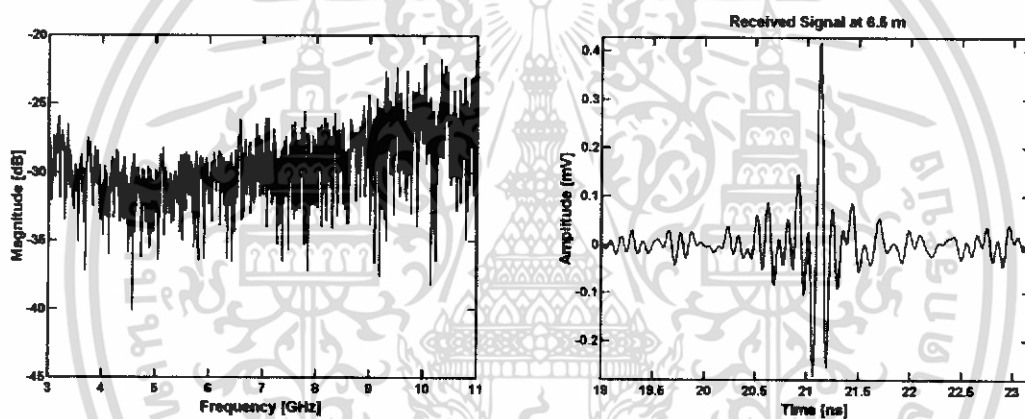


รูปที่ 3.16 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.5 เมตร ของ LOS

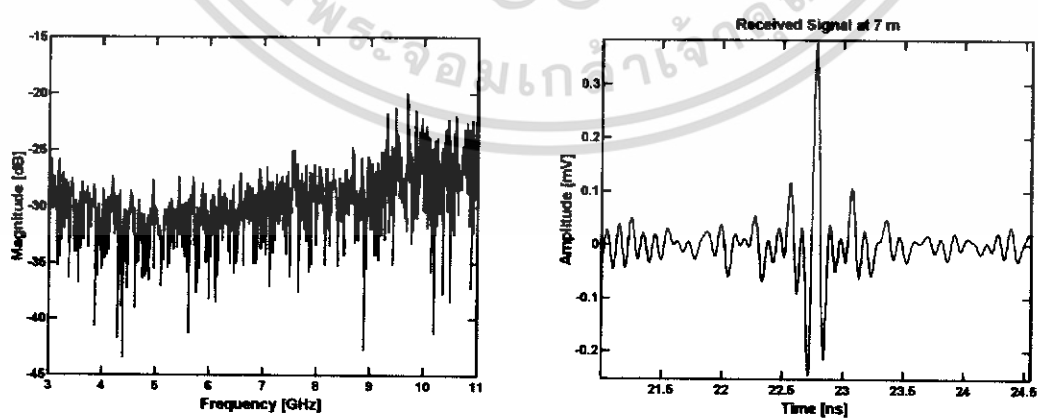
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.0 เมตร ของ LOS

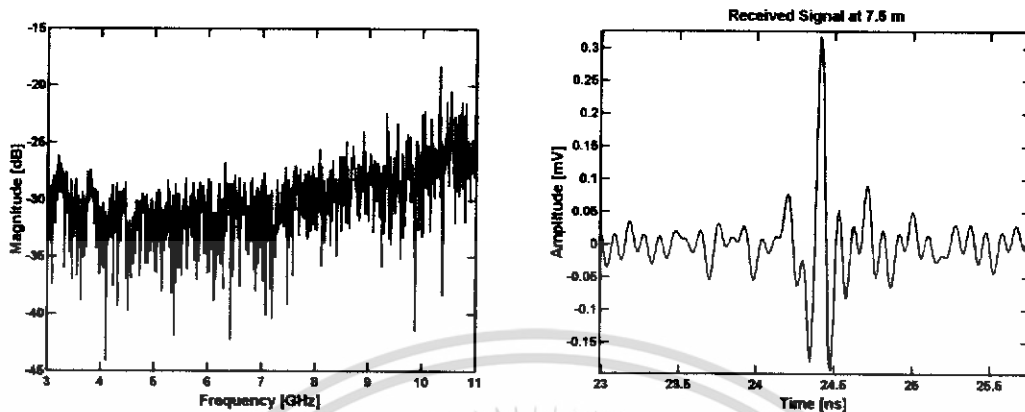


รูปที่ 3.18 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.5 เมตร ของ LOS

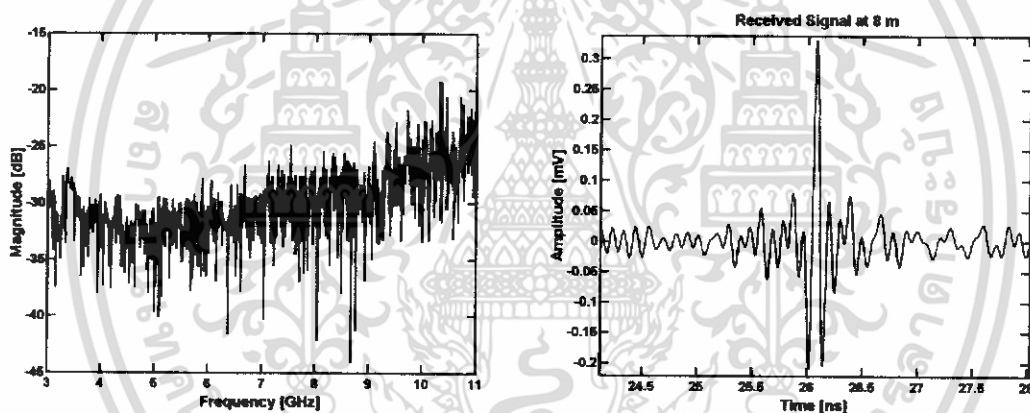


รูปที่ 3.19 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.0 เมตร ของ LOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.5 เมตร ของ LOS

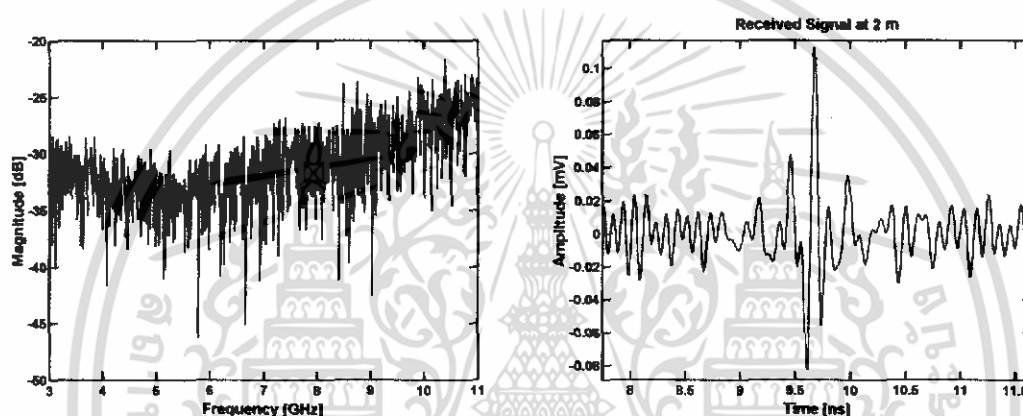


รูปที่ 3.21 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 8.0 เมตร ของ LOS

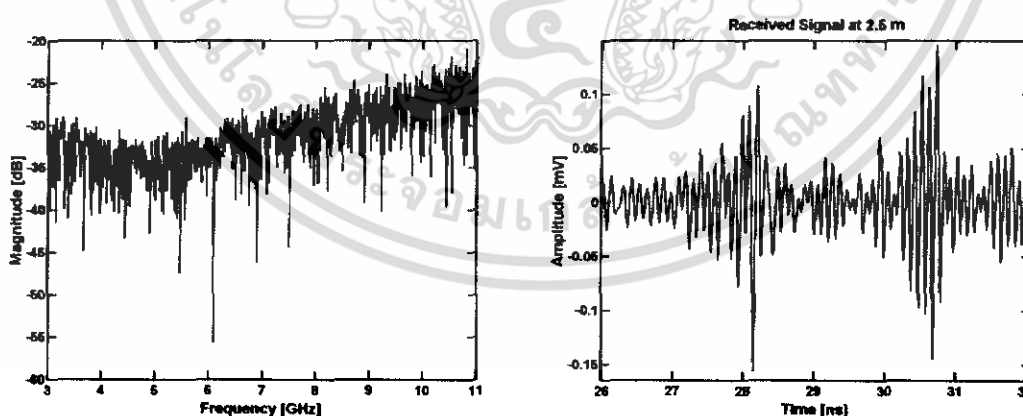
จากผลที่ได้จากการวัดหาสัญญาณที่ได้มาจากเครื่องวิเคราะห์เส้นและทิศทางแบบเครือข่าย (Vector Network Analyzer: VNA) เมื่อผ่านการแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนของเวลาแล้วทำให้ทราบได้ว่าที่ระยะทางต่าง ๆ กัน สัญญาณจะใช้เวลาในการเดินทางผ่านช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้สามารถนำส่วนที่ได้นี้ไปสู่การวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นต่อการพิจารณาถึงการนำเอาเทคโนโลยี Ultra-Wideband เข้าไปใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล หรือ Wireless Personal Area Network (WPAN) ต่อไป

ผลที่ได้จาก Non-Line of Sight

ผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ ซึ่งแสดงทั้งในโดเมนของความถี่และโดเมนของเวลา เนื่องจากการที่ระบบ Ultra-Wideband ส่งสัญญาณในโดเมนของความถี่ผ่านช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง ก่อนที่ด้านรับจะทำการตรวจจับและแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนของเวลา เพราะ Ultra-Wideband สนใจระดับของสัญญาณในโดเมนของเวลามากกว่าโดเมนของความถี่ ทั้งนี้ผลที่ได้เริ่มจากระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร โดยมีการเพิ่มขึ้นของระยะทางเท่ากับ 0.5 เมตร ขึ้นไปเรื่อยๆ ไปจนถึงระยะทาง 8 เมตร ดังแสดงในรูปต่อไปนี้

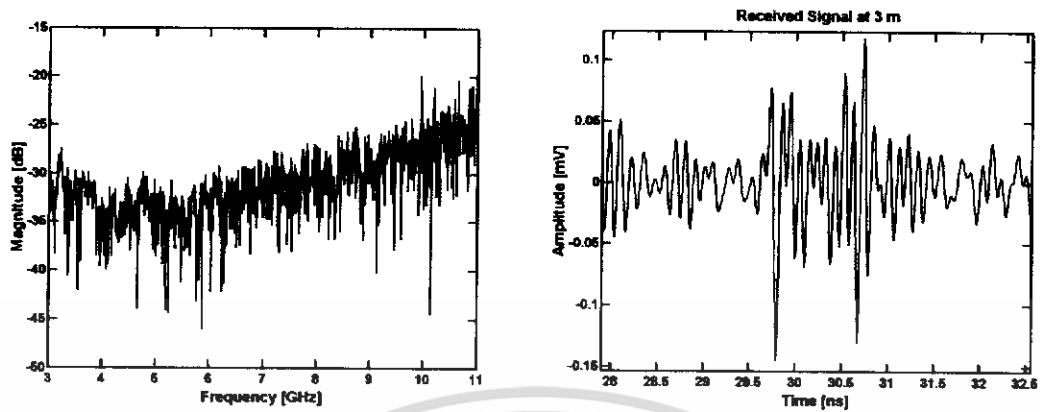


รูปที่ 3.22 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.0 เมตร ของ NLOS

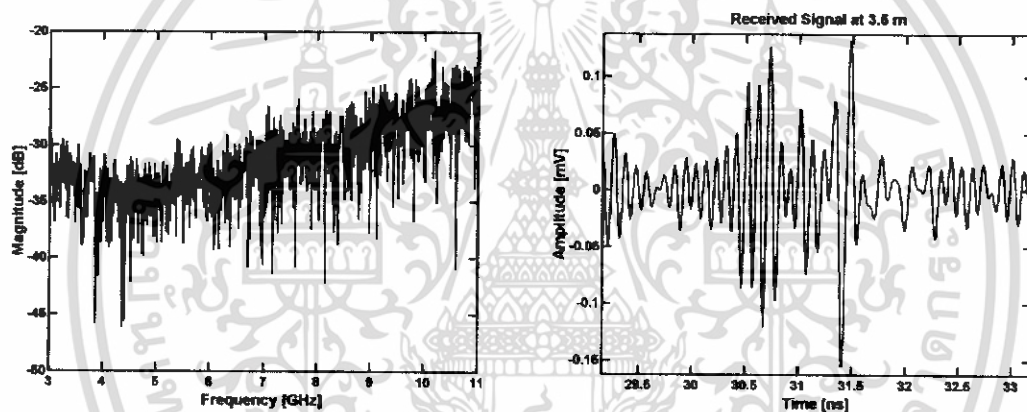


รูปที่ 3.23 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 2.5 เมตร ของ NLOS

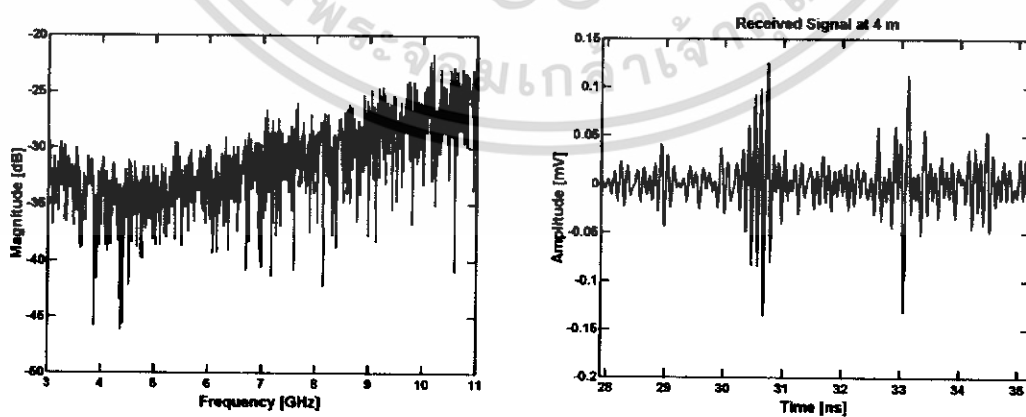
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.0 เมตร ของ NLOS

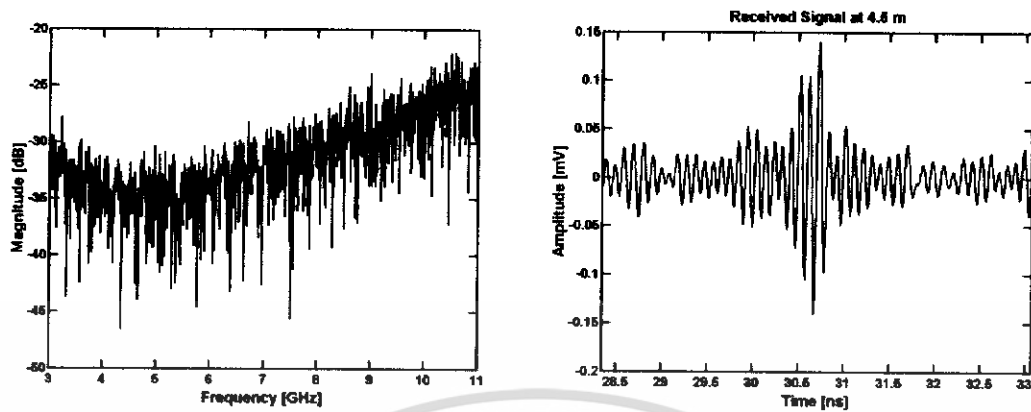


รูปที่ 3.25 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 3.5 เมตร ของ NLOS

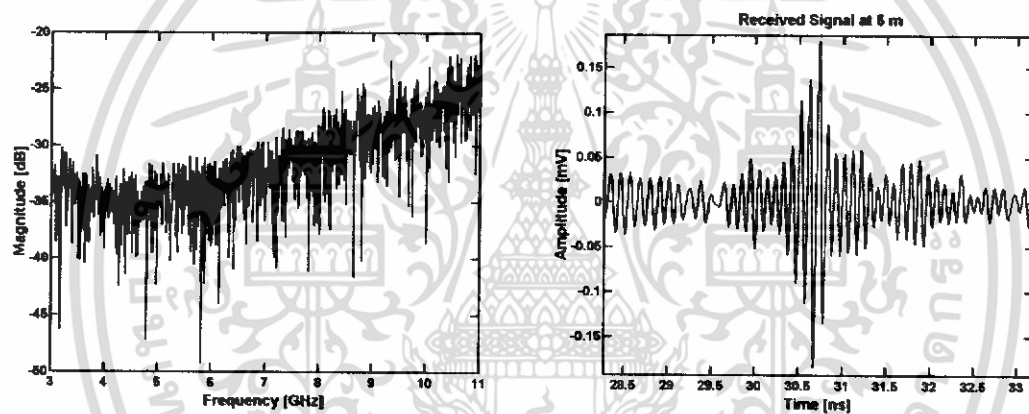


รูปที่ 3.26 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.0 เมตร ของ NLOS

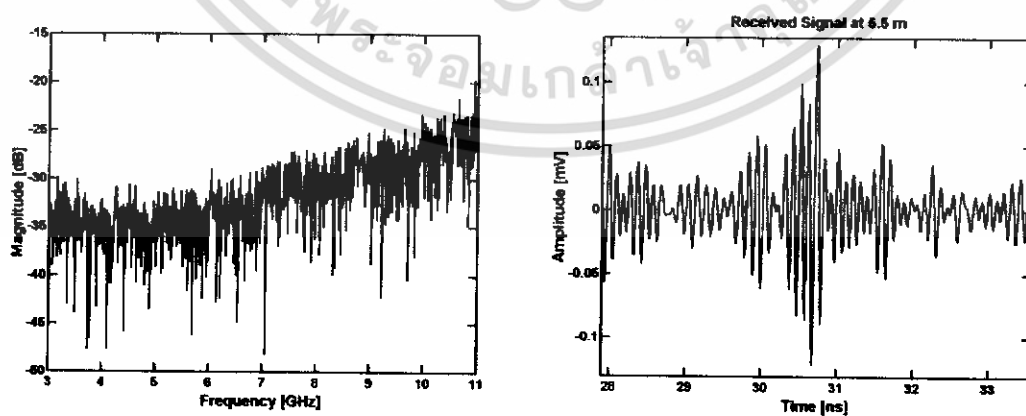
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 4.5 เมตร ของ NLOS

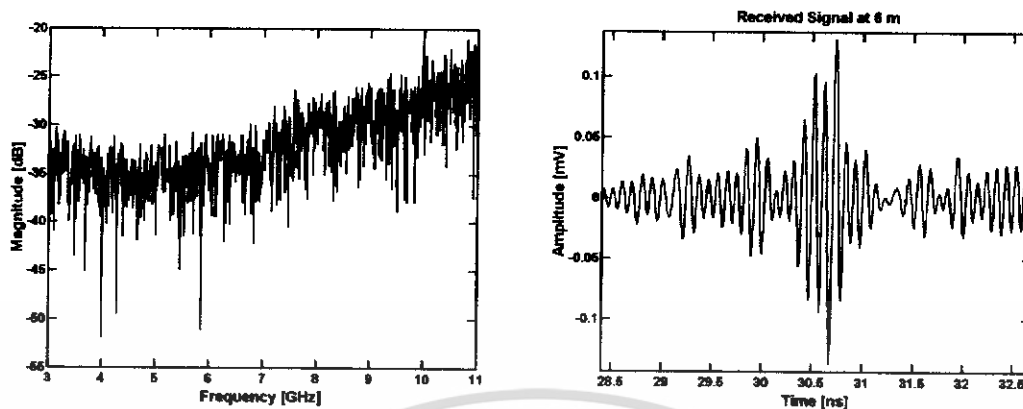


รูปที่ 3.28 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ NLOS

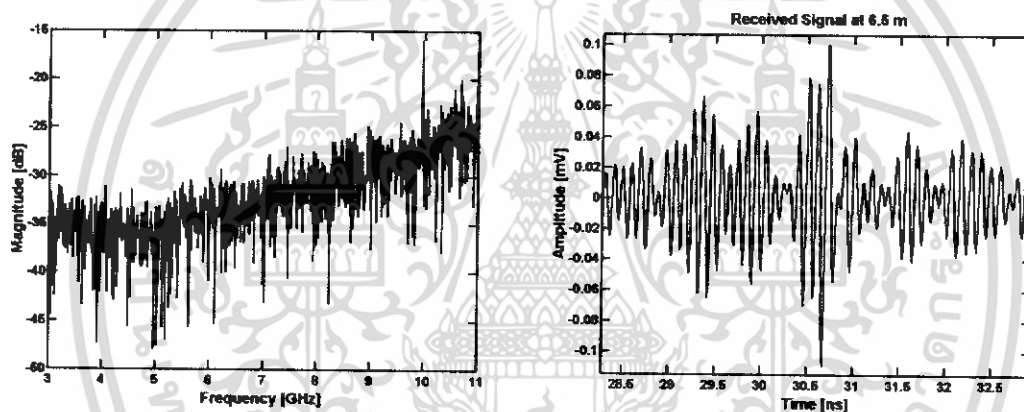


รูปที่ 3.29 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 5.0 เมตร ของ NLOS

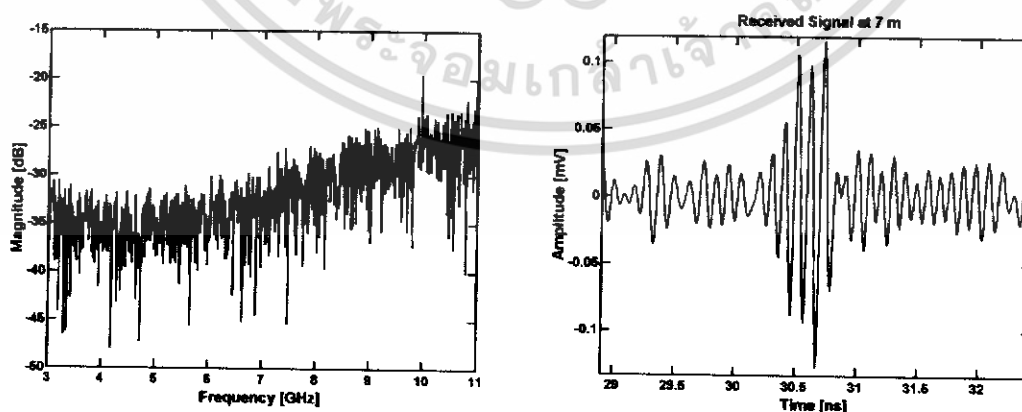
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.0 เมตร ของ NLOS



รูปที่ 3.31 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 6.5 เมตร ของ NLOS



รูปที่ 3.32 ผลที่ได้จาก VNA ที่ 7.0 เมตร ของ NLOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลจากการทดลอง

ในบทที่นี้เป็น การนำเสนอผลการทดลองและ วิจัยของแผนการประมาณค่ารูปแบบ สัญญาณในระดับสายตาและ ไม่ใช่ระดับสายตาของการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับ โครงข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคล ซึ่งจะแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 สัญญาณอินพุต (Input Signal)

4.2 การลอกเลียนแบบ (Simulation) ค่าจากสมการในทางทฤษฎี

4.2.1 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตา (LOS)

4.2.2 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณไม่ใช่ระดับสายตา (NLOS)

4.3 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณ

4.3.1 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณในแบบแผนระดับสายตา (LOS)

4.3.2 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณในแบบแผนไม่ใช่ระดับสายตา (NLOS)

โดยมีหัวข้อที่จะนำเสนอผลการทดลองและวิจัย ดังนี้

- อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)
- อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)
- รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)
- RMS Delay Spread

4.1 สัญญาณอินพุต (Input Signal)

จากการประยุกต์ใช้สมการการส่งสัญญาณของฟรีสส์ (Friis's Transmission Formula) ทำให้จำเป็นต้องมีสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางด้านส่ง เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของ สัญญาณที่รับได้จากทางด้านรับเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ระบบที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณข้อมูล

รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบนี้ใช้สัญญาณที่เรียกว่าสัญญาณคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular Pulse) ซึ่งเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_r(t) = \frac{1}{f_b} \left(f_{\max} \frac{\sin(2f_{\max}t)}{(2f_{\max}t)} - f_{\min} \frac{\sin(2f_{\min}t)}{(2f_{\min}t)} \right) \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้

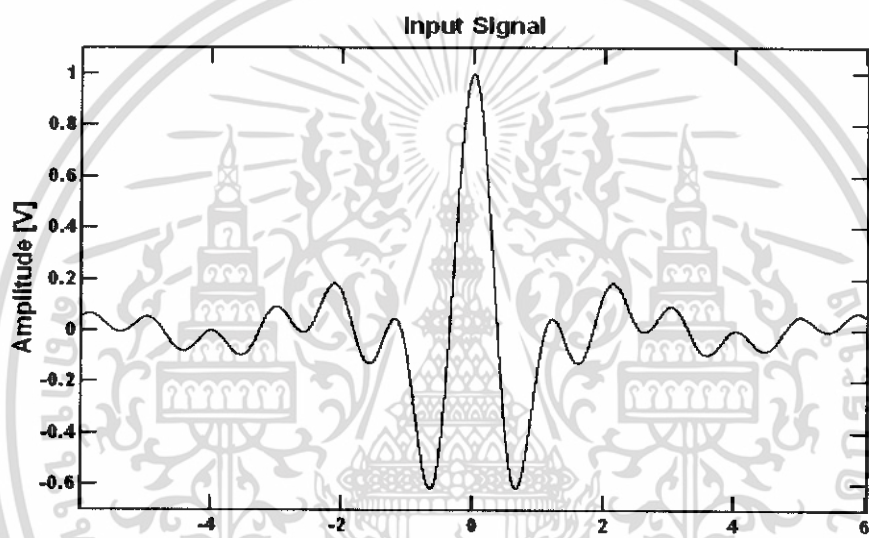
$V_i(t)$ แทนสัญญาณอินพุต

f_b แทนค่าของช่วงความถี่ที่ใช้ (7.5 GHz)

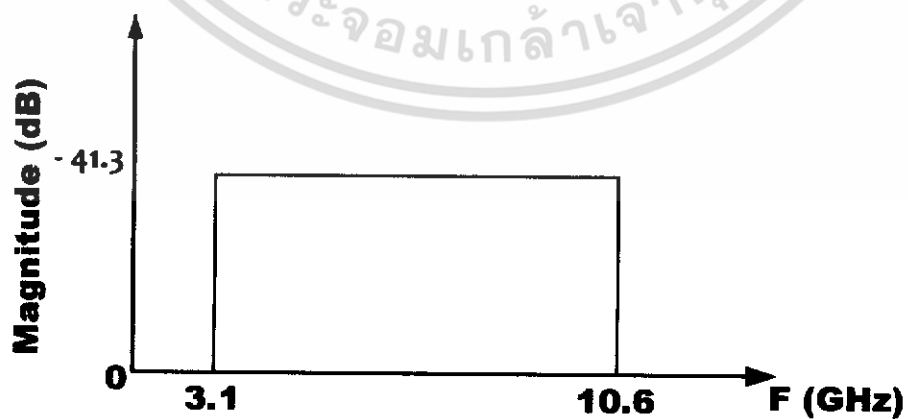
$f_{\max}$ แทนค่าความถี่สูงสุดที่ใช้ในระบบ (10.6 GHz)

$f_{\min}$ แทนค่าความถี่ต่ำสุดที่ใช้ในระบบ (3.1 GHz)

t แทนค่าของเวลา



รูปที่ 4.1 ก. รูปแบบสัญญาณอินพุต



รูปที่ 4.1 ข. รูปแบบแถบสัญญาณอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผลจากสัญญาณอินพุต

สัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบนี้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการวิจัย วิเคราะห์รูปแบบการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อมีการส่งผ่านช่องทางไปสู่ด้านรับ จุดเด่นของสัญญาณนี้ที่นำมาใช้ในการวิจัยได้แก่ การมีค่าของระดับสัญญาณเท่ากันทุกจุดเมื่ออยู่ในย่านความถี่ (Frequency Domain), การมีการกระจายตัวของแถบความถี่ที่ทั่วถึงตลอดช่วง (Maximum bandwidth) เป็นต้น

4.2 การประมาณค่าจากสมการในทางทฤษฎี

ในการประมาณค่าในทางทฤษฎีนั้น จะทำการประมาณค่าในเรื่องการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) อัตราการขยายของการส่งผ่าน (Transmission Gain) อัตราการขยายของสายอากาศ (Antenna Transmission Gain) รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

จากสูตรการส่งผ่านของฟรีสส์ (Friis's Transmission Formula) ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่กล่าวไว้ด้านบนได้เพียงส่วนเท่านั้น เพราะในบางส่วนนั้นจะได้ค่าจากการปฏิบัติจริงเท่านั้น

4.2.1 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณในระดับสายตา (Line of Sight)

4.2.1.1 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

เนื่องจากสมการของฟรีสส์ไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างด้านส่งกับด้านรับได้ทำให้ไม่สามารถพิจารณาการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ เพราะจากสมการที่ 2.1 นั้นไม่มีสัญญาณด้านอินพุตมาเกี่ยวข้องจึงต้องมีการปรับแต่งประยุกต์ให้เหมาะสมกับความต้องการเสียใหม่ โดยสมการที่ปรับแต่งแล้วมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$H_{e-Friis}(f, d) = H_t(f)H_r(f, d)H_f(f, d)H_i(f, d) \quad (2.2)$$

เมื่อ $H_{e-Friis}(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของฟรีสที่ปรับแต่งแล้ว

$H_t(f)$ แทนค่าการถ่ายโอนของด้านส่ง

$H_r(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของด้านรับ

$H_i(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของสัญญาณอินพุต

$H_f(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของอวกาศว่าง

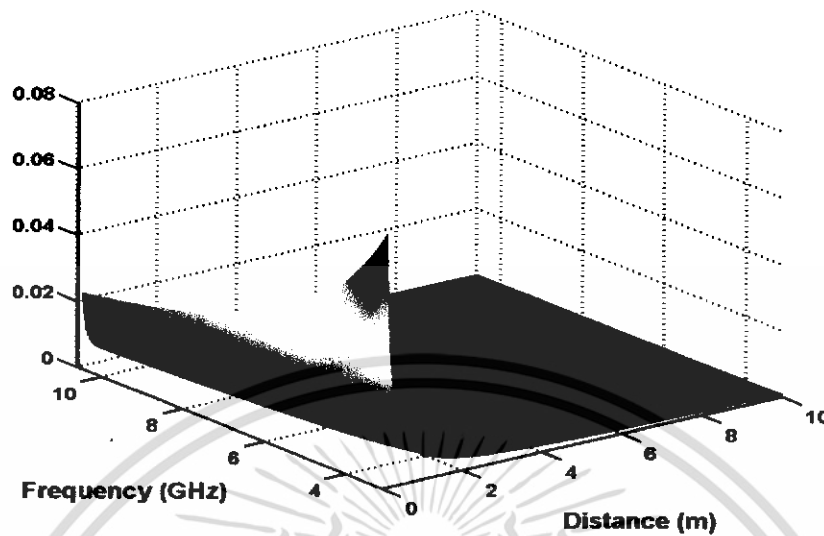
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณทำให้ค่าของการถ่ายโอนของอวกาศว่าง(อากาศที่ว่างๆที่อยู่ตรงหน้าก็ถือว่าเป็นอวกาศว่าง ไม่ได้หมายความว่าอากาศที่อยู่นอกโลกเท่านั้น และในที่นี้หมายถึงช่องสัญญาณที่เป็นอากาศ) ต้องมีการระบุรูปแบบเสียใหม่ดังนี้

เนื่องจากการแพร่กระจายสัญญาณของสายอากาศมีทิศทาง ทำให้การวิเคราะห์สัญญาณจำเป็นต้องคำนึงถึงทิศทางด้วยเพราะถึงแม้จะเป็นสายอากาศที่แพร่กระจายสัญญาณแบบทุกทิศทางก็ถือว่าสายอากาศนั้นมีทิศทางในการแพร่กระจายสัญญาณอยู่ดี ดังนั้น จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในแบบที่มีทิศทางของช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง (Free Space) โดยอ้างจากสมการดังนี้

$$H_f(f, d) = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp^{-jkd} \quad (2.3)$$

เมื่อ $H_f(f, d)$ ค่าการถ่ายโอนของอัตราขยายเชิงวิถีของอวกาศ
 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และ $\lambda = \frac{c}{f}$
 λ ความยาวคลื่น
 c ค่าความเร็วแสงเท่ากับ 3×10^8 m/s
 d ระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งกับสายอากาศตัวรับ



รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันถ่ายโอนของอัตราการขยายเชิงวิถี (Transfer function of free space)

จากรูปที่ 4.3 แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนของอัตราการขยายเชิงวิถี (Transfer function of free space) จะเห็นได้ว่า เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้น Power จะต่ำลงเรื่อยๆ และเช่นเดียวกันเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น Power จะต่ำลงเรื่อยๆ

4.2.1.2 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

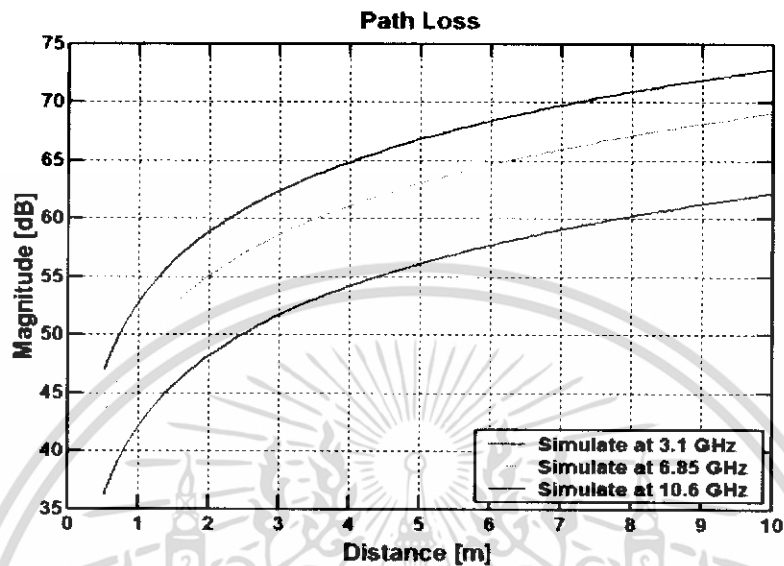
การสูญเสียเชิงวิถี เป็นอัตราส่วนระหว่างการสูญเสียของกำลังงานทางด้านส่ง เทียบกับงานทางด้านรับ เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบที่ใช้งานอยู่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับสัญญาณอย่างไรบ้าง การคำนวณหาการสูญเสียเชิงวิถีสามารถหาได้จากสมการที่อ้างอิงจากสมการฟรีส โดยสมมติให้ ค่าการถ่ายโอนของฟรีส ($H_{e-friis}(f, d)$) เท่ากับค่าการถ่ายโอนของอวกาศว่าง ($H_f(f, d)$) และค่าการถ่ายโอนของด้านส่ง ($H_t(f)$), ค่าการถ่ายโอนของด้านรับ ($H_r(f, d)$), ค่าการถ่ายโอนของสัญญาณอินพุต ($H_i(f, d)$) มีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งจะได้สมการการสูญเสียเชิงวิถี ดังต่อไปนี้

$$PL = -20 \log(\max |H_f(f, d)|) \quad (4.2)$$

เมื่อ PL แทนค่าการสูญเสียเชิงวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_f(f,d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของอัตราขยายเชิงวิถีของอวกาศ



รูปที่ 4.3 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี

ผลจากการสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียของสัญญาณในเชิงวิถีหรือเชิงทิศทางนั้นหากพิจารณาจากรูปที่ 4.2 แล้ว ทำให้ทราบว่า การสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางและตามความถี่ที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการที่จะนำเอาระบบนี้ไปใช้งานนั้นไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับการใช้งานในระยะทางที่ไกลๆ หากมีความจำเป็นจริงๆ ต้องมีการติดตั้งตัวทวนสัญญาณเพื่อทำการขยายระดับของสัญญาณให้แรงขึ้นจนด้านรับสามารถที่จะตรวจจับสัญญาณที่ด้านส่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

4.2.1.3 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain)

จากสูตรการหาค่าการส่งผ่านของฟรีส (Friis's Transmission Formula) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาอัตราขยายการส่งผ่าน โดยใช้สมการที่ 2.1 ที่กล่าวไว้

$$G_{\text{Friis}}(f) = G_t(f) G_f(f, d) G_r(f) \quad (2.1)$$

เมื่อ $G_{\text{Friis}}(f)$ แทนอัตราการขยายของฟรีส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

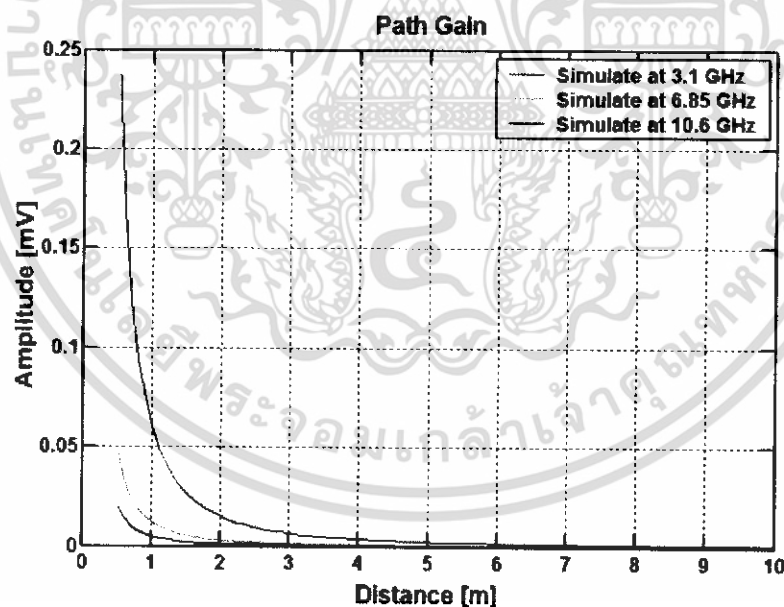
$G_t(f)$ แทนอัตราขยายของด้านส่ง
 $G_f(f, d)$ แทนอัตราขยายของพื้นที่ว่าง
 $G_r(f)$ แทนอัตราขยายของด้านรับ

สมมติให้ $G_t(f) = G_r(f) = 1$ จะทำให้ได้ว่า $G_{Friis}(f) = G_f(f)$ ดังนั้นจะได้สมการที่ใช้ในการหาอัตรากำลังขยายเชิงวิถี (Path Gain)

วิธีที่ 1

$$G_f(f, d) = \left(\frac{c}{4\pi fd} \right)^2 \quad (4.3)$$

เมื่อ $G_f(f, d)$ แทนอัตราขยายเชิงวิถี (Path Gain)
 c แทนค่าความเร็วแสง
 f แทนค่าความถี่ที่ใช้ในระบบ
 d แทนระยะห่างของสายอากาศตัวส่งและตัวรับ



รูปที่ 4.4 อัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าขนาดแรงดันทางด้านรับจะมีค่าน้อยลงเมื่อระยะทางและความถี่มากขึ้น นั่นแสดงว่าอัตราการขยายเชิงวิถี (Path Gain) เป็นการลดทอนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราค่าการขยายเชิงวิถี (Path Gain) สามารถแสดงในรูปของกำลังงานได้ เพื่อง่ายในการพิจารณาได้ดังสมการต่อไปนี้

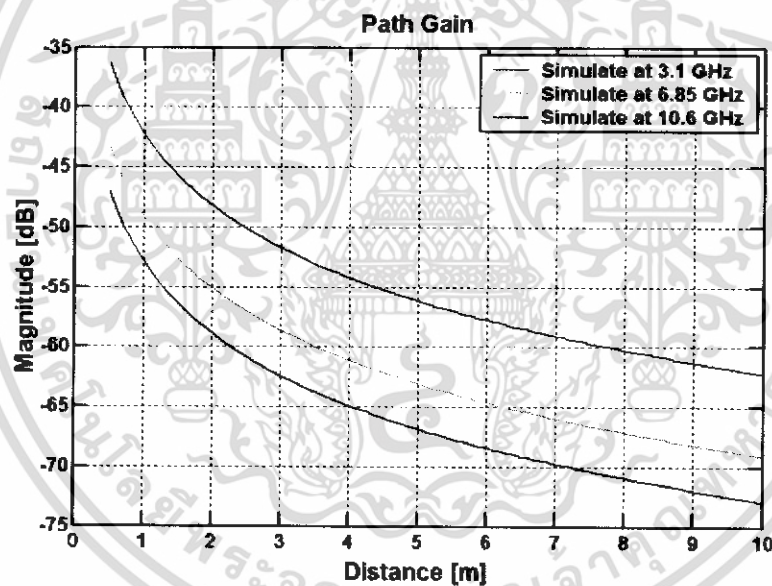
วิธีที่ 2

$$G_f(f, d) = -20 \log \left(\max |H_f(f, d)| \right) \quad (4.4)$$

เมื่อ

$G_f(f, d)$ แทนอัตราขยายเชิงวิถี (Path Gain)

$H_f(f, d)$ แทนค่าการถ่ายโอนของอัตราขยายเชิงวิถีของอวกาศ



รูปที่ 4.5 ค่าอัตราขยายเชิงวิถี (Path Gain) จากการประมาณค่าในทางทฤษฎี

ผลกระทบจากอัตราขยายเชิงวิถี

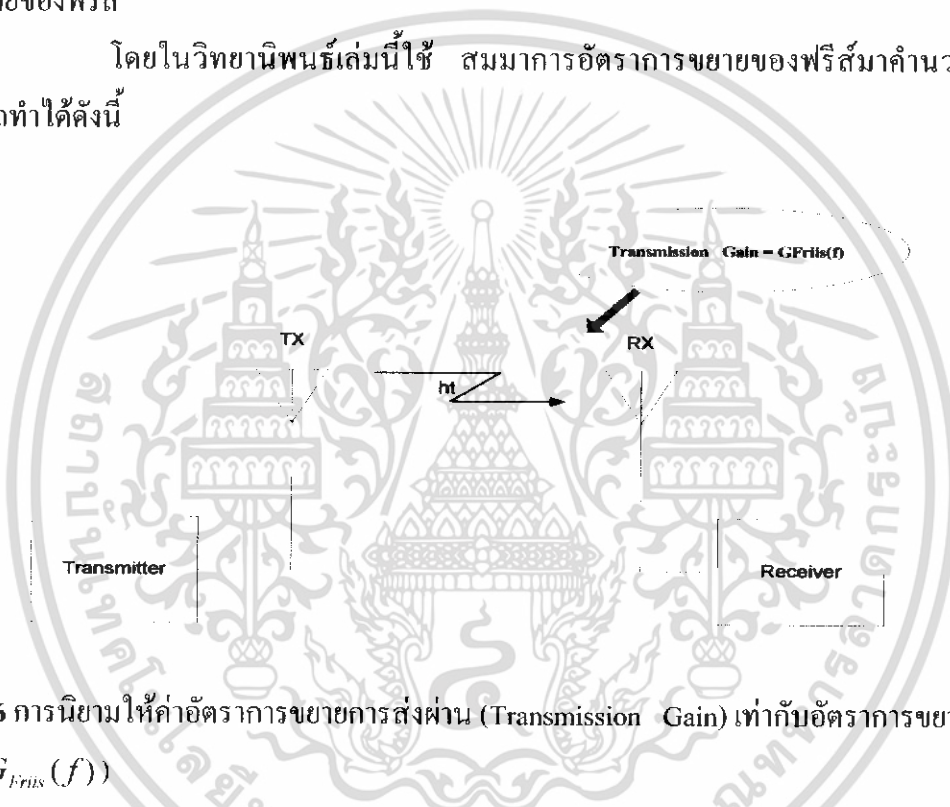
จะเห็นได้ว่าเกณฑ์ของระบบมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอัตราการลดทอนของสัญญาณ แต่จากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า การที่จะนำเอาระบบ Ultra wideband มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) นี้สามารถที่จะทำได้ เพราะระบบ WPAN มีการใช้งานการรับ-ส่ง ข้อมูลในระยะทางสั้นๆ ซึ่งถูกกำหนดไว้ในระยะ 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

จากสูตรการส่งผ่านของฟรีสส์ (Friis's Transmission Formula) สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาอัตราขยายการส่งผ่านของสัญญาณที่ใช้ได้อีกทั้งสูตรนี้ยังต่อการพิจารณา เนื่องจากไม่มีการใช้ทฤษฎีหรือวิธีคิดของแคลคูลัสมากเกินไปซึ่งทำให้ต่อการพิจารณา และ อัตราการขยายของสายอากาศ (Antenna Transmission Gain) สามารถหาค่าได้จากสมการอัตราการขยายของฟรีสส์

โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้ สมการอัตราการขยายของฟรีสส์มาคำนวณ ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 การนิยามให้ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) เท่ากับอัตราการขยายของฟรีสส์ ($G_{Fris}(f)$)

สมมติให้ อัตราการขยายของด้านส่ง ($G_t(f)$) และอัตราการขยายของด้านรับ ($G_r(f)$) มีค่าเท่ากับหนึ่งเพื่อต่อการคำนวณ จะทำให้อัตราการขยายของฟรีสส์ ($G_{Fris}(f)$) มีค่าเท่ากับอัตราการขยายของพื้นที่ว่าง ($G_f(f)$) และด้วยหลักการนี้จะทำให้เราสามารถหาค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) ได้ดังนี้

$$TG = G_{Fris}(f) = G_t(f) G_r(f) G_f(f,d) \quad (4.5)$$

เมื่อ

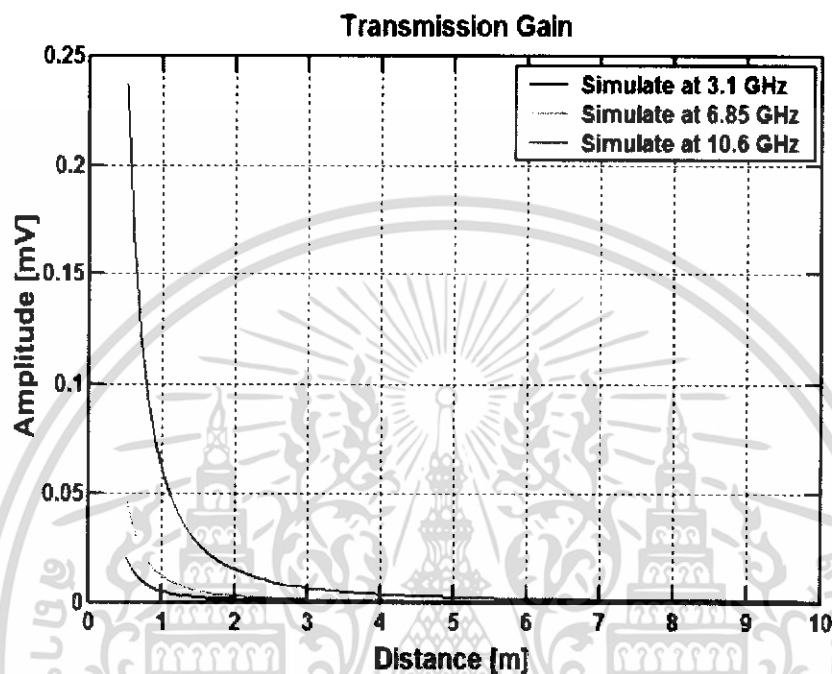
TG แทนค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (เดซิเบล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

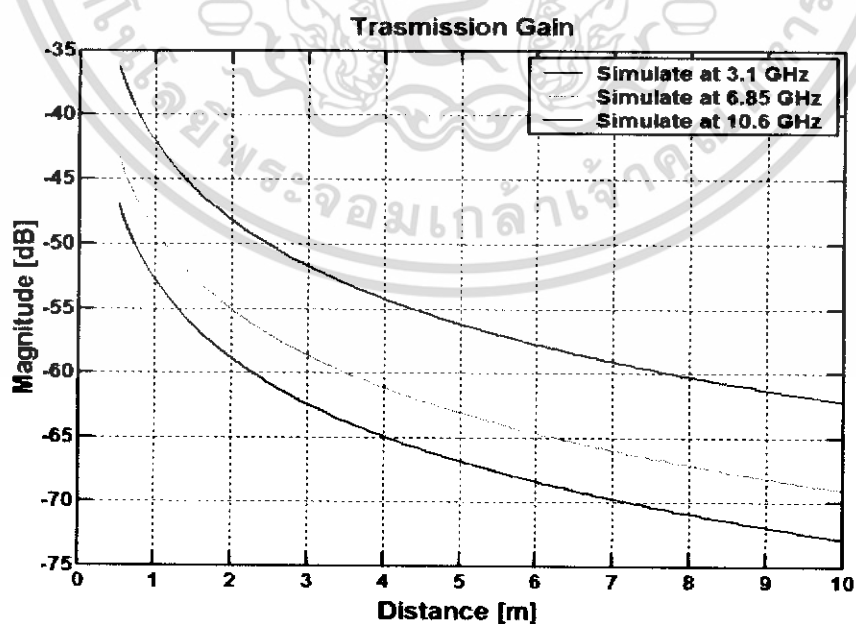
$$G_t(f) = G_r(f) = 1$$

จะได้

$$TG = G_f(f, d) \quad (4.6)$$



รูปที่ 4.7 ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) ในทางขนาดของแรงดัน

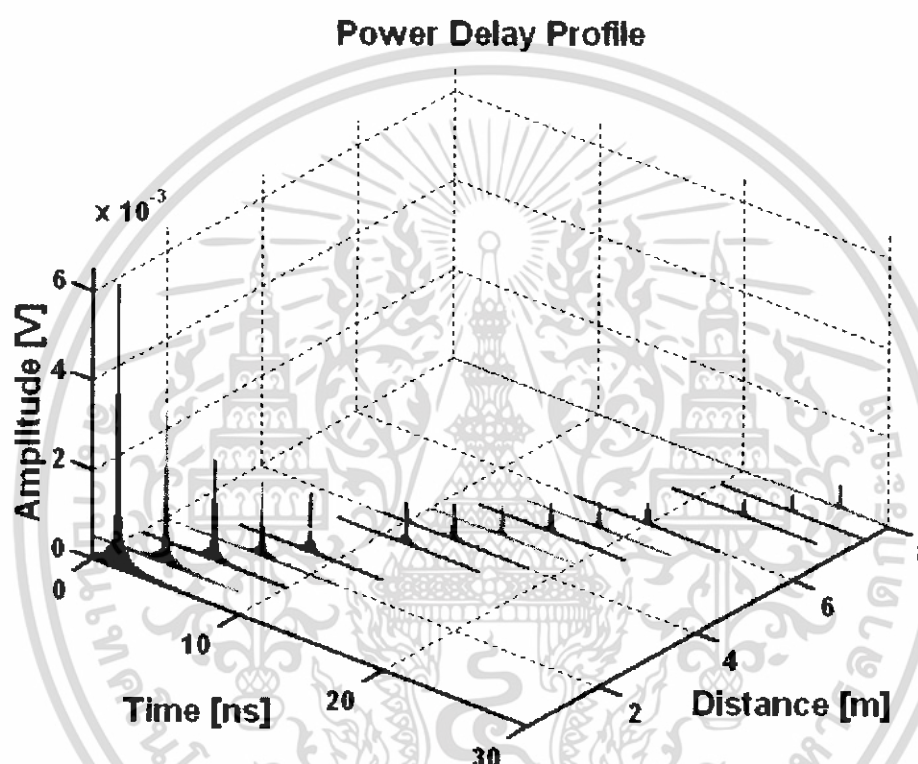


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ค่าอัตราขยายการส่งผ่าน(Transmission Gain) ในทางขนาดของกำลังงาน

4.2.1.5 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

รูปแบบการหน่วงกำลังงาน คือรูปแบบของแรงดันทางด้านรับในแต่ละระยะทางที่สายอากาศวางอยู่เทียบกับเวลาในการเดินทางของแต่ละระยะทาง ซึ่งผลที่จากการประมาณค่าคลื่นสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.9 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

จากรูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบของแรงดันทางด้านรับในแต่ละระยะทางที่สายอากาศตัวรับวางอยู่เทียบกับเวลาในการเดินทางของแต่ละระยะทาง จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทางด้านรับจะต้องใช้เวลาในการรับสัญญาณที่มาจาก Direct pulse มากขึ้น

4.2.2 การประมาณค่ารูปแบบสัญญาณไม่ใช่ระดับสายตา (Non Line of Sight)

ในการ Simulation รูปแบบสัญญาณไม่ใช่ระดับสายตา มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย อาทิ เช่น รูปแบบของแบบจะลอง ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้สัญญาณผ่าน ต้องมีการ พิจารณาถึงวัสดุที่มีผลต่อทางเดินของสัญญาณในส่วนต่างๆ เพราะความแตกต่างกันของวัสดุมีผลต่อการสะท้อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ใช้ในการรับ-ส่ง เป็นต้น ทำให้การพิจารณาผลค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากเมื่อแบบจำลองที่จำลองขึ้นมามีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ผลที่คำนวณ นั้นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากระบบของ Ultra-Wideband มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ผลที่ได้จากการประมาณค่านั้นจึงใช้ไม่ได้กับทุกรูปแบบที่ แต่อย่างไรก็ดี ผลที่ได้ในบางอย่างยังคงมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน หรือมีฟังก์ชันเดิม เช่น Path Loss, Path Gain เป็นต้น ในส่วนของ NLOS นี้ การที่จะ Simulate ค่านั้นทำได้แค่ในบางส่วน เนื่องจากบางส่วนนั้นได้ผลจากการวัด (Measurement) เท่านั้น

4.3 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้วิเคราะห์ผลจากการทดลองและวัดคลื่นสัญญาณ โดย

เนื่องจากการการประมาณค่าจากสมการในทางทฤษฎีและค่าจากผลการวัดสัญญาณคลื่น นั้นใช้มีการวิเคราะห์ผลที่แตกต่างกัน แต่อยู่บนพื้นฐานทฤษฎีเดียวกัน จึงทำให้สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

4.3.1 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณในระดับสายตา (LOS)

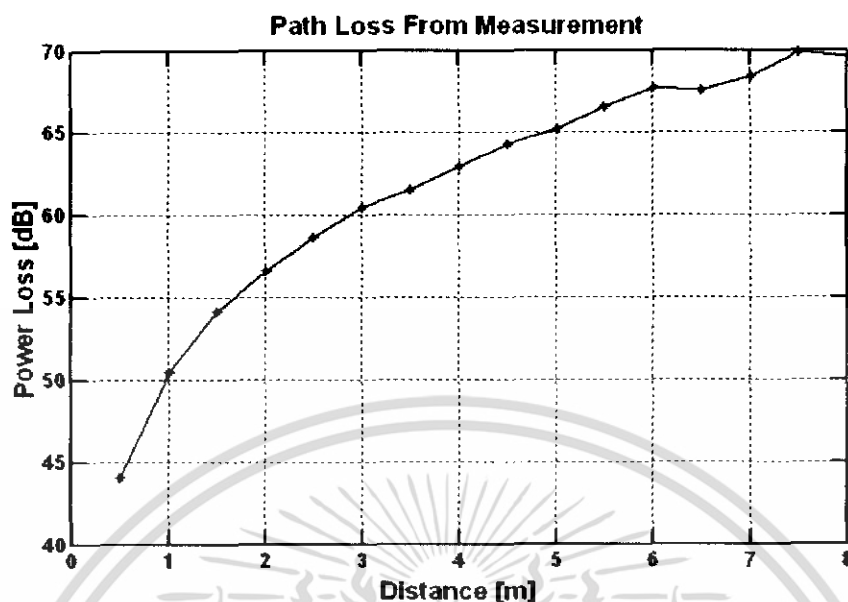
4.3.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

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

การคำนวณหาการสูญเสียเชิงวิถีสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$PL = 10 \log \left(\max \left(\frac{V_t(t)}{V_r(t)} \right) \right)^2 \quad (4.7)$$

เมื่อ	PL	การสูญเสียเชิงวิถี (เดซิเบล)
	$V_r(t)$	ค่าแรงดันทางด้านรับ
	$V_t(t)$	ค่าแรงดันทางด้านส่ง (มีค่าเท่ากับ 1V)



รูปที่ 4.10 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) จากการทดลองและวัดค่า

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทาง ทางด้านสายอากาศของตัวรับคลื่นสัญญาณ เพิ่มระยะความห่างขึ้นจาก 0.5 เมตร เป็น 1 เมตรและเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆนั้น ค่าของการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) จะเพิ่มขึ้นตามระยะทาง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้ในการประมาณค่าในหัวข้อ 4.1.1.2

4.3.1.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

อัตราการขยายการส่งผ่าน คืออัตราส่วนการของกำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver) เทียบกับกำลังงานระหว่างทางด้านส่ง (Power of transmitter) หรือก็คือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั่นเอง

การคำนวณหาอัตรากำลังขยายของอวกาศ (Free Space) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

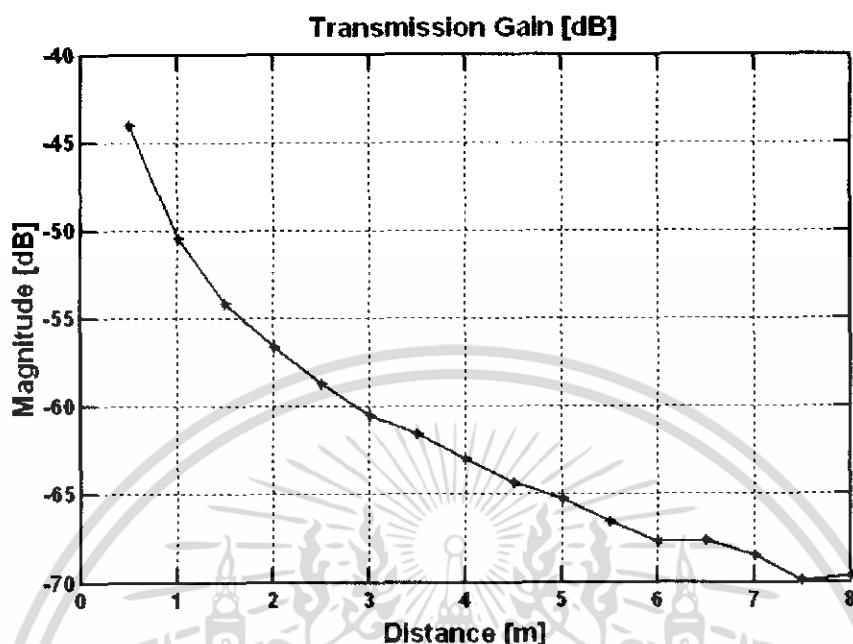
$$TG = 10 \log \left(\max \left(\frac{V_r(t)}{V_t(t)} \right) \right)^2 \quad (4.8)$$

เมื่อ TG แทนอัตราการขยายส่งผ่าน (เดซิเบล)

$V_r(t)$ แทนค่าแรงดันทางด้านรับ

$V_t(t)$ แทนค่าแรงดันทางด้านส่ง (มีค่าเท่ากับ 1V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

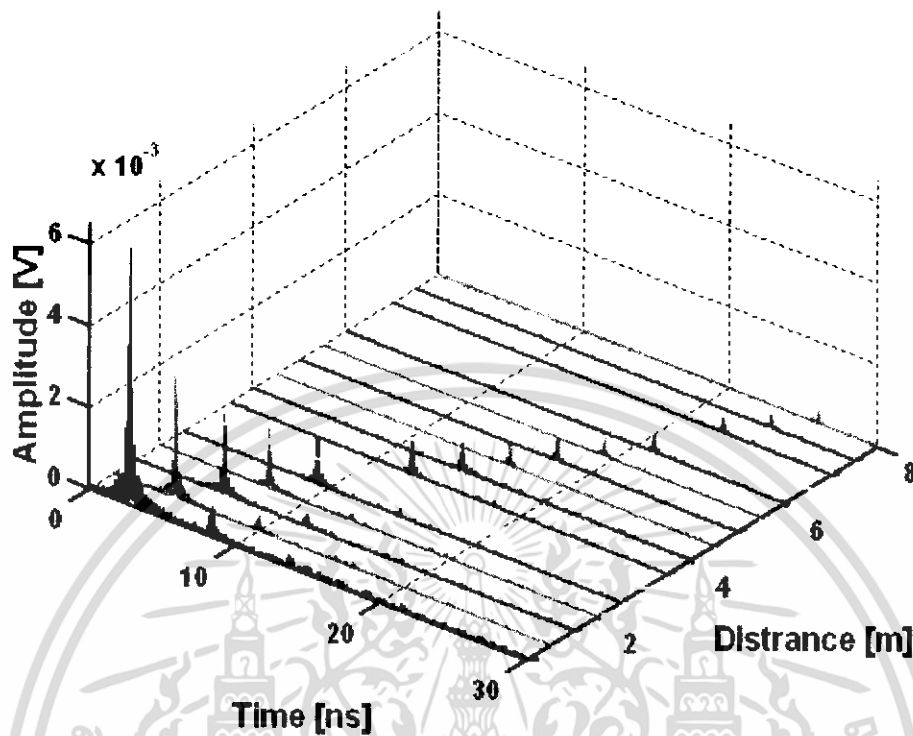


รูปที่ 4.11 ค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) จากการทดลองและวัดค่า

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าอัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain) ซึ่งค่าอัตราการขยายการส่งผ่านมีค่าเป็นอัตราการลดทอน คือ เมื่อสายอากาศของตัวรับเคลื่อนสัญญาณมีระยะความห่างเพิ่มขึ้นจาก 0.5 เมตร เป็น 1 เมตรและเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆนั้น ค่าอัตราการขยายการส่งผ่านจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระยะทาง

4.3.1.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

รูปแบบการหน่วงกำลังงาน คือรูปแบบของแรงดันทางค้ำรับในแต่ละระยะทางที่สายอากาศวางอยู่เทียบกับเวลาในการเดินทางของแต่ละระยะทาง ซึ่งผลที่จากการวัดคลื่นสัญญาณได้ดังรูปที่ 4.12



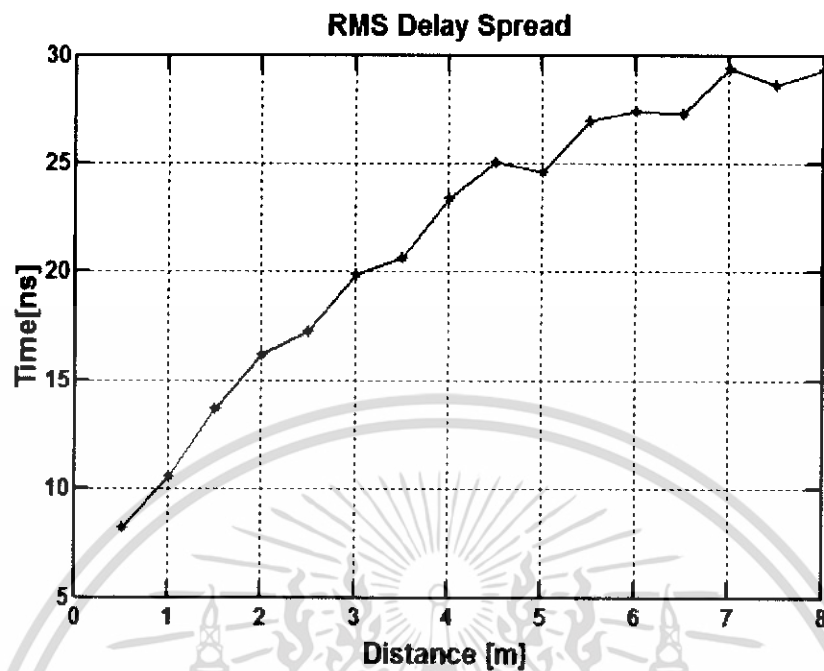
รูปที่ 4.12 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

จากรูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบของแรงดันทางด้านรับในแต่ละระยะทางที่สายอากาศตัวรับวางอยู่เทียบกับเวลาในการเดินทางของแต่ละระยะทาง จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทางด้านรับจะต้องใช้เวลาในการรับสัญญาณที่มาจาก Direct pulse มากขึ้น

4.3.1.4 RMS Delay Spread

จากการที่ได้ค่าของ Power Delay Profile ทำให้สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงค่าเฉลี่ยการกระจายสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบของค่ารากได้หรือที่เรียกว่า RMS Delay Spread โดยเป็นไปตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (4.9)$$



รูปที่ 4.13 รูปแบบการกระจายการหน่วงเวลา (RMS Delay Spread)

จากรูป เห็นได้ว่าเมื่อด้านรับมีการเคลื่อนที่ไปในระยะทางที่มากขึ้นจะต้องใช้เวลาในการรอสัญญาณที่นานขึ้น ซึ่งในระบบ Ultra-Wideband ที่ได้ทำการวิจัยนี้พบว่าระยะทางที่แตกต่างกัน 1 เมตร ที่ด้านรับต้องใช้เวลาในการรอสัญญาณที่ค่อนข้างเท่ากัน

4.3.2 ค่าจากผลการวัดคลื่นสัญญาณไม่ใช้ระดับสายตา (NLOS)

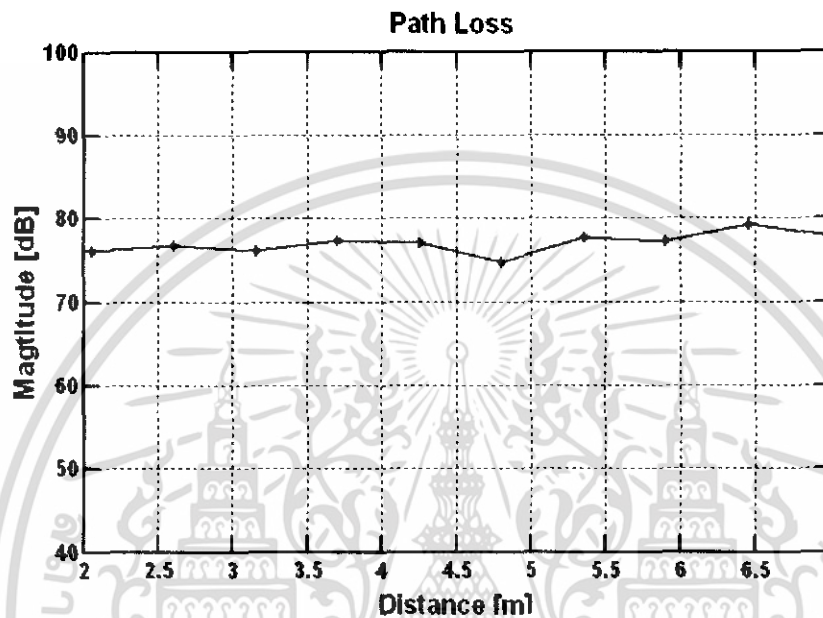
4.3.2.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

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

การคำนวณหาการสูญเสียเชิงวิถีสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$PL = 10 \log \left(\max \left(\frac{V_t(t)}{V_r(t)} \right) \right)^2 \quad (4.7)$$

- เมื่อ PL การสูญเสียเชิงวิถี
 $V_r(t)$ ค่าแรงดันทางด้านรับ
 $V_t(t)$ ค่าแรงดันทางด้านส่ง (มีค่าเท่ากับ 1V)



รูปที่ 4.14 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) จากการทดลองและวัดค่า

4.3.2.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

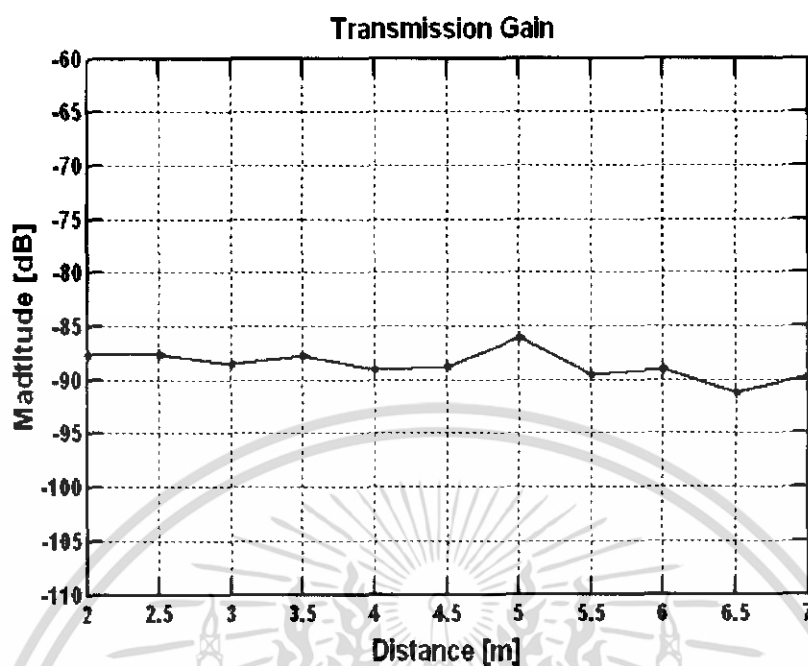
อัตราการขยายการส่งผ่าน คืออัตราส่วนของกำลังงานทางด้านรับ (Power of receiver) เทียบกับกำลังงานทางด้านส่ง (Power of transmitter) หรือก็คือส่วนกลับของการสูญเสียเชิงวิถีนั่นเอง

การคำนวณหาอัตรากำลังขยายของอวกาศ (Free Space) สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$TG = 10 \log \left(\max \left(\frac{V_r(t)}{V_t(t)} \right) \right)^2 \quad (4.8)$$

- เมื่อ TG แทนอัตราการขยายการส่งผ่าน
 $V_r(t)$ แทนค่าแรงดันทางด้านรับ
 $V_t(t)$ แทนค่าแรงดันทางด้านส่ง (มีค่าเท่ากับ 1V)

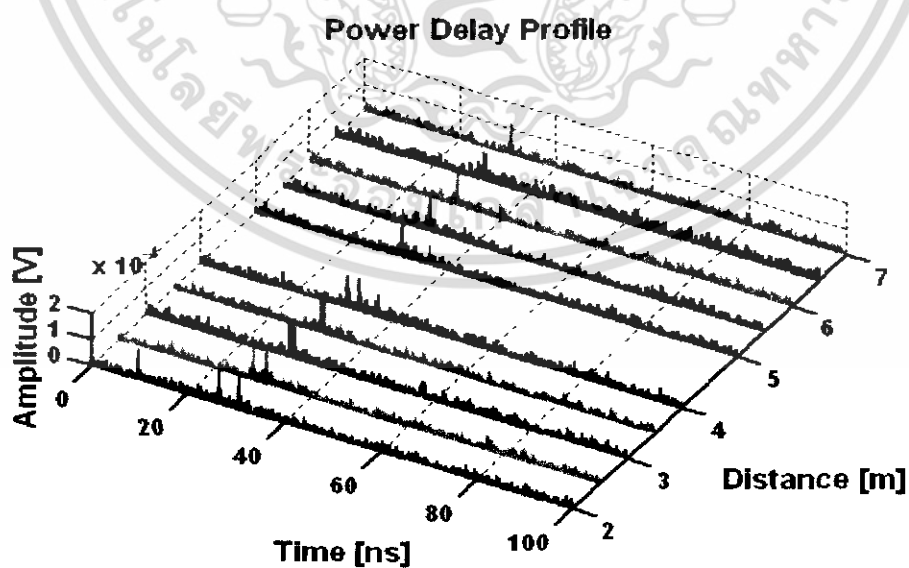
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่าการอัตราขยายสัญญาณของช่องสัญญาณ จากการทดลองและวัดค่า

4.3.2.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

ในการรับสัญญาณแบบที่ด้านรับและด้านส่งไม่ได้อยู่ในระดับที่สามารถจะมองเห็นกันได้นั้น ทำให้การที่ด้านรับจะรับสัญญาณได้เกิดการหน่วงเวลามากกว่าการรับสัญญาณแบบที่ทั้งสองด้านมีการมองเห็นกัน



รูปที่ 4.16 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

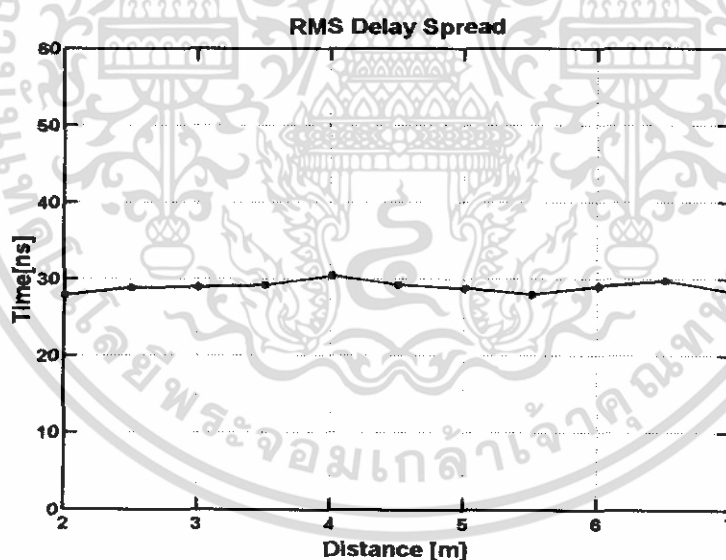
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเห็นได้ว่าสัญญาณที่รับได้มีระดับที่ต่ำมากและใกล้เคียงกันแทบทุกช่วงเวลาแต่จากการที่การวิจัยนี้เป็นการประมาณค่าสัญญาณเพื่อเป็นแนวทางสู่การนำไปใช้งานได้จริงจึงไม่ได้มีการวัดสัญญาณในห้องที่ไม่ก่อให้เกิดสัญญาณจากระบบอื่นเข้ามา เป็นผลให้ที่เวลาประมาณ 30 ns มีการรับเอาสัญญาณจากระบบอื่นเข้ามาด้วย ซึ่งถือได้ว่าเป็นสัญญาณรบกวนของระบบ

4.3.2.4 RMS Delay Spread

จากการที่ได้ค่าของ Power Delay Profile ทำให้สามารถที่จะนำไปวิเคราะห์ถึงค่าเฉลี่ยการกระจายสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบของค่ารากได้หรือที่เรียกว่า RMS Delay Spread โดยเป็นไปตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (4.9)$$



รูปที่ 4.17

รูปแบบการกระจายการหน่วงเวลา (RMS Delay Spread)

จากรูปเห็นได้ว่าเมื่อด้านรับมีการเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางที่มากขึ้นจะต้องใช้เวลาในการรอสัญญาณที่นานขึ้น ซึ่งในระบบ Ultra-Wideband ที่ได้ทำการวิจัยนี้พบว่าระยะทางที่แตกต่างกัน 1 เมตร ที่ด้านรับต้องใช้เวลาในการรอสัญญาณที่ค่อนข้างเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

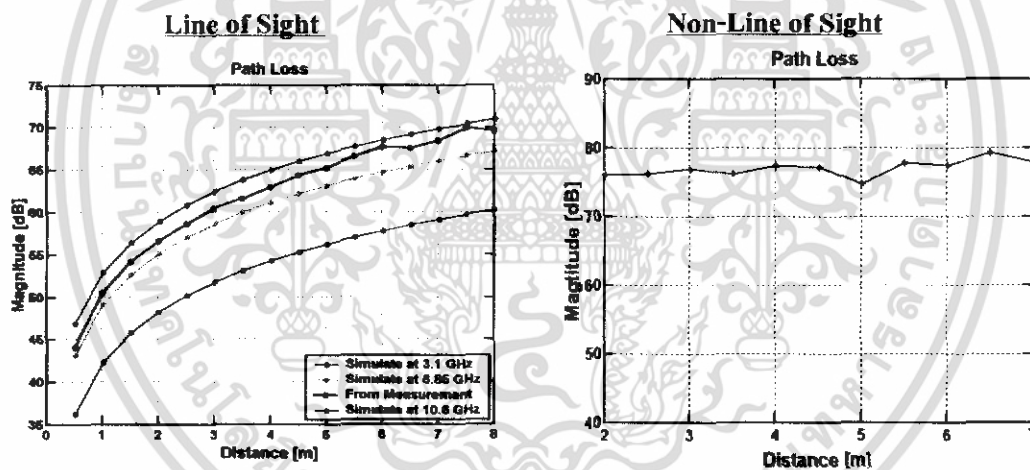
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัย

จากบทที่ 4 ทำให้ได้ผลรับจากการประมาณค่าต่างๆดังที่แสดงอยู่ในบทดังกล่าว ในบทที่ 5 นี้เป็นการสรุปวิเคราะห์ผลนั้นๆ เพื่อเป็นการประมาณและแสดงถึงแนวโน้มที่จะนำไปสู่การทำวิจัยกับระบบที่เป็นแถบความถี่แบบกว้าง หรือการนำเอาระบบความถี่แบบกว้างไปใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล หรืออาจนำไปสู่การวิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

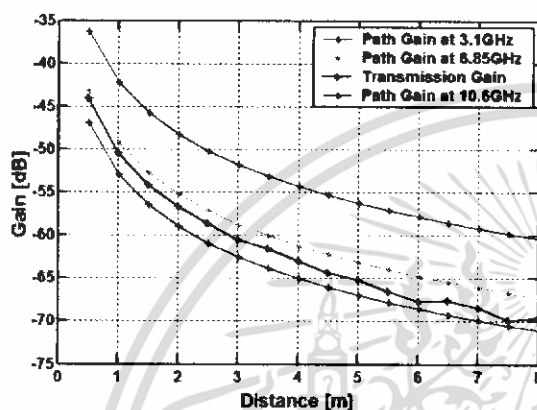
5.1 การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)



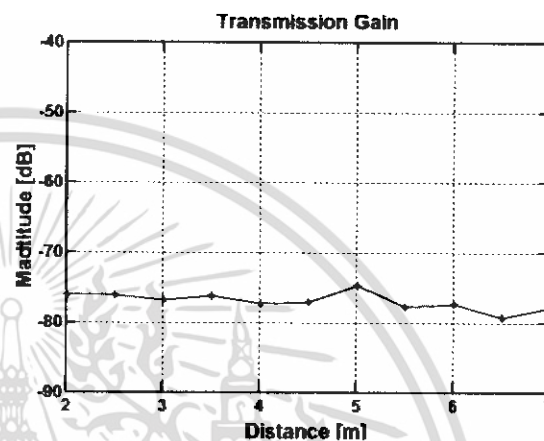
ในช่องสัญญาณที่เป็นอากาศโดยทั่วไปแล้วเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางชนิดนี้แล้วสัญญาณจะถูกลดทอนระดับลงไปตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของแบบจำลองที่เป็น Non-Line of Sight แล้ว การลดทอนของระดับสัญญาณในช่วงระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 7 เมตร ที่ได้ทำการประมาณค่าออกมา มีแนวโน้มของค่าการลดทอนที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงที่กำหนดไว้ ซึ่งต่างกับแบบจำลองที่เป็น Line of Sight ชัดเจนมาก

5.2 อัตราการขยายการส่งผ่าน (Transmission Gain)

Line of Sight



Non-Line of Sight



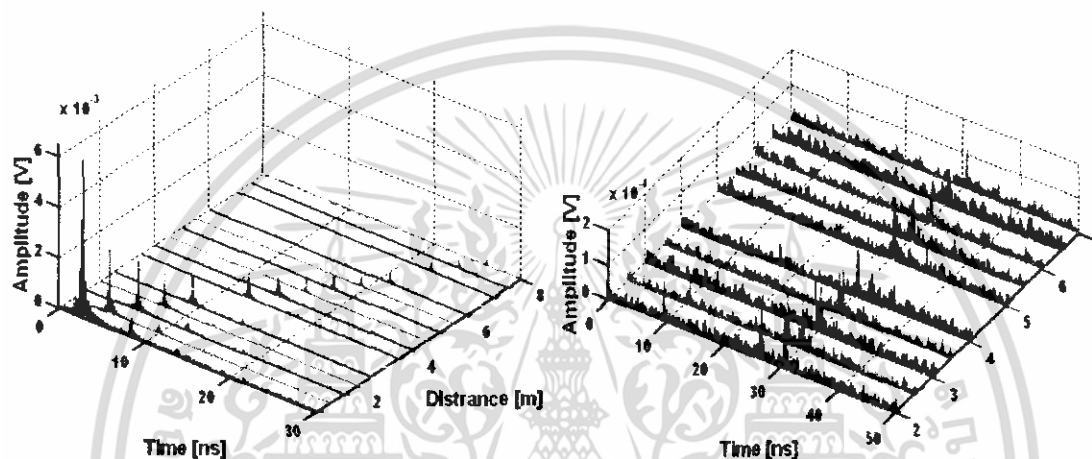
อัตราการขยายสัญญาณของช่องสัญญาณที่ถูกใช้ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง (Ultra-Wideband) เมื่อนำพิจารณาทั้งในกรณีแบบระดับสายตาและที่ไม่ใช่แบบระดับสายตาแล้วจะเห็นได้ว่าทั้งสองแบบแปรผกผันกันกับค่าการลดทอนของช่องสัญญาณ ลักษณะอัตราการขยายสัญญาณของแบบจำลองในระดับสายตานั้นค่าที่ได้มาจากการประมาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แต่ในแบบจำลองแบบที่ไม่ใช่ในระดับสายตานั้นการเปลี่ยนแปลงของอัตราการขยายสัญญาณมีค่าที่ไม่มาก แสดงว่าเมื่อสัญญาณอยู่ในแบบจำลองแบบนี้แล้วที่ระยะทางไม่เกิน 10 เมตร ระดับของสัญญาณที่ส่งมามีระดับที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของแบบจำลองนั้นๆด้วย ซึ่งในแบบจำลองของงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดให้โอกาสที่จะเกิดการสะท้อนสัญญาณของแต่ละระยะทางมีโอกาสที่เท่าๆกันเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์

5.3 รูปแบบการหน่วงกำลังงาน (Power Delay Profile)

รูปแบบการหน่วงกำลังงานที่เกิดขึ้นมานี้ทำให้สามารถที่จะวิเคราะห์โดยแยกเป็น 2 กรณีได้คือ

Line of Sight

Non-Line of Sight

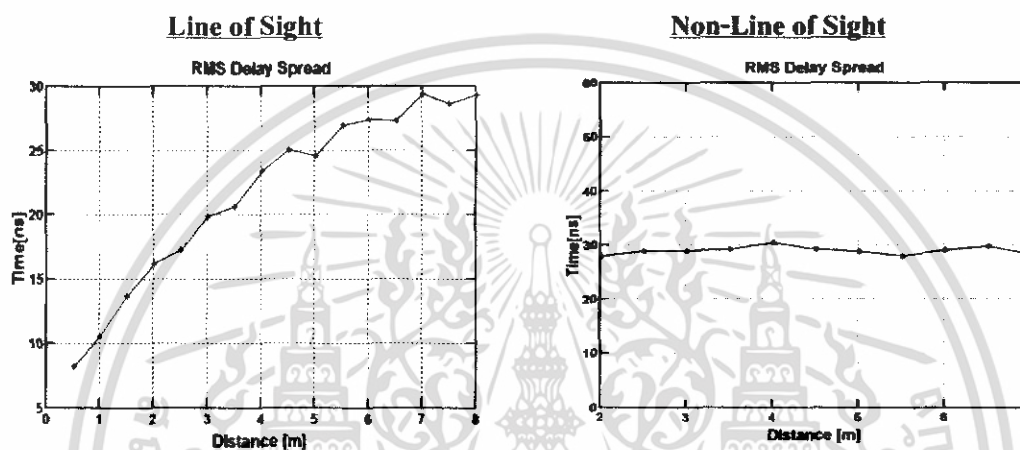


กรณีที่ 1 เป็นการประมาณค่าของแบบจำลองที่อยู่ในระดับสายตา เห็นได้ว่ารูปแบบโดยรวม นั้น ที่ระยะทางต่างๆ การเข้ามาของสัญญาณทางด้านส่งถึงด้านรับการใช้เวลาที่สอดคล้องกันกับระยะทางที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และกำลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะทางที่รับสัญญาณมาได้นั้นมีความแตกต่างกันโดยที่เป็นไปตามเงื่อนไขการลดทอนของช่องสัญญาณที่ได้ทำการจำลองขึ้นมาเพื่อการประมาณค่า

กรณีที่ 2 เป็นการประมาณค่าจากแบบจำลองที่ไม่ได้อยู่ในระดับสายตา ในกรณีนี้รูปแบบของการหน่วงเวลาด้านกำลังงาน ถึงจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับกรณีแรกบ้างแต่ก็มีความแตกต่างกันอยู่บ้าง อย่างแรกคือ กำลังงานที่รับมาได้ในแต่ละระยะทางมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนนี้เกิดได้จากการที่รูปแบบการรับสัญญาณที่ไม่ได้รับมาจากด้านส่งโดยตรงแต่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณมาจากตัวอาคาร วัตถุ หรือ อุปกร์อื่นก่อนที่สัญญาณจะมาถึงด้านรับ หรือที่เรียกว่าการเกิด Multipath อีกส่วนคือการที่ระดับของสัญญาณที่รับมาได้นั้นมีระดับที่ใกล้เคียงกันมาก ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มระยะทางออกไปบ้าง แต่ระยะที่เพิ่มมานี้เป็นระยะที่ไม่มากผลที่เกิดขึ้นจึงไม่แตกต่างกันจนเกินไป

5.4 RMS Delay Spread

จากการที่ทราบถึงรูปแบบการหน่วงกำลังงานของระบบที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาในส่วนของเวลาที่สัญญาณเดินทางจากด้านส่งไปสู่ด้านรับโดยผ่านช่องทางที่มีอัตราการลดทอนสัญญาณลงไปเรื่อยๆ แต่ด้วยปัจจัยที่ต่างกันด้านแบบจำลองที่ได้นำมาเพื่อการประมาณค่าต่างๆ นั้น ทำให้ได้คุณสมบัติด้านเวลาออกมาดังนี้



ในแบบจำลองที่เป็นระดับสายตา เวลาของสัญญาณที่เกิดขึ้นที่ด้านรับมีรูปแบบที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่มากขึ้น ลักษณะโดยเฉลี่ยเป็นแบบฟังก์ชันเพิ่ม โดยแปรผันตามระยะทาง อันเนื่องมาจากการที่สัญญาณใช้ความเร็วในการเดินทางผ่านตัวกลางที่คงที่ทุกๆ ระยะทาง และเมื่อระยะทางมีการเพิ่มขึ้นทำให้การรับสัญญาณเกิดการล่าช้า

สำหรับแบบจำลองที่ไม่ได้เป็นแบบระดับสายตา การเดินทางของสัญญาณมีค่าเวลาที่ใกล้เคียงกันมากในทุกระยะทาง เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองแบบระดับสายตาแล้วเห็นได้ว่าไม่มีความสอดคล้องกันอย่างชัดเจน

สรุปวิจารณ์

ในการนำเอา Ultra-Wideband เข้ามาใช้กับ Wireless Personal Area Network ที่มีระยะทางไม่เกิน 10 เมตร นั้น เมื่อมีการวิเคราะห์ในรูปแบบจำลองที่ได้กำหนดขึ้นมาแล้วทำให้มีข้อที่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้งานอันได้แก่ ช่องสัญญาณที่ใช้นั้นมีอัตราการลดทอนอยู่ ในการรับ-ส่ง สัญญาณตามปกติแบบ Line of Sight นั้นสามารถที่ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การแยกแยะสัญญาณที่เข้ามา มีความชัดเจนทั้งในเรื่องของระดับสัญญาณและเวลาในการเข้าถึงของสัญญาณ ส่วนการใช้งานในรูปแบบของ Non-Line of sight เนื่องจากสัญญาณที่รับมาได้เป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณภายในช่องสัญญาณกว่าจะมาถึงด้านรับทำให้ระดับของสัญญาณมีกำลังที่อ่อนกว่าแบบ Line of Sight การนำเอา Ultra-Wideband มาใช้งานในลักษณะนี้ต้องพิจารณาถึง Power Budget หรือ Link Budget ด้วยเพื่อวิเคราะห์ถึงกำลังงานที่เหมาะสมที่จะใช้ในระบบ

การใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบที่มีลักษณะเข้าข่ายรูปแบบ Non-Line of Sight ที่ได้มีการนำเอาเทคโนโลยี Ultra-Wideband มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง, อัตราการลดทอนของช่องสัญญาณ, กำลังงานที่ส่งออกสู่ช่องสัญญาณ, การสูญเสียของระดับสัญญาณ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่เดินทางภายในช่องสัญญาณเป็นอย่างมาก

ในส่วนของการใช้งานแบบ Line of Sight การวิเคราะห์สัญญาณถือว่าสามารถทำได้สะดวก ไม่ยุ่งยากซับซ้อนเหมือน Non-Line of Sight เพราะทฤษฎีต่างๆที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่านั้นมีความชัดเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

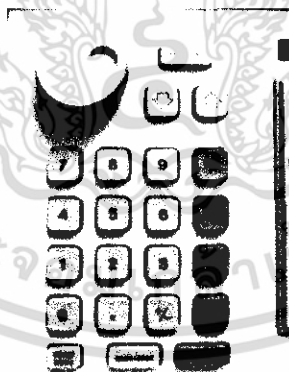
ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semirigid



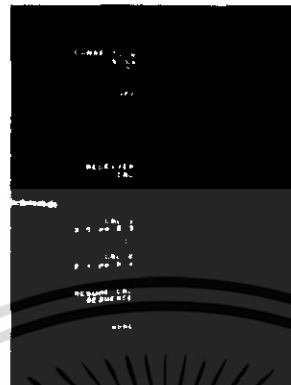
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENUS



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

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในการ CAL ทำดังนี้ ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

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

ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISOLATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ

- 
- กด FWD.TRANS.THRU
 - กด FWD.MATCH.THRU
 - กด REV.TRANS.THRU
 - กด REV.MATCH.THRU

6. กด TRANS DONE

7. กด ISOLATION

- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

8. กด ISOLATION DONE

9. กด SAVE (2-PORT CAL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET ที่มีตั้งแต่ 1-8 ให้เลือกเก็บค่าที่ได้ทำการ CAL ไปแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

โครงสร้างของสายอากาศแบบ 2 ทรงกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โครงสร้างของสายอากาศแบบ 2 ทรงกรวย

สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวย (Biconical Antennas)

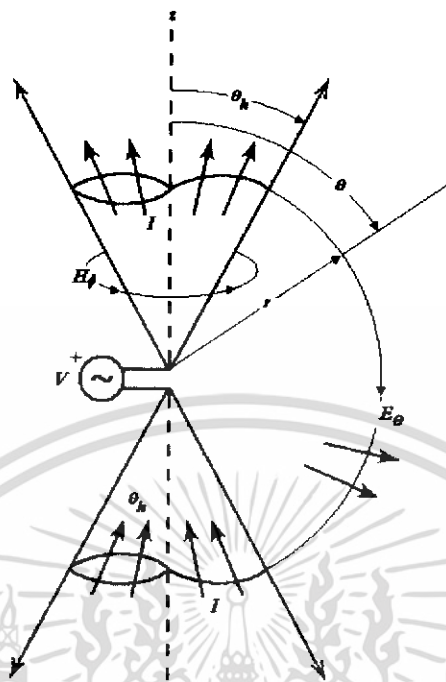
เราสามารถที่จะทำการเพิ่มขนาดของความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ของสายอากาศไดโพล แบบง่ายๆ (Simple Dipole Antenna) โดยการเพิ่มขนาดความหนาของสาย (Wire) ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการที่จะขยายความกว้างของช่องสัญญาณนี้สามารถที่จะทำได้อีกวิธี โดยการส่งผ่านตัวนำกระจายคลื่นที่มีรูปร่างแบบทรงกรวย โดยเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสายส่งที่มีค่าคงที่ (Fixed Wire Diameter) ถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางแบบช้าๆ และให้มุมของผิวทรงกรวยมีค่าคงที่ ในบทนี้ สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยในอุดมคติจะถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก ตามด้วยตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ สายอากาศโครงสร้างแบบ 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) และสายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone)

1. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Biconical Antenna)

ถ้าแบ่งครึ่งตัวนำของสายอากาศเป็น 2 ส่วน ที่มีพื้นที่ผิวหน้าตัดของทรงกรวยของตัวนำจากด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง (End-to-End) ของแผ่นตัวนำรูปทรงกรวย 2 อัน มีพื้นที่ที่ไม่จำกัด (Infinite Conical Conducting) แต่มีช่องว่างจำกัด (Finite Gap) ที่จุดจ่าย (Feed Point) ดังแสดงในภาพที่ ข.1

เพราะการที่มีโครงสร้างที่ไม่จำกัดนี้เอง ทำให้สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ให้เสมือนกับเป็นสายส่ง (Transmission line) ด้วยแรงดันในค่าของเวลาที่เปลี่ยนแปลง (Time-Varying Voltage) ที่อยู่ข้ามช่องว่าง และมีกระแสไหลกระจายออกจากช่องว่างไปทั่วผิวของตัวนำ ซึ่งกระแสนี้จะทำการสร้างสนามแม่เหล็กโดยรอบ $H\phi$ ถ้าสมมติว่ารูปแบบสายส่ง TEM ทุกสนาม (Filed) จะทำมุมฉากกับทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลง (Propagation) สนามไฟฟ้า จะทำมุมกับพื้นผิวของสนามแม่เหล็กในทิศทาง θ

เมื่อเงื่อนไขที่เป็นไปได้บนส่วนยอดของรูปทรงกรวยเป็นบวก และ ส่วนท้ายของรูปทรงกรวย เป็นค่าลบ เส้นสนามไฟฟ้าจะขยายจากส่วนบนสู่ส่วนล่างของรูปทรงกรวย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ข.1

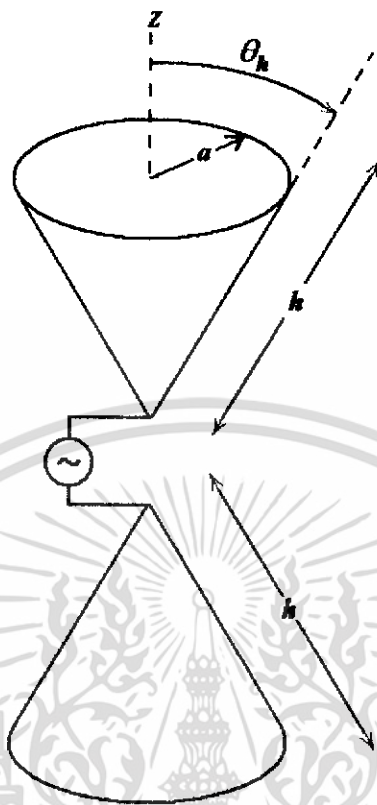


รูป ข.1 สายอากาศกรวยแบบไม่จำกัด แสดงส่วนประกอบของพื้นผิว และกระแส (I)

ถ้ารูปทรงกรวยอันหนึ่งถูกกระจายไปทั่วทุกทิศทางจากแผ่นพื้นสมบูรณ์แบบ (Perfect Ground Plane) และทรงกรวยอีกอันหนึ่งที่อยู่นอพื้นนั้นมีค่าแบบไม่จำกัด ก็จะได้ รูปแบบที่เป็น ขั้วเดี่ยว (Monopole) นี้เมื่อมี อินพุทอิมพีแดนซ์แบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ที่มีรูปทรงกรวยที่ไม่จำกัดเพียงครึ่งเดียว

2. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna)

ตัวอย่างของสายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวย สามารถที่จะทำได้โดยการสร้าง จุดสิ้นสุดให้กับทรงกรวยทั้ง 2 ของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ซึ่งก็คือ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ ข.2 ด้านในของรูปทรงของรัศมี h รอบสายอากาศ โดยมี คลื่น TEM อยู่ด้วยกันกับ Higher-Order mode สร้างขึ้นที่ปลายของทรงกรวย ซึ่ง Higher-Order mode นี้เป็นตัวกระจายหลักให้กับ สายอากาศ Reactance สาเหตุการสะท้อน (Cause Reflection) ที่ปลายของทรงกรวยที่ทำให้เกิดคลื่น แนวตั้ง (Standing wave) ที่นำไปสู่ อินพุทอิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อนขึ้น (Complex Input Impedance)



รูป ข.2 สายอากาศกรวยคู่แบบจำกัด

ส่วนที่มีปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์สามารถที่จะมีค่าจากน้อยที่สุดไปจนถึงความกว้างของช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Progressively Wider Bandwidth) โดยการเพิ่มค่าของมุม θ_h ในรูปที่ ข.2 ฉ. เวลาเดียวกันส่วนแท้จริง (Real Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์จะกลายเป็นว่ามีการรับรู้ถึงค่าที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยลง (หรือการเปลี่ยน h ในรูปที่ ข.2 สำหรับรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) ที่สายอากาศอิมพีแดนซ์ถูกบันทึกค่าลงกราฟเทียบกับความสูงของขั้วเดียว (Monopole) Lh ข้อมูลที่ชัดเจนเหล่านี้ถูกแสดงให้เห็นว่า การที่จะสามารถทำให้ได้อัตราส่วนที่ 2 : 1 ของอิมพีแดนซ์ของความกว้างของช่องสัญญาณ (Impedance Bandwidth) มีความจำเป็นสำหรับส่วนหนึ่งของนิยามของสายอากาศแบบกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) นี่เป็นตัวอย่างแรกที่สามารถแสดงให้เห็นการขึ้นกับมุมมองของสายอากาศที่ทำมุมกับสภาพพื้นผิวบริเวณนั้นๆว่ามีรายละเอียดอย่างไรมากกว่าความยาวของสายอากาศเอง สายอากาศแบบความถี่อิสระ (Frequency-Independent Antenna) จะนำมาพิจารณาภายหลังในบทนี้ การใช้ปัจจัยให้ได้ประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ โดย ปัจจัยอื่นที่เราจะทำการสังเกตจากหลายรูปแบบของสายอากาศแบบการกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) และ สายอากาศแบบความถี่อิสระ

(Frequency-Independent Antenna) คือ ความสำคัญของขนาดอย่างน้อยที่สุดที่ $\lambda/4$ ให้ทำการพิจารณาอย่างช้าๆ เริ่มต้นเมื่อ ความสูงของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) มีค่าประมาณ $\lambda/4$ และขยายออกไปเป็น $\lambda/2$

รูปแบบของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) หรือ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical) ที่มีมุมของทรงกรวยมีขนาดเล็ก จะเหมือนกับ สายอากาศขั้วเดียวแบบดั้งเดิม (Ordinary Monopole) หรือ โดลโพล (Dipole) ที่มีขนาดของความยาวเท่ากัน

รูปแบบธรรมดาที่สุดของ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite biconical antenna) คือ สายอากาศร่วมแบบโบว์ไทด์ (Common "bow-tie" Antenna)

6.3.3 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna)

ถ้าทรงกรวยข้างหนึ่งของสายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ถูกแทนที่ด้วยตัวนำแบบรูปทรงเป็นแผ่น (Disk-Shaped Ground Plane) โครงสร้างก็จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบ แผ่นกับทรงกรวย (Disk-Cone) หรือเรียกว่า สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) จากรูปที่ 6-19 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) นี้ ถูกค้นพบโดย Kandoian [16] ในปี ค.ศ. 1945 ภายหลังจากการศึกษาการออกแบบการทดลอง [17, 18] หลายปี มันใช้สำหรับ Vertical Polarization (แบบเดียวกับ Vertical dipole) และคล้ายกับรูปแบบการครอบคลุมกลมพื้นที่แบบ azimuth (คือ รูปแบบ Omnidirectional) รูปแบบแผ่นกรวยนี้ช่วยให้ความพึงพอใจในการใช้งานบนช่วงความถี่กว้าง (Wide frequency range) คือ Octave ทั่วไป (Several Octave) ขณะที่พยายามที่จะรักษารูปแบบที่ยอมรับได้และ พื้นที่บริเวณของอิมพีแดนซ์ (Impedance Property)

รูปแบบแผ่นกรวย จะมีตัวเก็บประจุภายนอก (Outer Conductor) ของสายส่ง Coaxial ที่ถูกเชื่อมต่อกับทรงกรวยด้านหนึ่ง และ ตัวเก็บประจุภายใน (Inner Conductor) ที่สัมผัสกับแผ่น (Ground Plane) ทั้งทรงกรวยและแผ่นนี้จะสามารถที่จะเป็นโลหะแข็ง (Solid Metal) หรือ Radial Wire โดยอุดมคติ รูปแบบระหว่าง Ground Plane และ ทรงกรวย เป็นของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) รูปแบบ Omnidirectional นี้จะเหมาะสมกับการประยุกต์การกระจายสัญญาณ (Broadcast Application)