

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาของโครงข่ายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบการสื่อสารส่วนบุคคล

A study of Ultra Wideband Transmission Network for Personal Communication



โดย

นางสาวพัชรี ทรายกาญจนไพบูลย์

นางสาวพิสนีย์ ตันศิริระวงศ์

27
พ.ย. 2549
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **62669**
วัน,เดือน,ปี..... **21 ส.ค. 2549**

b. 11628133
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY OF ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION NETWORK FOR PERSONAL
COMMUNICATION**



**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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาของโครงข่ายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบ
การสื่อสารส่วนบุคคล

ชื่อนักศึกษา นางสาวพัชรี ฉายกาญจนไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 45010524
นางสาวพิณิณี ดันดีวีระวงศ์ รหัสนักศึกษา 45010550

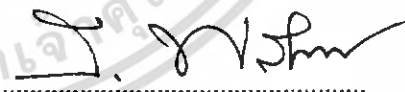
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์
ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2548

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ผศ.ไพศาล สิทธิโยภาสกุล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาของโครงข่ายการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบการสื่อสารส่วนบุคคล
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพัชรี ลายกาญจน์ไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 45010524 นางสาวพิสิณี ดันดีวีระวงศ์ รหัสนักศึกษา 45010550
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

ในโครงงานนี้ได้ศึกษาถึงโครงข่ายแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband) สำหรับระบบการสื่อสารส่วนบุคคล การสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน และมีประโยชน์อย่างมากในการรับ-ส่งข่าวสารที่มีความเร็วสูงดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง ในการศึกษานี้เราได้ประเมินโครงข่ายไร้สายระยะสั้นที่มีย่านความถี่ตั้งแต่ 3.1-10.6 GHz นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวัดทดสอบได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของการแพร่กระจายช่องสัญญาณ โดยการประยุกต์ใช้สูตรของ Friis และทางด้านรับได้ใช้ Matched filter ด้วยเพื่อให้ได้ค่า SNR ที่สูงที่สุด จากการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยและออกแบบของระบบไร้สายแถบความถี่กว้างยิ่ง

Thesis Title	A study of Ultra Wideband Transmission Network for Personal Communication	
Student	Miss Patcharee Laikanchanapaiboon	ID 45010524
	Miss Pisinee Tantiweerawong	ID 45010550
Advisor	Mr. Sathaporn Promwong Asst.Prof. Paisarn Sidhiyopasakul	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2005	

ABSTRACT

A purpose of this project is to research about Ultra Wideband for personal communication system. Nowadays Wireless communication is widely used efficiently in high-speed data transferring method. So the factors that effected Ultra Wideband system are required to known. In this research observes on small distances Wireless system in range of 3.1 - 10.6 GHz. Moreover the obtained results can describe the properties of channel radiation by Friis's theory. In receiver part used Matched filter to get maximum SNR. Results of this research can be used in basically researching and designing of Ultra Wideband system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้ หากขาดความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ ในหลาย ๆ ฝ่ายดังนั้นทางกลุ่มผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์, ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล และ ผศ. พิชญสุพรรณกุล ที่คอยให้ความช่วยเหลือทางด้านสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งยังให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตั้งแต่การทำการทดลองตลอดจนผลที่ได้ จนสำเร็จออกมาเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นางสาวพัชรี ลายกาญจนไพบูลย์

นางสาวพิสิณี ตันติวีระวงศ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวคิดและที่มา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 สถาปัตยกรรมของระบบ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 อัลตราไวด์แบน	7
2.2 ประวัติของ Ultra Wideband (UWB)	7
2.3 Ultra wideband มาตรฐานไร้สายคู่แข่ง Bluetooth	9
2.4 ระบบโครงข่ายแบบต่างๆ	11
2.4.1 LAN : Local Area Network	13
2.4.2 MAN : Metropolitan Area Network	13
2.4.3 WAN : Wide Area Network	13
2.4.4 PAN : Personal Area Network	13
2.4.5 Wireless LAN	14
2.5 แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้	14
2.5 ข้อดีของ UWB	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 แบบแผนการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	17
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.3.1 การทดลองที่ 1	18
3.3.2 การทดลองที่ 2	21
3.3.3 การทดลองที่ 3	23
3.3.4 การทดลองที่ 4	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 Magnitude of Transmission Loss	29
4.1.1 การทดลองที่ 1	29
4.1.2 การทดลองที่ 2	31
4.1.3 การทดลองที่ 3	33
4.1.4 การทดลองที่ 4	34
4.2 Phase of Transmission Loss	36
4.2.1 การทดลองที่ 1	36
4.2.2 การทดลองที่ 2	38
4.2.3 การทดลองที่ 3	40
4.2.4 การทดลองที่ 4	41
4.3 UWB Transmission Loss	43
4.3.1 การทดลองที่ 1	43
4.3.2 การทดลองที่ 2	46
4.3.3 การทดลองที่ 3	49
4.3.4 การทดลองที่ 4	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 Power Delay Profile	53
4.4.1 การทดลองที่ 1	53
4.4.2 การทดลองที่ 2	57
4.4.3 การทดลองที่ 3	62
4.4.4 การทดลองที่ 4	64
4.5 Transmitted Waveform and Received Waveform	78
4.5.1 Transmitted Waveform	78
4.5.2 Received Waveform	79
4.5.2.1 การทดลองที่ 1	79
4.5.2.2 การทดลองที่ 2	81
4.5.2.3 การทดลองที่ 3	84
4.5.2.4 การทดลองที่ 4	85
4.5.3 รูปคลื่นที่รับได้ที่ดีที่สุด Optimum Received Waveform	88
4.5.3.1 การทดลองที่ 1	88
4.5.3.2 การทดลองที่ 2	93
4.5.3.3 การทดลองที่ 3	97
4.5.3.4 การทดลองที่ 4	99
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผล	106
5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการ	106
บรรณานุกรม	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1.1 องค์ประกอบหลัก ของระบบการทำงาน	3
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 4	
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)	5
รูปที่ 2.1 ลักษณะของระบบโครงข่ายไร้สายแบบต่างๆ	11
รูปที่ 3.1 สายอากาศใบโคนิคอลลที่ใช้ในการทดลอง	17
รูปที่ 3.2 การทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่น ไร้การสะท้อน ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	18
รูปที่ 3.3 การทดลองที่ 1 แบบมีแผ่น ไร้การสะท้อน ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	19
รูปที่ 3.4 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยวางแบบ directional pattern โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง	20
รูปที่ 3.5 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยวางแบบ directional pattern เมื่อมีแผ่น ไร้การสะท้อน วางตามจุดที่กำหนด โดยใช้ห้อง 1105 ของ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง	20
รูปที่ 3.6 การทดลองที่ 2 เมื่อมีคอมพิวเตอร์แบบปิดและเปิดเครื่อง ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	21
รูปที่ 3.7 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์แบบ directional pattern โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ในการทำการทดลอง	22
รูปที่ 3.8 การทดลองที่ 3 เมื่อมีคอมพิวเตอร์ทั้งด้านรับและส่ง ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	23
รูปที่ 3.9 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์ แบบOmnidirectional pattern ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง	24
รูปที่ 3.10 ระบบเน็ตเวิร์คที่ใช้ในการทดลองที่ 4 เมื่อปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.11 การทดลองที่ 4 เมื่อปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร	26
รูปที่ 3.12 แผงผังตำแหน่งการทดลองที่ 4 โดยทำการทดลองที่ห้อง 1008 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ	27
รูปที่ 4.1 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 เมื่อไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	30
รูปที่ 4.2 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 เมื่อมีแผ่นไร้การสะท้อน	30
รูปที่ 4.3 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	32
รูปที่ 4.4 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	32
รูปที่ 4.5 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	33
รูปที่ 4.6 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ รวมกันในกราฟเดียว	34
รูปที่ 4.7 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	35
รูปที่ 4.8 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	36
รูปที่ 4.9 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	37
รูปที่ 4.10 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	38
รูปที่ 4.11 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	39
รูปที่ 4.12 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	39
รูปที่ 4.13 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	40
รูปที่ 4.14 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ รวมกันในกราฟเดียว	41
รูปที่ 4.15 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	42
รูปที่ 4.16 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.17 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	44
รูปที่ 4.18 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	45
รูปที่ 4.19 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	46
รูปที่ 4.20 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	47
รูปที่ 4.21 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่องเปรียบเทียบกับ Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับ จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	48
รูปที่ 4.22 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	49
รูปที่ 4.23 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อทำการปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค	50
รูปที่ 4.24 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อทำการเปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค	51
รูปที่ 4.25 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเปิดเครื่องและปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค	52
รูปที่ 4.26 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	54
รูปที่ 4.27 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	54
รูปที่ 4.28 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	55
รูปที่ 4.29 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.30 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	56
รูปที่ 4.31 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	56
รูปที่ 4.32 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	58
รูปที่ 4.33 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	58
รูปที่ 4.34 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	59
รูปที่ 4.35 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	59
รูปที่ 4.36 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	60
รูปที่ 4.37 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	60
รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบ received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนและการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	61
รูปที่ 4.39 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	62
รูปที่ 4.40 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	63
รูปที่ 4.41 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับ จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ ทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	63
รูปที่ 4.42 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 1 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	64
รูปที่ 4.43 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 2 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.44 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 3 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	65
รูปที่ 4.45 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 4 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	66
รูปที่ 4.46 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 5 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	66
รูปที่ 4.47 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 6 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	67
รูปที่ 4.48 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 7 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	67
รูปที่ 4.49 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 8 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่องทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	68
รูปที่ 4.50 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 9 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	68
รูปที่ 4.51 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 10 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	69
รูปที่ 4.52 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 11 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง	69
รูปที่ 4.53 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อเทียบกับ free space โดยทำการเปิดเครื่อง	70
รูปที่ 4.54 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 โดยทำการเปิดเครื่อง	70
รูปที่ 4.55 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 1 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	71
รูปที่ 4.56 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 2 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.57 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 3 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	72
รูปที่ 4.58 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 4 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	72
รูปที่ 4.59 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 5 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	73
รูปที่ 4.60 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 6 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	73
รูปที่ 4.61 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 7 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	74
รูปที่ 4.62 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 8 และเมื่อทำการปิดเครื่อง	74
รูปที่ 4.63 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 9 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	75
รูปที่ 4.64 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 10 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	75
รูปที่ 4.65 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 11 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง	76
รูปที่ 4.66 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อเทียบกับ free space โดยทำการปิดเครื่อง	76
รูปที่ 4.67 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 โดยทำการปิดเครื่อง	77
รูปที่ 4.68 Rectangular pulse ของสัญญาณ Input ใน Time domain	78
รูปที่ 4.69 Received Waveform ในมุมต่างๆ จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	79
รูปที่ 4.70 Received Waveform ในมุมต่างๆ จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.71 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	80
รูปที่ 4.72 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	81
รูปที่ 4.73 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบ ไม่เปิดเครื่อง	82
รูปที่ 4.74 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	82
รูปที่ 4.75 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	83
รูปที่ 4.76 Received Waveform ในมุมมองต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	83
รูปที่ 4.77 Received Waveform จากการทดลองที่ 3 ในแบบต่างๆ	84
รูปที่ 4.78 Received Waveform จากการทดลองที่ 3 ในแบบต่างๆ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	85
รูปที่ 4.79 Received Waveform ของเครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9 จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	86
รูปที่ 4.80 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9 จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	87
รูปที่ 4.81 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9 จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์	87
รูปที่ 4.82 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9 จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns	88
รูปที่ 4.83 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	89
รูปที่ 4.84 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.85 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน	90
รูปที่ 4.86 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	91
รูปที่ 4.87 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	91
รูปที่ 4.88 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน	92
รูปที่ 4.89 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	93
รูปที่ 4.90 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	94
รูปที่ 4.91 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง	94
รูปที่ 4.92 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	95
รูปที่ 4.93 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	95
รูปที่ 4.94 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง	96
รูปที่ 4.95 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	97
รูปที่ 4.96 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	98
รูปที่ 4.97 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ	98
รูปที่ 4.98 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 4 ของเครื่องหมายเลข 3, 4, 9 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 4.99 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์	101
รูปที่ 4.100 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์	102
รูปที่ 4.101 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 4 ของเครื่องหมายเลข 3, 4, 9 แบบเปิดคอมพิวเตอร์	103
รูปที่ 4.102 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดคอมพิวเตอร์	104
รูปที่ 4.103 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดคอมพิวเตอร์	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการทำงานของโปรเจก 1 และ 2	2
ตารางที่ 3.1 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2	22
ตารางที่ 3.2 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 3	24
ตารางที่ 3.3 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 4	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มา

ในปัจจุบันนี้ เป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร และคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญกับการจัดการข้อมูลข่าวสารต่างๆ รวมทั้งการส่งข้อมูลแบบต่างๆ และเพื่อความสะดวก การสื่อสารไร้สายจึงเป็นสิ่งที่น่าศึกษาและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น แต่เนื่องจากการส่งข้อมูลข่าวสารในเน็ตเวิร์ค (Network) ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบไร้สายในปัจจุบันยังมีความเร็วที่ต่ำมากทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้ช้าและเสียเวลาเป็นอย่างมากก่อให้เกิดปัญหาตามมา

ดังนั้นเพื่อการสื่อสารแบบไร้สายที่มีความเร็วสูงซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการส่งข่าวสารจึงได้ทำการศึกษาการสื่อสารแบบไร้สายในโครงข่ายแบบแถบกว้างยิ่ง สำหรับระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบแถบความถี่กว้างยิ่ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในโครงงานนี้ได้ศึกษาถึงโครงข่ายแถบกว้างยิ่งหรืออัลตราไวด์แบนด์ (Ultra Wideband) สำหรับระบบการสื่อสารส่วนบุคคล ซึ่งจะทำการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบแถบกว้างยิ่ง และได้ประเมินโครงข่ายไร้สายระยะสั้นที่มีย่านความถี่ 3.1-10.6 จิกะเฮิรท์ (GHz) และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของการแพร่กระจายช่องสัญญาณเพื่อจะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาวิจัยและออกแบบของระบบ ไร้สายแถบความถี่กว้างยิ่ง

1.2 จุดประสงค์

- เพื่อศึกษาการสื่อสารใน โครงข่ายแบบแถบกว้างยิ่ง
- เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบแถบกว้างยิ่ง
- เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของการแพร่กระจายช่องสัญญาณ
- เพื่อพัฒนาเครือข่ายคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ให้สามารถรับส่งข้อมูลข่าวสารแบบไร้สาย โดยใช้โครงข่ายแบบแถบกว้างยิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทำการศึกษาการสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้การส่งสัญญาณแบบอัลตราไวด์แบนด์ และศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณ ระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยมีขอบเขตของงานดังนี้

- ศึกษาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารของอัลตราไวด์แบนด์
- ศึกษาและออกแบบการจำลอง เพื่อทำการวัดทดสอบผลกระทบของโครงข่ายคอมพิวเตอร์
- วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อการซิมูเลท (Simulation) สัญญาณในการส่งผ่านทรานซ์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer function) ที่ได้จากการวัดจริง

โดยแบ่งการทำงานดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการทำงานของ โปรเจก 1 และ 2

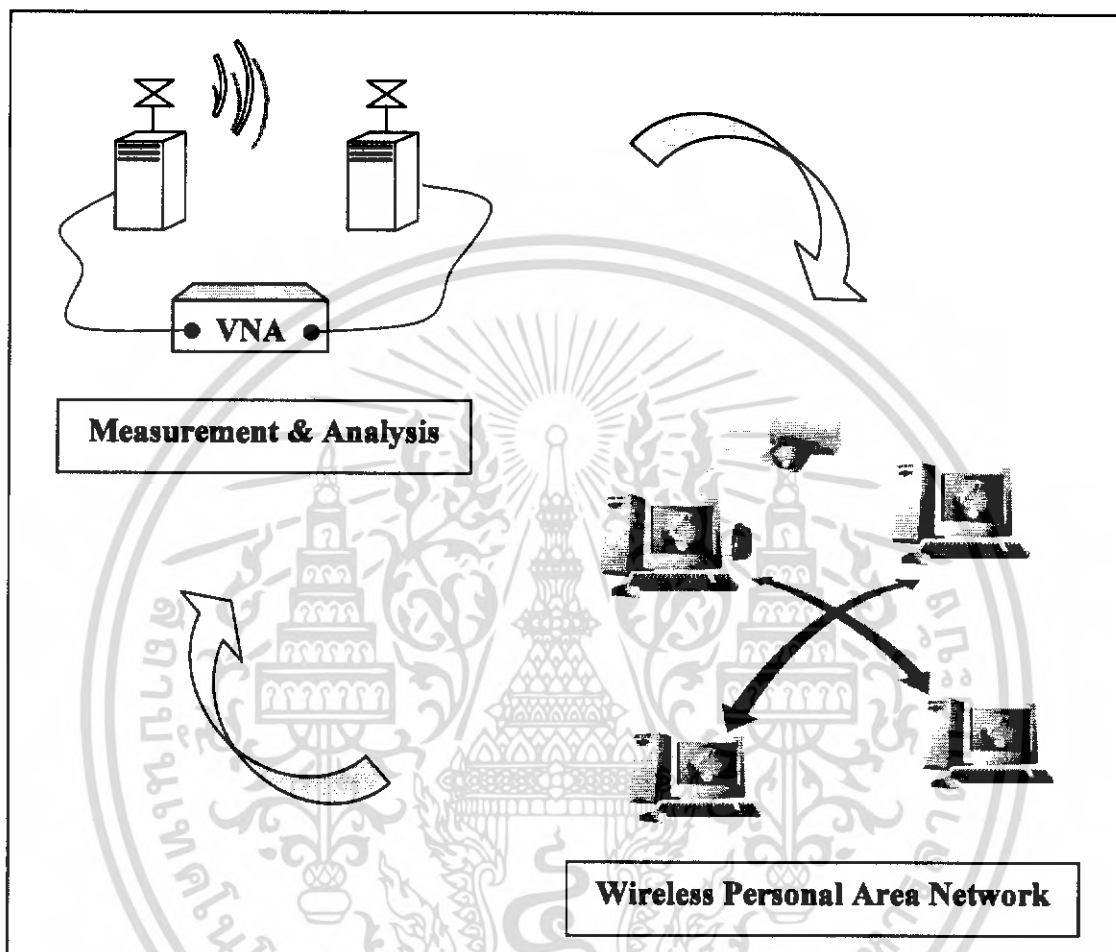
โปรเจก 1	โปรเจก 2
<ul style="list-style-type: none"> - ศึกษา - ออกแบบการทดลอง ทั้งหมด - ทำการทดลองที่ 1 - ทำการทดลองที่ 2 - ทำการทดลองที่ 3 - วิเคราะห์ผลการทดลอง - สรุปผลการทดลอง 	<ul style="list-style-type: none"> - ศึกษา - ทำการทดลองที่ 4 - วิเคราะห์ผลการทดลอง - สรุปผลการทดลอง - สรุปแนวทางแก้ไขและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

ในโปรเจก 1 ทำการศึกษา เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณลักษณะของระบบอัลตราไวด์แบนด์และคุณลักษณะของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง และศึกษาทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง แล้วจึงออกแบบการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลองหลักๆ และทำการทดลองที่ 1, 2, และ3 พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลและสรุปในส่วนที่ทำการทดลองนี้

โปรเจก 2 ทำการศึกษาทฤษฎีที่นำมาวิเคราะห์การทดลองในการทดลองที่ 4 และลงมือทำการทดลองและวิเคราะห์ผลของการทดลองที่ 4 และการทดลองที่ 1, 2, และ3 ในส่วนอื่นๆ สรุปผล พร้อมทั้งสรุปแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเพื่อการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

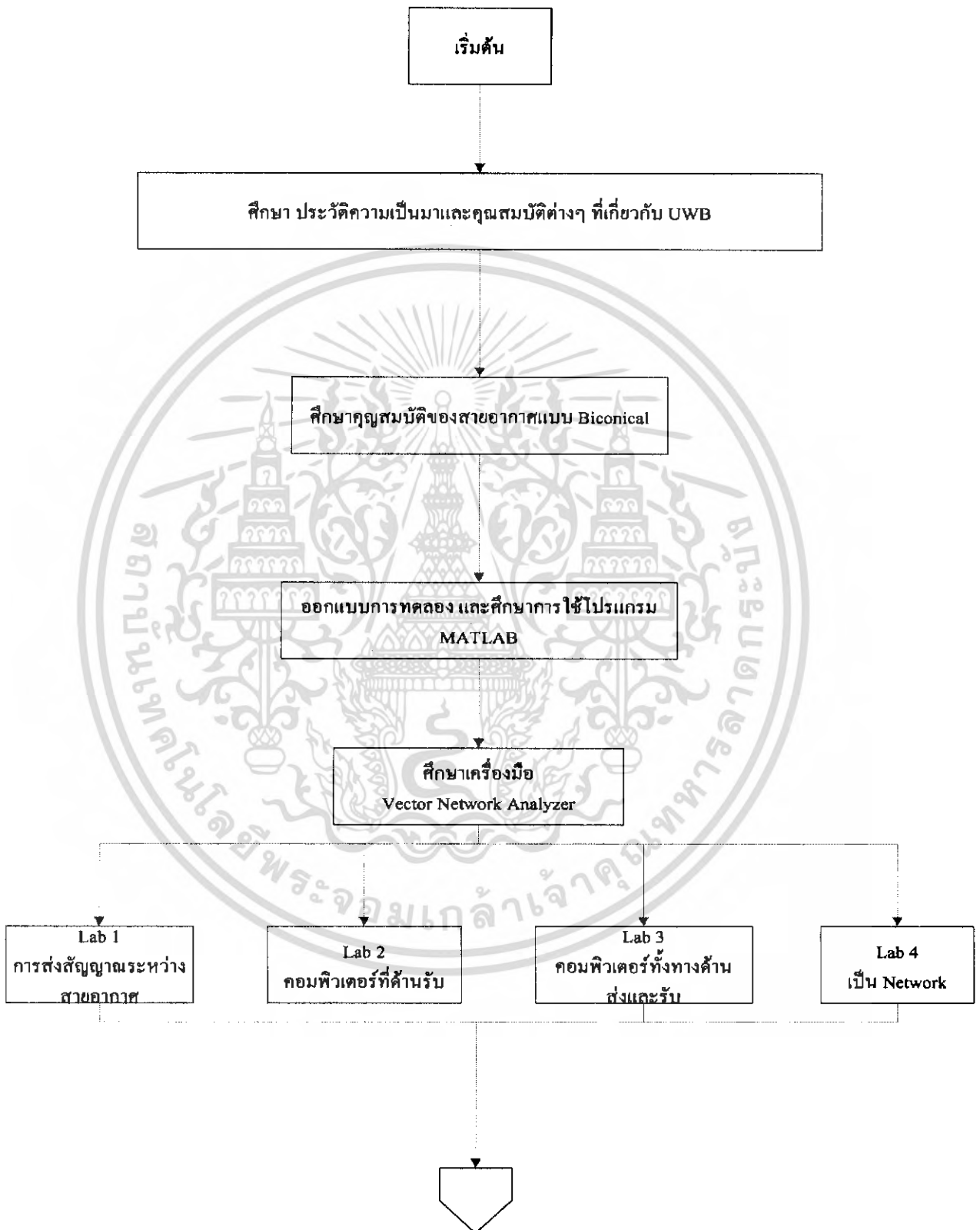
1.4 สถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบหลัก ของระบบการทำงาน

ในส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาระบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วยอัลตราไวด์แบนด์ โดยจะศึกษา คุณสมบัติต่างๆ และทำการทดลองหาทรานซ์เฟอร์ฟังก์ชัน ในการส่งสัญญาณ พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลต่างๆ ที่เกิดขึ้น และในส่วนที่สองเป็นการศึกษาระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบเน็ตเวิร์คด้วยอัลตราไวด์แบนด์ และวิเคราะห์หาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น และแนวทางในการแก้ไข เพื่อการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินโครงการเริ่มจาก การศึกษาประวัติความเป็นมา, ทฤษฎีและคุณสมบัติของการสื่อสารแบบอัลตราไวด์แบนด์ และศึกษาคุณสมบัติของสสายอากาศแบบไบโคเนคคอลซึ่งใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบ ทำการทดลอง และวิเคราะห์ผลต่อไป หลังจากนั้นทำการออกแบบการทดลองให้ตรงตามจุดประสงค์ของโครงการ โดยในการทดลองได้แบ่งออกเป็น 4 การทดลองหลัก คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศของภาครับและภาคส่ง, การทดลองที่ 2 ศึกษาการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศของภาครับและภาคส่ง โดยที่สายอากาศที่ภาครับยึดติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือพีซี (PC), การทดลองที่ 3 ศึกษาการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศของภาครับและภาคส่ง โดยที่สายอากาศที่ภาครับและภาคส่งยึดติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์, และการทดลองที่ 4 ศึกษาการส่งสัญญาณเป็นระบบเน็ตเวิร์ค โดยที่สายอากาศด้านภาครับและภาคส่งยึดติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากออกแบบการทดลองได้แล้วจึงทำการศึกษาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำการทดลอง แล้วทำการทดลองตามขั้นตอนที่วางไว้ ในขั้นตอนต่อไป เป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จากการทดลอง และขมิมูลทผ่าน โปรแกรม MATLAB และสรุปผล และข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ไข หรือพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 อัลตราไวด์แบนด์

Ultra Wideband เป็นลักษณะหนึ่งของคลื่นวิทยุที่มีแบนวิธ (bandwidth) ของสเปกตรัมมากกว่า 25% ของความถี่ศูนย์กลางที่ใช้หรือมี แบนวิธ มากกว่า 500 MHz

Ultra Wideband ใช้วิธีสร้างพัลส์ที่มีช่วงความถี่สั้นมากซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ โดยความถี่ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และมีความกว้างพัลส์ประมาณ 50-100 ps ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงแคบจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีขนาดกว้างและมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังที่ต่ำเมื่อใช้อัตราความเร็วของการสื่อสารที่พอเหมาะด้วยเหตุนี้จึงไม่เกิดการรบกวนกับระบบอื่นๆที่ใช้ย่านความถี่อื่นๆ อัตราเร็วของพัลส์นั้นจะถูกกำหนดโดยปัจจัยอื่นต่างๆ ในการประยุกต์ใช้งานต่างๆ นั้นแต่ละพัลส์จะมีข้อมูลอยู่ 1 บิต ในส่วนของอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะมีมากถึง 500 Mb/s โดยที่เครื่องส่งยังมีค่า duty cycle ที่ต่ำอยู่จึงทำให้เครื่องส่งสามารถทำงานในเวลาและบริเวณเดียวกันได้ โดยเกิดการรบกวนในระดับที่ยอมรับได้

พัลส์ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นในโดยทั่วไปจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ขึ้นมา อันดับแรกคือสเปกตรัมที่ใช้งานนั้นจะมีความกว้างมากและค่าสูงสุดของความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังอาจจะไปรบกวนกับระบบที่ใช้แบนด์แคบได้

ปัญหาต่อมาคือสัญญาณที่มาจากเครื่องส่งหลายตัวนั้นอาจเกิดการซ้อนทับหรือหักล้างกันได้ที่เครื่องรับดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาทั้งสองอย่างนี้ Pseudo random time hopping จึงได้ทำมาใช้

เทคโนโลยี UWB เป็นที่รู้จักกันดีในด้านการใช้งานทางการสื่อสารและเรดาร์เนื่องจากการมีความต้านทานต่อผลกระทบจากมัลติพาท (multipath), มีค่าทราฟฟิค (throughput) สูง, มีความแม่นยำในด้านระยะทาง นอกจากนี้มีโอกาสน้อยที่จะถูกขวางกั้นและตรวจจับได้ (low probability of intercept and detection, PLI/D)

2.2 ประวัติของ Ultra Wideband (UWB)

จุดกำเนิดของ Ultra Wideband (UWB) ได้เกิดมาจากการทำงานในโดเมน (time domain) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มขึ้นในปี 1962 เพื่อใช้อธิบายคุณสมบัติของเครือข่ายไมโครเวฟผ่านทางคุณลักษณะพิเศษในการตอบสนองกับอิมพัลส์ (impulse) ซึ่งมีหลักการที่ง่าย ระบบไทม์อิน

วาเรียน (time-invariant) (LTI) เป็นระบบที่จะจัดค่าเฉลี่ยปกติของขอบเขตของการตอบสนอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ (แอมพลิจูดและการวัดเฟสต่อความถี่) ระบบ LTI ได้ให้ทางเลือกใหม่ในการอธิบายโดยใช้การตอบสนองต่อการกระตุ้น โดยอิมพัลส์ เรียกว่า impulse response $h(t)$ โดยรายละเอียดของเอาต์พุต $y(t)$ (output) เช่นนั้นแล้วระบบ อินพุต $x(t)$ (input) จะทำการตัดสินใจโดยใช้หลักการของ convolution integral ดังสมการ

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u)x(t-u)du$$

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาขึ้นของเทคนิคสำหรับเครื่องกำเนิดพัลส์สัญญาณ sub nanosecond (base band) เพื่อสร้างการกระตุ้นอิมพัลส์ (impulse) โดยปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้สามารถทำการวัด และตรวจสอบค่าของ impulse response ในระบบไมโครเวฟได้

เทคนิคในการวัดค่าอิมพัลส์ได้ถูกประยุกต์มาเพื่อที่จะออกแบบ Wideband เครื่องมือของเสาอากาศที่ใช้ในการกระจายสัญญาณ เป็นสาเหตุที่ทำให้พัลส์เรดาร์ (pulse radar) และระบบการติดต่อสื่อสารสามารถพัฒนาได้ด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกัน ขณะที่ Sperry Research Center ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์วิจัยสเปอริ (Sperry Rand Corporation Ross) ได้ทำการประยุกต์เทคนิคเหล่านี้ลงในแอปพลิเคชันต่าง ๆ ภายในเรดาร์และการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการประดิษฐ์เครื่องรับพัลส์ที่มีขนาดแคบและมีความสูงนี้ได้ช่วยส่งเสริมให้ระบบมีการพัฒนาที่รวดเร็วยิ่งขึ้นจากนั้นในปี 1973 ศูนย์วิจัยสเปอริ ก็ได้รับการตัดสินใจให้เป็นผู้จัดสิทธิบัตรการสื่อสารแบบ Ultra Wideband เป็นรายแรก

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 80 เทคโนโลยีนี้ได้รับการอ้างอิงในนามของ “เบสแบนด์ (base band)”, “carrier-free” หรือ “อิมพัลส์” ส่วนคำว่า Ultra Wideband นั้นที่จริงแล้วเพิ่งเริ่มมีการใช้เมื่อประมาณปี 1989 โดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา ซึ่งในช่วงระยะเวลานั้น ทฤษฎี, เทคนิค และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับ Ultra Wideband ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากแล้ว โดยในปี 1983 ศูนย์วิจัยสเปอริได้จดสิทธิบัตรไปแล้วมากกว่า 50 ใบ ในขอบเขตที่ครอบคลุมไปถึงการสร้างพัลส์และวิธีการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การติดต่อสื่อสาร, เรดาร์, ระบบกันชนรถยนต์, ระบบค้นหาตำแหน่ง และการวัดความสูงของของเหลว เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ มีสิทธิบัตรจำนวนมากกว่า 100 ฉบับ, รายงานการวิจัยต่าง ๆ หนังสือและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีของ Ultra Wideband ไว้มากมาย ซึ่งถูกรวบรวมไว้โดยดอกเตอร์โรเบิร์ต เฟลมมิง (Dr. Robert Fleming) ของบริษัท AEther Wire & Location, Inc. โดยสามารถค้นหาข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บไซต์ (www.aetherwire.com/CDROM/Welcome.html) ซึ่งจะมีทั้งบทคัดย่อต่าง ๆ โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลการวิจัยต่าง ๆ ไว้มากมายที่เกี่ยวกับเทคโนโลยี Ultra Wideband ย้อนหลังไปในช่วง 38 ปีที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการตระหนักถึงความสำคัญของ Low probability of Intercept and Detection (LPI/D) ของระบบ สื่อสาร รอส (Ross) จึงได้ร่วมมือกับ โรเบิร์ต ฟอนตানা (Robert Fontana)(ประธานของ MSSSI) พัฒนา LPI/D ขึ้นโดยได้รับเงินทุนจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกาในปี 1986 และโครงการนี้ได้สิ้นสุดลงในปี 1987 แต่ รอสและฟอนตานาก็ยังคงทำงานวิจัยเรื่องระบบการสื่อสารและเรดาร์ต่อไปอีกเป็นเวลากว่า 11 ปี ในสหรัฐอเมริกาช่วงก่อนปี 1994 งานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ Ultra Wideband โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสารโดยใช้อิมพัลส์จะถูกดำเนินการภายใต้การควบคุมของรัฐบาล แต่หลังจากนั้นก็ยังมีงานวิจัยจำนวนมากที่ปฏิบัติโดยปราศจากข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยี Ultra Wideband นั้นเป็นไปอย่างแพร่หลายและมีความรวดเร็วมาก

2.3 Ultra wideband มาตรฐานไร้สายคู่แข่ง Bluetooth

เนื่องด้วยบริษัทอินเทล (Intel), บริษัทโซนี่ (Sony) และอีกหลายบริษัทเทคโนโลยีชั้นนำ ได้เข้าร่วมประชุมกันเพื่อคัดเลือกเทคโนโลยีสำหรับมาตรฐานใหม่ คู่แข่งโดยตรงของบลูทูธ (Bluetooth) จากข้อเสนอจำนวนมากที่บรรดาธุรกิจเครือข่ายไร้สายยื่นเสนอมานี้ ตามรายงานบนเว็บไซต์ซีเน็ด เมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2003

เทคโนโลยีหนึ่งที่มีการพิจารณากันคือ เทคโนโลยีที่มีชื่อว่า “สเนคกี้เวฟ” (sneaky wave) อันเป็นผลงานการพัฒนาของทหาร ซึ่งเกรงกันว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่มาแรงในอนาคต บริษัทฟิลิปส์ (Philips), บริษัทเท็กซัสอินสตรูเมนต์ส หรือทีไอ (Texas Instruments; TI) และบริษัทซัมซุง (Samsung) ก็เป็นหนึ่งในคณะทำงานร่วมพิจารณามาตรฐาน IEEE 802.15 (IEEE 802.15 Working Group) สำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล หรือดับเบิลยูแพน (WPAN) ซึ่งมีการประชุมกันในสัปดาห์นี้ด้วยเช่นกัน

เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลนี้ หมายถึงเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ตัวอย่างเช่น การซิงค์ข้อมูลระหว่างเครื่องพีดีเอกับเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี หรือการเชื่อมต่อทีวีกับเซตท็อปบล็อกซ์ของเคเบิลทีวี เทคโนโลยีที่ได้รับเลือกจะได้ชื่ออย่างเป็นทางการว่า “IEEE 802.15.3a” ซึ่งคาดว่าจะทำรายได้มหาศาลระดับ 1.39 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (ประมาณ 6 หมื่นล้านบาท) ในปี 2007 ตามการรายงานของซีเน็ดโดยอ้างถึงประมาณการณธ์ของบริษัทเอบีไอ (Allied Business Intelligence; ABI) ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยตลาดเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม แม้จะยังไม่มี ความชัดเจนในตัว “IEEE 802.15.3a” แต่ที่ค่อนข้างแน่นอนแล้วก็คือ เทคโนโลยีที่พัฒนาโดย กองทัพสหรัฐฯ ชื่อ “อัลตราไวด์แบนด์” หรือ “ยูดับเบิลยูบี” (Ultra Wideband; UWB) ซึ่ง 95% ของข้อเสนอที่ขึ้นเข้ามาเลือกใช้เทคนิคนี้ ตามคำกล่าวของ เบน แมนนี่ (Ben Manny) ผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีไร้สาย บริษัทอินเทล ผู้ให้การสนับสนุนเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์กล่าวว่า มัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกกว่าและกินพลังงานน้อยกว่าบลูทูธ ทั้งยังมีความเร็วสูงกว่าบลูทูธประมาณ 100 เท่า ซึ่งเหมาะสำหรับอุปกรณ์ไฮมอนด์เทรนเมนต์ด้วย บลูทูธ (Bluetooth) คือเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล และเป็นที่ยอมรับของผู้ผลิตโทรศัพท์มือถือและพีซีชั้นนำทั่วโลก รวมถึงบริษัทไมโครซอฟท์ (Microsoft) และบริษัทแอปเปิลคอมพิวเตอร์ (Apple Computer) แต่ผู้ไม่เห็นด้วยกับเทคโนโลยีนี้แย้งว่า เพราะอัลตราไวด์แบนด์เป็นช่องสัญญาณสื่อสารความถี่กว้าง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้จะไปกวนความถี่ในช่องสัญญาณอื่นที่อยู่ใกล้ๆ และกำลังใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น ไว-ไฟ (Wi-Fi)

“อัลตราไวด์แบนด์” หรือ “สแน็คกีเวฟ” เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นภายในกองทัพสหรัฐฯ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สื่อสารระยะสั้นแบบไร้สายและขจัดปัญหาการถูกดักฟัง คลื่นวิทยุส่วนใหญ่จะเป็นคลื่นความถี่ชนิดแคร์โรว์แบนด์ (Narrow Band) ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือที่ใช้ช่องสัญญาณในช่วง 100MHz แต่อัลตราไวด์แบนด์จะสูงกว่านั้นหลายสิบหลายพันเท่า บางบริษัทยอมรับว่า อัลตราไวด์แบนด์มีช่องสัญญาณที่กว้างมากๆ นั่นเป็นธรรมชาติของมัน หลายรายแก้ไขโดยการขอช่องความถี่อัลตราไวด์แบนด์ออกเป็นช่องสัญญาณเล็กๆ ซึ่งแต่ละช่องจะมีความถี่ประมาณ 1,000MHz ตัวอย่างเช่น บริษัทเอ็กซ์ตรีมสเปกตรัม (XtremeSpectrum) ที่ขอช่องสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ออกเป็น 2 ช่องสัญญาณย่อย ซึ่งวิธีนี้ได้รับการสนับสนุนจากโมโตโรลา (Motorola) ด้วย ตามการเปิดเผยของตัวแทนจากบริษัทเอ็กซ์ตรีมสเปกตรัม ขณะที่บริษัทอื่น เช่น อินเทลขอออกเป็น 14 ช่องสัญญาณ อัลตราไวด์แบนด์ทั้งสองชนิดจะมีความเร็วในการทำงานเท่ากันที่ 100Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) และมีรัศมีทำการ 10 เมตร

Ultra wideband เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่ที่ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มพันธมิตร MBOA (Multi-Band OFDM Alliance) ที่ได้เริ่มก่อตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน 2003 และปัจจุบันมีสมาชิกมากกว่า 50 ราย นำโดย Texas Instruments (TI), Intel, Samsung Electronics, Mitsubishi Electric, Philips, Nokia, Sony,

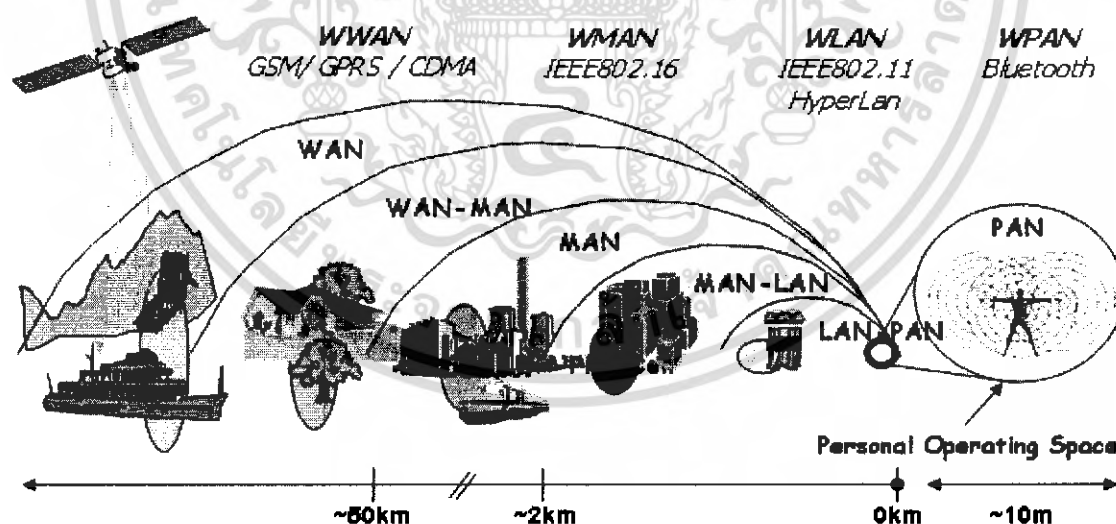
Infinion Technologies เป็นต้น โดยเทคโนโลยีดังกล่าวจะแตกต่างจากเทคโนโลยีไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น Wi-Fi หรือ Bluetooth ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ขณะที่ Ultra wideband จะเป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลซ (Pulse) สั้นๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ ภายในระยะทาง 10 เมตร Ultra wideband ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า Personal Area Network (PAN) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลายและนอกเหนือจากคุณสมบัติข้างต้นแล้ว Ultra wideband ยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดย FCC (Federal Communications Commission) หรือ คณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา ตั้งความหวังไว้ว่า Ultra wideband จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบัน จะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุด และจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ ก็จะมีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปมากขึ้นด้วย

2.4 ระบบโครงข่ายแบบต่างๆ

การหาเส้นทางเดินของข้อมูลบนระบบเครือข่ายจะถูกกำหนดขึ้นมาโดยประเภทของเครือข่าย และ Software ที่นำมาใช้ควบคุม ซึ่งจะต้องมี Program ที่ทำหน้าที่ในการ routing (การค้นหาเส้นทาง) ซึ่งการค้นหาเส้นทางนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การค้นหาที่ Node ศูนย์กลาง และการค้นหาที่ตัว Node เอง ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลเส้นทางจะถูกเก็บไว้ในตารางเส้นทาง ซึ่งจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับที่อยู่ และเส้นทางที่จะไป Node นั้น ๆ รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ เช่น เส้นทางเลือกในกรณีที่เส้นทางหลักใช้งานไม่ได้ รวมถึงเร็วในการส่งข้อมูลของเส้นเชื่อม (Path) ระหว่าง Node ต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 ลักษณะของระบบโครงข่ายไร้สายแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการค้นหาจาก Node ศูนย์กลาง (Centralized Routing) จะกำหนดให้ Node หนึ่งทำหน้าที่ ในการเลือกเส้นทางในการเคลื่อนข้อมูล (ทำหน้าที่เป็น Network Routing Manager) และสำหรับ Node ที่เหลือจะรายงานข่าวเกี่ยวกับสถานการณ์ทำงานของตนเองเช่น ปริมาณข้อมูลที่ได้รับมา ปริมาณข้อมูล ที่ส่งออก เป็นระยะ ๆ ดังนั้นจึงทำให้ Node ศูนย์กลางนั้นทราบว่าส่วนใดในระบบฯ มีการใช้งานมากเกินไป หรือน้อยเกินไปหรือเปล่า สำหรับข้อเสียของวิธีนี้อยู่ตรงที่ถ้าตำแหน่ง (สถานที่ ๆ ติดตั้งใช้งานจริง) ของ Node ศูนย์กลางไม่อยู่ตรงกลางระบบแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทาง และสถานการณ์ทำงาน ที่อยู่อีกฟากหนึ่ง จะต้องใช้เวลาพอสมควรในการรายงานผล ซึ่งระยะเวลาที่ช้าเกินไปนี้ทำให้ข้อมูล ในตารางเส้นทางไม่ สอดคล้อง กับความจริงที่เกิดขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพ ของระบบฯ จะลดลง และอีกอย่างถ้า Node ศูนย์กลางเสีย หรือใช้งานไม่ได้ Node อื่นในระบบฯ จะไม่สามารถค้นหาเส้นทางได้

สำหรับอีกวิธีหนึ่งคือ การค้นหาเส้นทางที่ตัว Node เอง (Distributed Routing) จะมีการ กำหนด ให้แต่ละ Node จัดการเก็บตารางเส้นทางไว้เสียที่ตัวเอง ซึ่งแต่ละ Node นั้นมีหน้าที่ส่ง ข้อมูล สถานการณ์ทำงานแบบเดียวกับวิธีศูนย์กลาง ไปยัง Node ข้างเคียงของตัวเองทุก Node เนื่องจากจำนวน Node ข้างเคียงนั้นมีจำนวนอยู่ไม่มากนักทำให้แต่ละ Node สามารถปรับปรุงข้อมูล ให้มีความทันสมัยได้ อยู่ตลอดเวลา ประกอบกับเวลาเกิดปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการค้นหา เส้นทางของ Node อื่น

นอกจากในการค้นหาเส้นทางเดินของข้อมูลแล้วนั้น ส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการ ต่อเชื่อมระบบเครือข่าย ซึ่งมีอยู่สิ่งหนึ่งที่ถือว่าเป็นสำหรับการกำหนดประเภทของระบบ เครือข่ายคือ การพิจารณาระบบทางการ สื่อสารระหว่างผู้ส่ง และผู้รับข้อมูล ซึ่งจะแบ่งได้ออกเป็น หลายประเภทดังนี้

2.4.1 LAN : Local Area Network หมายถึงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เป็นของกลุ่ม ผู้ใช้เล็ก ๆ กลุ่มหนึ่ง ปกติแล้วจะเป็นเครือข่ายที่มีขอบเขตอยู่ภายในอาคารเดียวกัน หรือกลุ่มอาคาร ที่ติดกัน สำหรับระยะทางน่าจะไม่เกิน 2-3 กิโลเมตร สำหรับ LAN นั้นจะถูกจำกัดด้วยขนาด ซึ่งก็คือจำนวน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันนั้นจะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล ล่วงหน้า และใกล้เคียง กับความจริงมาก สำหรับ Topology ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลนั้นโดยปกติจะเป็นเพียงสาย Cable เพียงเส้นเดียว ซึ่งจะเชื่อมต่อระบบเข้าไว้ด้วยกัน มีความเร็วอยู่ที่ 10 Mbps หรือ 100 Mbps

2.4.2 MAN : Metropolitan Area Network โดยพื้นฐานแล้ว MAN จะมีลักษณะคล้ายกันกับ LAN เพียงแต่ต่างกันว่ามีความใหญ่กว่าเท่านั้นเอง ซึ่งการเชื่อมต่อระบบแบบวิธีนี้อาจจะเชื่อมต่อการสื่อสาร ของสาขาหลาย ๆ แห่งที่อยู่ภายในเขตเมืองเดียวกัน หรืออาจจะครอบคลุมหลายเมืองที่อยู่ใกล้กัน ทั้งนี้ระบบ MAN มีขีดความสามารถในการให้บริการรับส่งข้อมูล และโทรศัพท์ไปพร้อมกันได้ ด้วยระบบนี้จะมีสาย Cable เพียงหนึ่งหรือ สองเส้นโดยไม่มีอุปกรณ์สลับช่องสื่อสาร ซึ่งทำหน้าที่คอยเก็บสัญญาณไว้ภายในหรือ ปล่อย สัญญาณออกไปสู่ระบบอื่นโดยการส่งข้อมูลนั้น Bus แต่ละเส้นจะทำหน้าที่รับส่ง ข้อมูลไปทางทิศ เดียวเท่านั้น

2.4.3 WAN : Wide Area Network ระบบเครือข่ายวิธีนี้เป็นการขยายเขตการเชื่อมต่อครอบคลุมไป ที่พื้นที่ระดับภูมิภาค เช่น ครอบคลุมทั้งภายในของประเทศไทย แต่อาจจะหมายถึงบริเวณที่กว้างกว่านี้ก็ได้ เช่น เขตพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทั้งหมดก็ได้ ระบบนี้จะถูกควบคุม และ บริการโดยคอมพิวเตอร์หลัก ที่เรียกว่า Host ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับ Subnet (เครือข่ายย่อย) ทั้งหมด และให้บริการรับส่งข้อมูลระหว่าง Host ต่าง ๆ ในระบบ WAN นี้จะประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 อย่างคือ สายสื่อสาร (Transmission Lines) ซึ่งใช้เป็นตัวในการส่งสัญญาณจากเครื่องหนึ่ง ไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และอีกอย่างคืออุปกรณ์ สลับช่อง สื่อสาร (Switching Elements) จะทำหน้าที่เสมือนกับอุปกรณ์ สลับช่องสื่อสาร ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ นั่นเอง

2.4.4 PAN : Personal Area Network ระบบเครือข่ายนี้ เป็น “ เครือข่ายเฉพาะบุคคล ” มีหลักการ ทำงานคือ ผู้ใช้เพียงพกอุปกรณ์รับส่งสัญญาณพิเศษขนาดเล็กไว้กับตัวก็สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้เลย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะส่งกระแสไฟฟ้าขนาดอ่อนมาก ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิด Electric Fields (สนามไฟฟ้า) สำหรับความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะเร็วได้ถึง 2400 Bps ซึ่งระบบเครือข่าย PAN นี้เป็นต้นกำเนิด ให้เกิดการนำเอาไปประยุกต์ใช้มากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ Pocket PC เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์พวกนี้ จะใช้วิธีการสื่อสารที่เรียกว่า WPAN (Wireless Personal Area Network) ซึ่งถือเป็นแขนงหนึ่งของ PAN โดยหลักการทำงานแทนที่จะใช้ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในร่างกายเราเป็นตัว สื่อ ในการรับส่งข้อมูล ก็เปลี่ยนไปใช้คลื่นวิทยุที่มีระยะทำการสั้นแทน บางครั้งเราอาจจะรู้จัก WPAN ในชื่อของ Bluetooth (Bluetooth เป็นตัวอย่างเทคโนโลยีที่ใช้ WPAN) ซึ่ง WPAN มีระยะทำการ 1 เมตรถึง 10 เมตร และมีความเร็วไม่เกิน 1 Mbps

2.4.5 Wireless LAN เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กไม่ว่าจะเป็น Laptop หรือ Notebook หรือ Personal Digital Assistant : PDA ต่างก็ได้รับความนิยมอย่างสูง ซึ่งการติดต่อ หรือการเชื่อมต่อ โดยผ่าน สายโทรศัพท์ หรือเคเบิลอื่น ๆ สามารถทำได้แต่ไม่มีความคล่องตัว เพียงพอเนื่องจากมีข้อจำกัด อยู่ที่ว่าต้อง ใช้สายในการสื่อสาร ดังนั้นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) จึงทวีความสำคัญ ขึ้นเป็นลำดับเนื่องจากอำนวยความสะดวกสบายในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนย้ายจุดหรือตำแหน่ง ของเครื่องคอมพิวเตอร์ การนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาต่อเชื่อมแบบ Wireless จะทำให้กลายเป็นระบบห้องทำงานเคลื่อนที่ (Mobile Computing) ซึ่งทั้งสองคำนี้มีความหมายใกล้เคียงกันมากแต่ต่างกันตรงที่ Wireless นั้น ใช้แทนเครือข่ายสาย Cable ในอาคาร และสำหรับ Mobile นั้นไม่ใช่ ถึงแม้ว่า Wireless จะมีความ คล่องตัวแต่ยังมีจุดอ่อนอยู่ก็คือ

- อัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 1-2 Mbps ซึ่งเท่ากับ 10-20 % ของอัตรา Cable แบบแยะที่สุด
- อัตราการเกิดข้อผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์สูง
- การส่งข้อมูลของเครื่องที่อยู่ใกล้กันจะก่อนให้เกิดการรบกวนกัน

2.5 แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่นำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้

เทคโนโลยี Ultra Wideband (UWB) คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วง 3.1-10.6 GHz และมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 Mb/s ภายในรัศมี 10 M และ 200 Mb/s ภายในรัศมี 4 M จะเห็นได้ว่า UWB สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำ UWB มาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด (Mode) เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมด อัตราการส่งข้อมูลสูง (High Data Rate :HDR) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mb/s ในระยะใกล้ อีก โหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นตำแหน่ง (Low Data Rate And Location Tracking : LDR/LT) หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย สามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นภาพว่า ในอนาคตเราสามารถนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน เป็นแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้อย่างไรบ้าง ดังนั้นเราจึงแบ่งแอปพลิเคชันที่ใช้ในอุตสาหกรรมและการบริการ เป็นดังนี้

- โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (High -Data-Rate-Wireless Personal Area Network: HOR-WPAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ชั้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 100-150 Mb/s ภายในระยะ 1 ถึง 10 M โทโปโลยีหลักที่ใช้ในการสื่อสารเป็นแบบ Peer-To-Peer และใช้ Relay/ Bridge ในการเชื่อมโยงกับโครงข่ายภายนอกซึ่งจะเป็นแบบไร้สายหรือใช้สายเคเบิลก็ได้

- การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย (Wireless Ethernet Interface Link : WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (HDR) ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1Gb/s, 2.5 Gb/s) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 M WEIL เกิดขึ้นได้มาจากความต้องการของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการให้การเชื่อมโยงโครงข่ายอีเทอร์เน็ตที่ใช้สายเคเบิล เปลี่ยนไปใช้แบบไร้สายแทน และจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้การส่งสัญญาณวิดีโอแบบไร้สายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับฉาก LCD มีคุณภาพสูง (Wireless Digital Video Interface)

- โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (Intelligent Wireless Area Network: IWAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูง ที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไป ภายในระยะ 30 M

- โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (Outdoor Peer-to-Peer Network: OPPN)

เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร UWB ที่อยู่บริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาดการให้บริการที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ สำหรับ เครื่อง PDA ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างร้านให้บริการข้อมูลดิจิทัล ความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความ หนังสือพิมพ์, รูปภาพ, ให้บริการเช่าม้วนเทป วีดีโอ, วีซีดี, ดีวีดี อดโนมัติ เป็นต้น

- โครงข่ายเซ็นเซอร์ การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ (Sensor, Positioning, And Identification Network: SPIN) เป็นโครงข่ายของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย อย่างเช่น เซ็นเซอร์ที่มีความหนาแน่นสูง (หลายร้อยชิ้นต่ออาคาร 1 ชั้น) ที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงเก็บสินค้า มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็วต่ำ (อยู่ประมาณช่วงหลายสิบลบ Kb/s) และสามารถส่งสัญญาณข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของตัวอุปกรณ์เพื่อใช้หาตำแหน่งได้ด้วย (มีความแม่นยำในการบอกตำแหน่งผิดพลาดไม่เกิน 1 M) โทโปโลยีของโครงข่ายระยะในการส่งสัญญาณไม่เกิน 100 M ระหว่างอุปกรณ์กับสถานีแม่ข่ายเป็นแบบ Master-Slave)

- โครงข่าย SPIN มีความต้องการเชื่อมโยงสัญญาณที่มีความน่าเชื่อถือสูง (High Reliability) และคุณลักษณะของระบบที่ปรับเปลี่ยนตัวเอง ให้เหมาะสมเพื่อรองรับกับการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต (Dynamic) ของเครื่องอุปกรณ์ และเรื่องสัญญาณรบกวนการแพร่กระจายสัญญาณ โครงข่ายที่ 1 ถึง 3 เป็นโครงข่ายที่อุปกรณ์ UWB อยู่ในบริเวณที่อยู่อาศัยหรือตามสำนักงานข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ส่งผ่านแบบไร้สาย จะเป็นสัญญาณวิดีโอเพื่อความบันเทิง, สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ ที่ใช้ในโหมด HDR โครงข่ายที่ 4 เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่บริเวณภายนอกมีลักษณะแบบเพียร์ทูเพียร์ และโครงข่ายที่ 5 เป็นโครงข่ายที่อยู่ในอุตสาหกรรมและการพาณิชย์

ในการพัฒนาและวิจัยที่จะมีต่อไปในอนาคตคือเรื่องการที่จะให้โครงข่ายต่าง ๆ นี้รวมทั้งโครงข่ายสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถนำมาาร่วมกันทำงานได้ (Integration) เพื่อให้เป็น Heterogeneous Networking

2.6 ข้อดีของ UWB

1. มีแบนด์วิธ (Bandwidth) ของสัญญาณมากกว่าเทคนิคอื่นๆ เช่น direct sequence spread spectrum (DSSS) ด้วยแบนด์วิธที่กว้างนี้รวมกับความหนาแน่นของสเปกตรัมของกำลังที่มีค่าน้อยนี้ทำให้ Ultra Wideband สามารถใช้ความถี่ร่วมกับระบบอื่นๆ ที่อยู่ในช่วงเดียวกันได้
2. การรบกวนจากภายในระบบเองมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถนำระบบที่ใช้ Ultra Wideband จำนวนมากมาใช้ร่วมกันได้ในบริเวณที่กำหนด
3. จากการใช้พัลส์ที่มีช่วงแคบทำให้ Ultra Wideband ไม่ได้รับผลจาก multipath มากนัก พัลส์ที่สะท้อนกลับนั้นจะไม่เกิดการซ้อนทับกันจึงไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน
4. สามารถให้ข้อมูลข่าวสารในด้านระยะทางที่มีความถูกต้องสูง (น้อยกว่า 1 เซนติเมตร) ทำให้สามารถบอกตำแหน่งได้โดยใช้ตัวส่งหลายตัวมาทำงานพร้อมกัน หรือแม้แต่การค้นหาตำแหน่งที่ต้องการซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สายอากาศมาต่อกันหลาย ๆ อัน

บทที่ 3

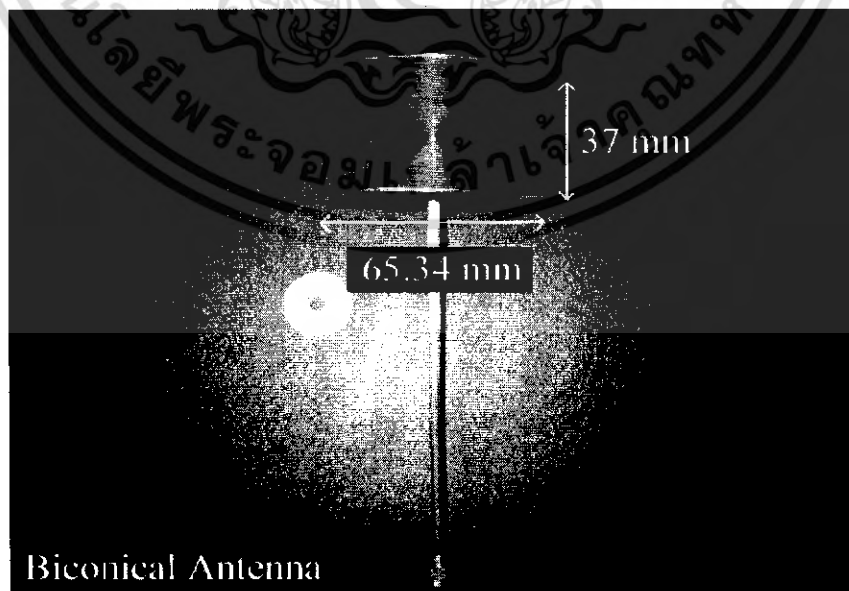
แบบแผนการทดลอง (Experimental Scheme)

3.1 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณระบบอัลตราไวด์แบนด์ (UWB) เต็มแบนด์ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ ตั้งแต่ 3 – 11 GHz
2. เพื่อศึกษา UWB Transmission Gain
3. เพื่อศึกษา Transfer function

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | | |
|--|----|---------|
| 1. สายอากาศแบบกรวยคู่ (กรวยคู่ Antenna) | 1 | คู่ |
| 2. เครื่อง Vector Network Analyzer (VNA) | 1 | เครื่อง |
| 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ | 10 | เครื่อง |
| 4. ตัวคอนเน็คเตอร์ (Connector) | 1 | ชุด |
| 5. สายโคแอกเชียล (Coaxial Cable) | 1 | ชุด |
| 6. แผ่นไร้การสะท้อน | 7 | แผ่น |

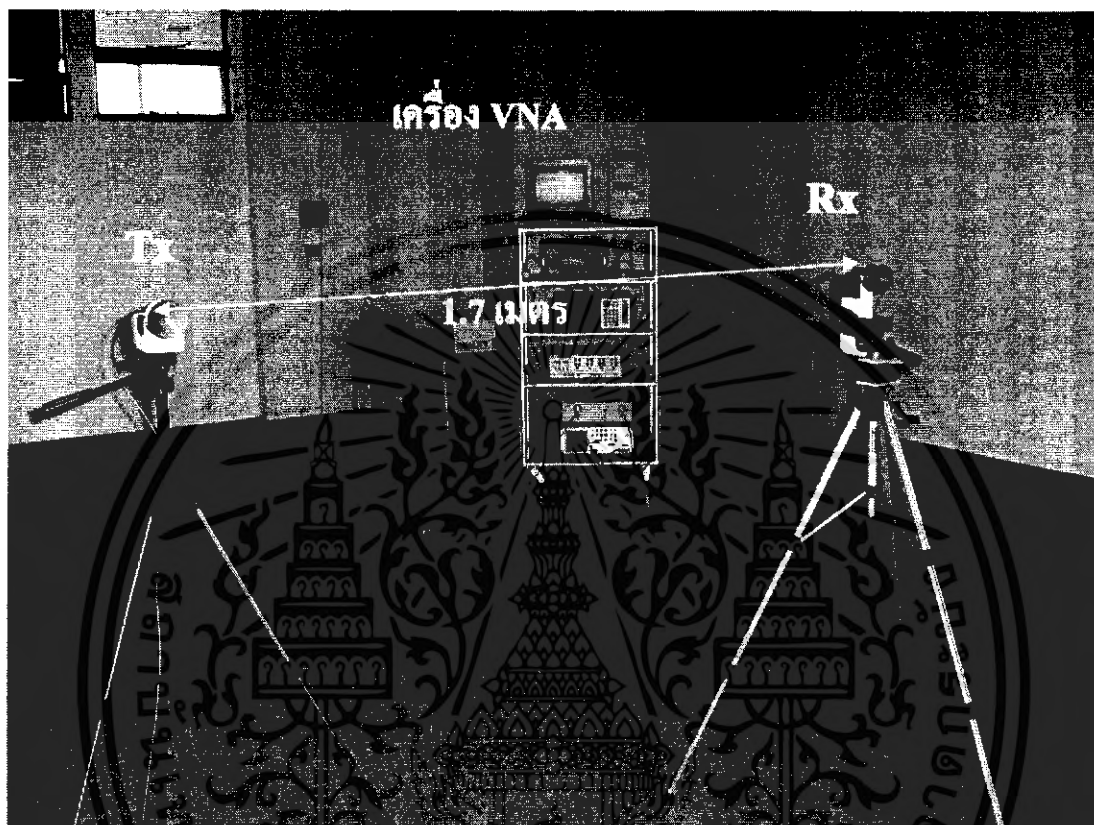


รูปที่ 3.1 สายอากาศไบโคนิคอลที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลข้างต้นอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

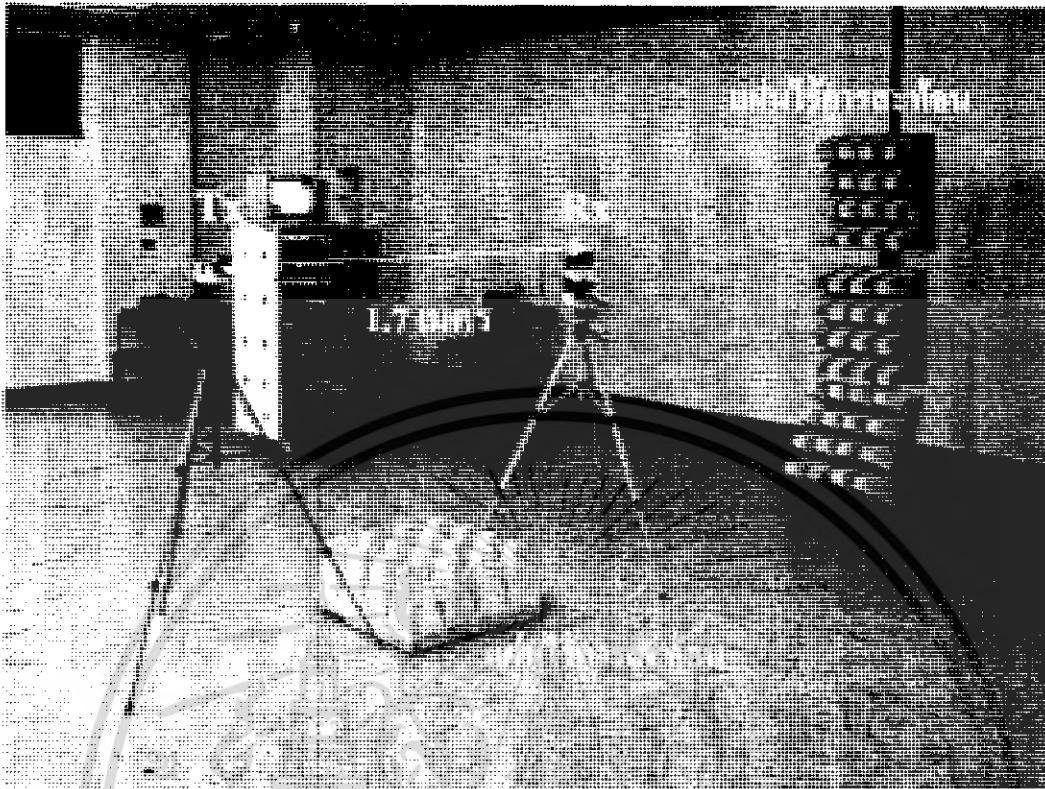
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การทดลองที่ 1



รูปที่ 3.2 การทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

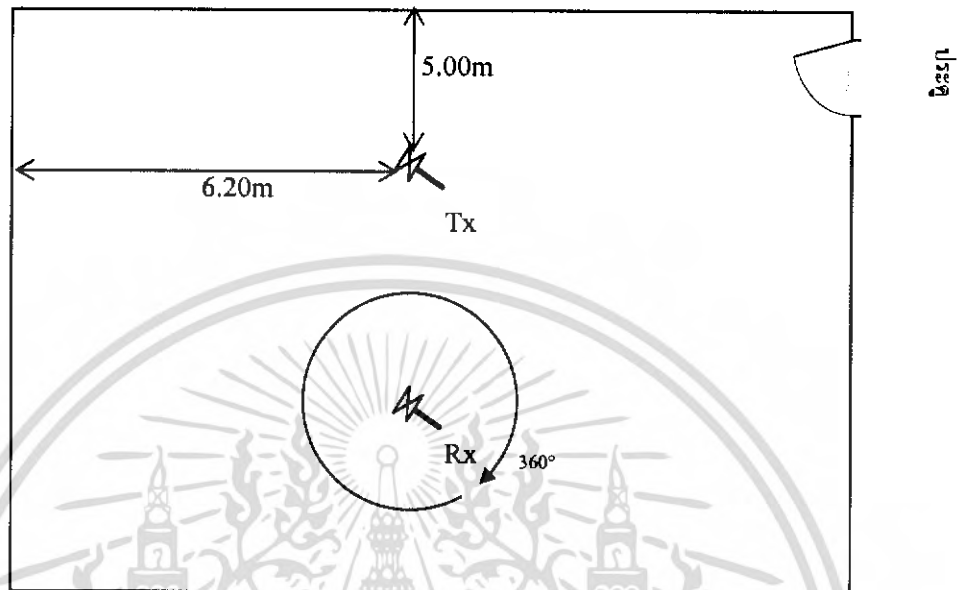
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



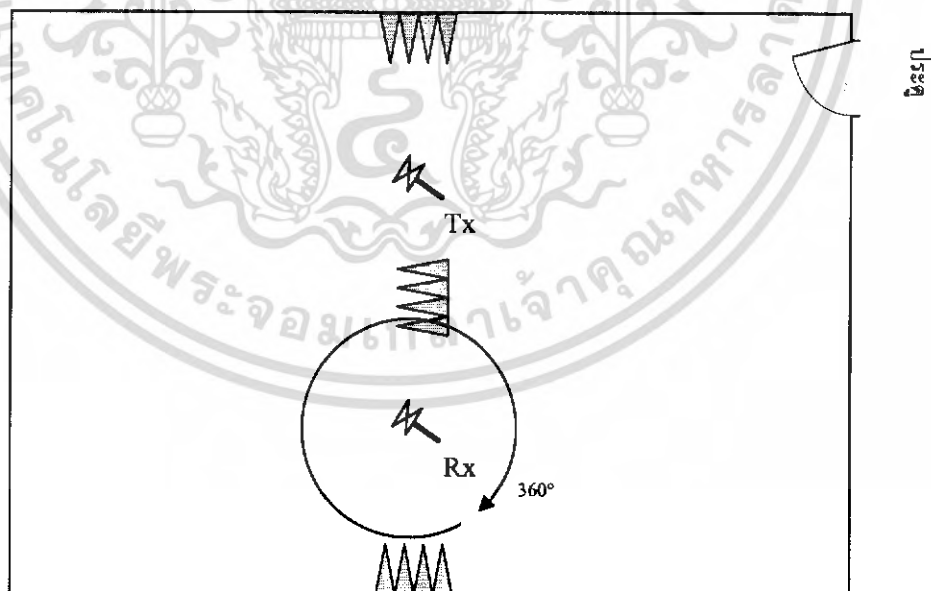
รูปที่ 3.3 การทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

1. ทำการวอร์มอัพ (warm up) เครื่อง VNA ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการ calibrate เครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่อง VNA
3. วางสายอากาศแบบ กรวยคู่ ที่เป็น Tx และ Rx ไว้ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยวางสายอากาศแบบ directional pattern แล้วทำการบันทึกข้อมูล
4. ทำการหมุนสายอากาศด้าน Rx โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ทำการบันทึกข้อมูลจนครบ
5. นำแผ่นไร้การสะท้อน มาวางไว้ที่ตำแหน่งดังในรูปที่ 3.3 แล้วทำซ้ำข้อ 4

การตั้งค่าสายอากาศ (Antenna Setting) ที่ใช้ในการทดลองที่ 1 แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยวางแบบ directional pattern โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง



รูปที่ 3.5 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ โดยวางแบบ directional pattern เมื่อมีแผ่น ไร้การสะท้อน วางตามจุดที่กำหนด โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การทดลองที่ 2

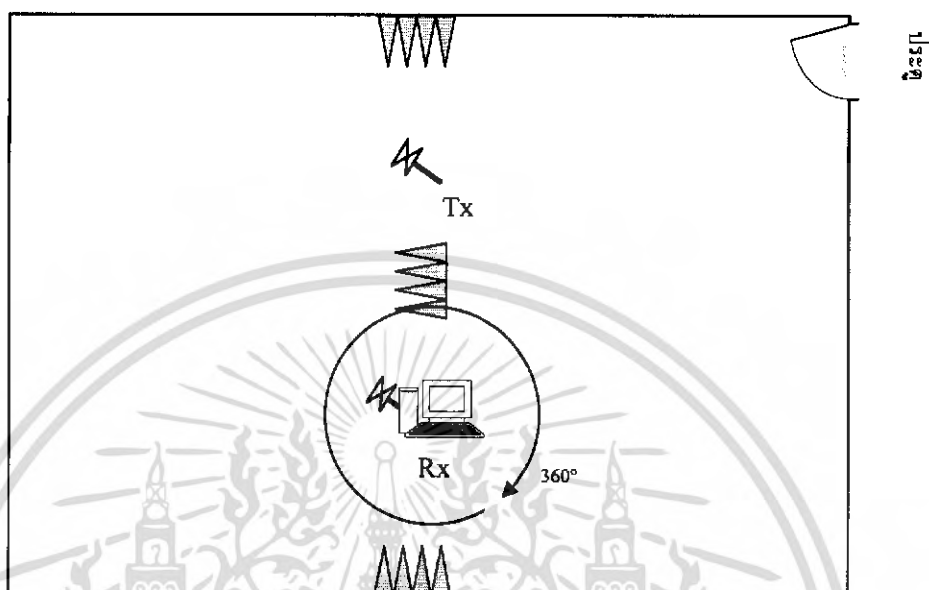


รูปที่ 3.6 การทดลองที่ 2 เมื่อมีคอมพิวเตอรืแบบปิดและเปิดเครื่อง
ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

1. ทำการวอร์มอัพ เครื่อง VNA ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการ calibrate เครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่อง VNA
3. นำสายอากาศแบบกรวยคู่ ที่ด้าน Rx ไปติดกับคอมพิวเตอรืแบบ directional pattern
4. วางคอมพิวเตอรืที่เป็น Tx และ สายอากาศที่เป็น Rx ไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยไม่ต้องเปิดเครื่อง แล้วทำการบันทึกข้อมูล
5. ทำการหมุนคอมพิวเตอรืด้าน Rx โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ทำการบันทึกข้อมูลจนครบ
6. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอรืแล้วทำซ้ำข้อ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าสายอากาศ ที่ใช้ในการทดลองที่ 2 แสดงดังรูปต่อไปนี้



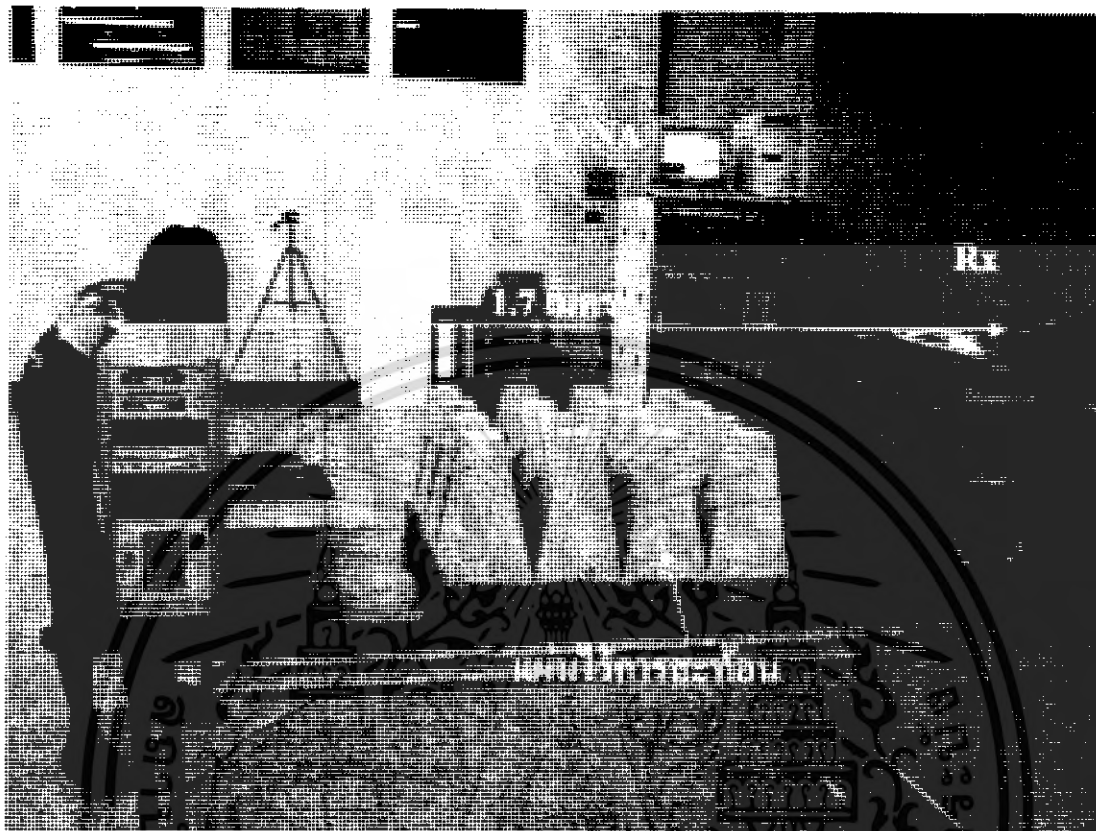
รูปที่ 3.7 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์ แบบ directional pattern โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

Parameter	value
Frequency Range	3.0 ~ 11.0 GHz
Number of frequency point	801
Tx , Rx Antenna Height	1.35 m
Distance between Tx and Rx	1.70 m
Rx Rotate Range	0~360 degree
Rx Rotate Step	5 degree/step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดลองที่ 3

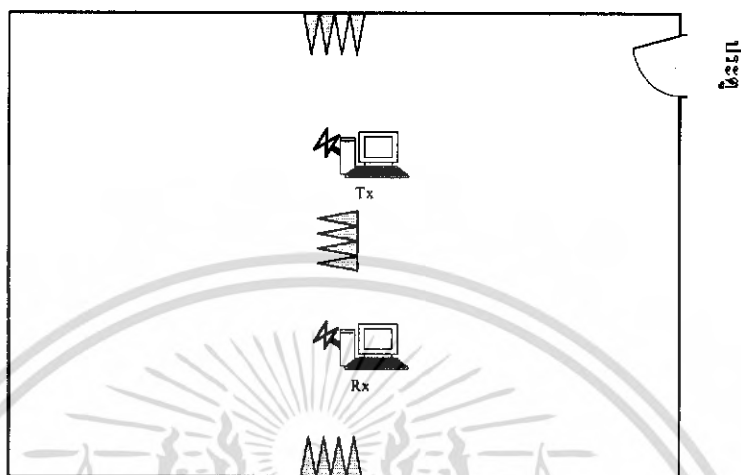


รูปที่ 3.8 การทดลองที่ 3 เมื่อมีคอมพิวเทอร์ทั้งด้านรับและส่ง
ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

1. ทำการวอร์มอัพ เครื่อง VNA ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการ calibrate เครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่อง VNA
3. นำสายอากาศไปติดกับเครื่องคอมพิวเทอร์ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยเปลี่ยนการติดสายอากาศแบบกรวยคู่ เป็นแบบ Omnidirectional pattern
4. วางคอมพิวเทอร์ไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับ Tx และ Rx ในการทดลองที่ 1 และ 2
5. ปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้านTx และ Rx ทำการบันทึกข้อมูล
6. ปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้าน Tx และเปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้าน Rx ทำการบันทึกข้อมูล
7. เปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้าน Tx และปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้าน Rx ทำการบันทึกข้อมูล
8. เปิดเครื่องคอมพิวเทอร์ทางด้านTx และ Rx ทำการบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าสายอากาศ ที่ใช้ในการทดลองที่ 3 แสดงดังรูปต่อไปนี้



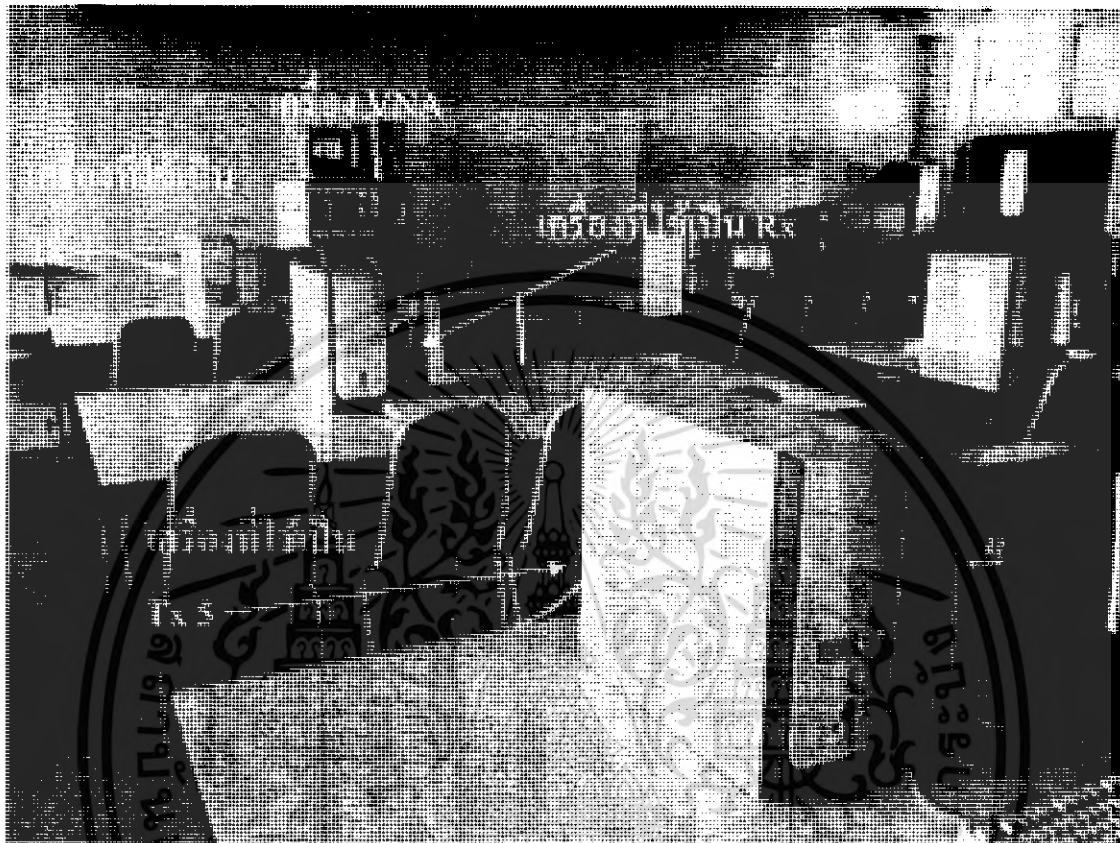
รูปที่ 3.9 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์ แบบ Omnidirectional pattern ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 3

parameter	value
Frequency range	3.0 ~11.0 GHz
Number of frequency point	801
Tx , Rx Antenna Height with Computer	1.35 m
Distance between Tx and Rx	1.70 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดลองที่ 4



รูปที่ 3.10 ระบบเน็ตเวิร์คที่ใช้ในการทดลองที่ 4
เมื่อปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

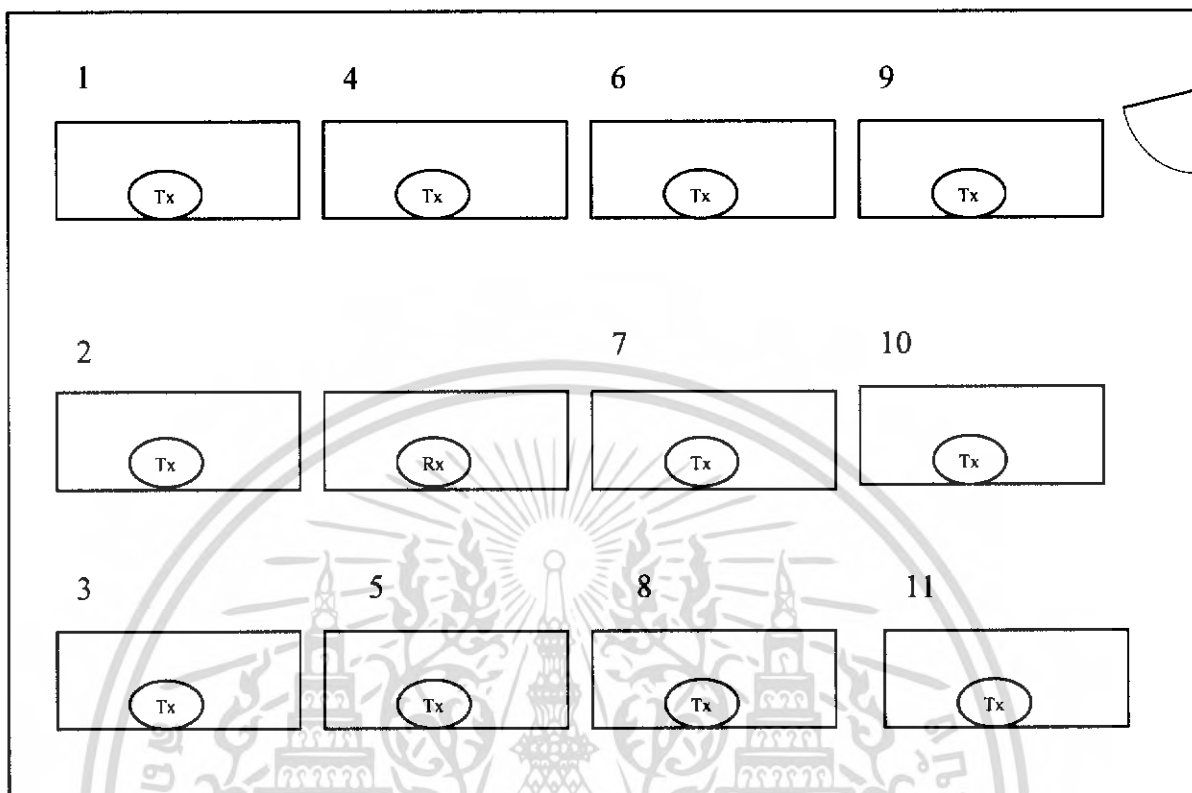
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การทดลองที่ 4 เมื่อปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ
ในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร

1. ทำการวอร์มอัพ เครื่อง VNA ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการ calibrate เครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่อง VNA
3. นำสายอากาศแบบกรวยคู่ วางไว้ที่คอมพิวเตอร์ตำแหน่งที่ 5 ให้เป็นด้าน Rx เสมอจากนั้นวางสายอากาศ Tx ไว้ที่คอมพิวเตอร์ตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นการติดตั้งสายอากาศแบบ Omnidirectional pattern ทำการบันทึกค่า
4. ย้ายตำแหน่งของ Tx ไว้ที่ตำแหน่ง 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 โดยติดตั้งสายอากาศแบบ Omnidirectional pattern ทำการบันทึกค่าจนครบ
5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วทำซ้ำข้อ 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แผงผังตำแหน่งการทดลองที่ 4 โดยทำการทดลองที่ห้อง 1008
ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าที่ใช้ในการทดลองที่ 4

parameter	value
Frequency range	3.0 ~ 11.0 GHz
Number of frequency point	801
Tx , Rx Antenna Height with Computer + Table	1.35 m
Distance between Tx and Rx	
- Tx1 and Rx	3.85 m
- Tx2 and Rx	2.90 m
- Tx3 and Rx	3.85 m
- Tx4 and Rx	2.40 m
- Tx5 and Rx	2.40 m
- Tx6 and Rx	3.80 m
- Tx7 and Rx	2.94 m
- Tx8 and Rx	3.80 m
- Tx9 and Rx	6.50 m
- Tx10 and Rx	5.90 m
- Tx11 and Rx	6.40 m
Hight of Table	0.60 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

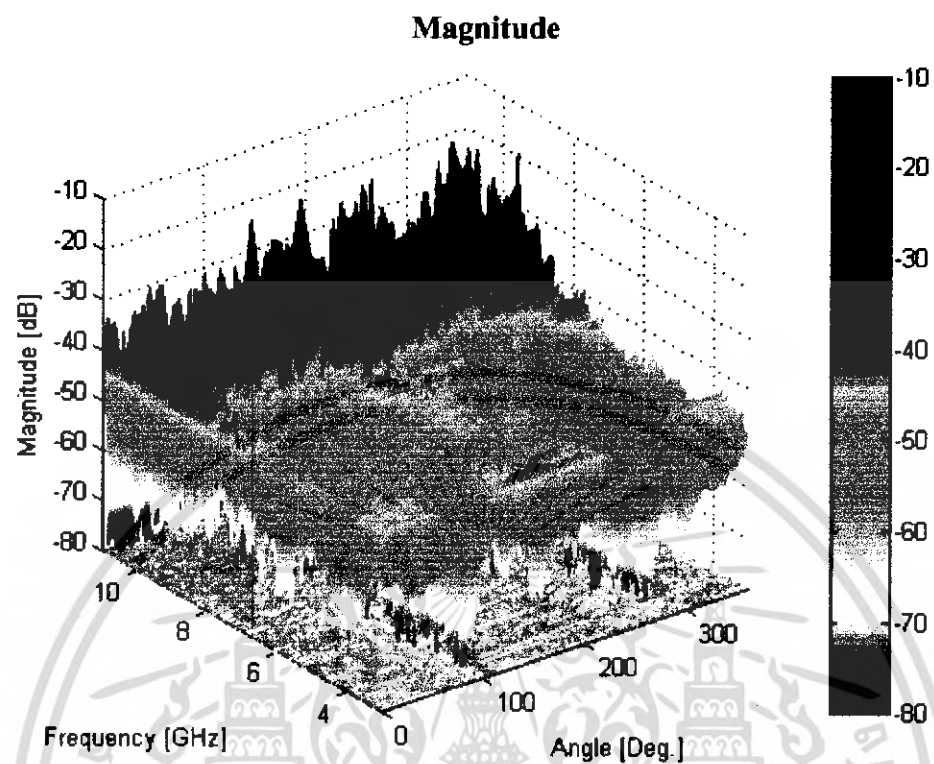
4.1 Magnitude of Transmission Loss

จากการทดลองตามเอกสารการทดลองได้ค่า S_{21} หรือ Transfer function ในการส่ง สัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ในช่วงความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ซึ่ง Transfer function ในที่นี้จะรวมถึง Antenna Transfer function ของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ และ Channel Transfer function ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาค่า Characteristic ของสายอากาศว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ จึงได้นำค่า S_{21} มาผ่านการคำนวณด้วย โปรแกรม MATLAB ซึ่งค่าที่เราสนใจคือ Magnitude ของ สัญญาณ ซึ่งได้ผลออกมาเป็นกราฟดังรูป

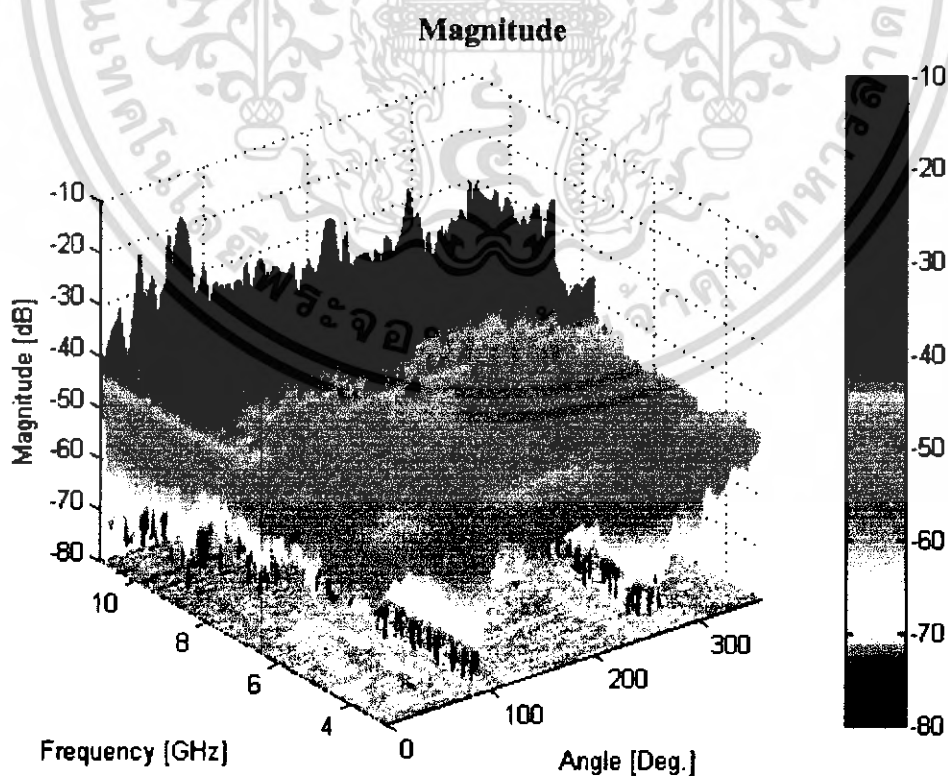
4.1.1 การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองหามุมสายอากาศด้านรับ โดยไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ (Absorber) ผลของ Magnitude ที่ได้ เป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณ ครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศด้านรับทั้งหมด 360 องศา พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำ มุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ระดับของสัญญาณจะลดต่ำลงมากที่สุด

ส่วนในรูปที่ 4.2 เป็นผลจากการทดลองที่ 1 ทำการทดลองหามุมสายอากาศด้านรับ โดยมี แผ่นไร้การสะท้อนกลับ ซึ่งแผ่นไร้การสะท้อนกลับ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดการเกิด Multipart ได้ เพราะแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ช่วยลดการสะท้อนของสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวรบกวนสัญญาณที่รับได้ ดังนั้นค่าที่ได้ จึงเป็นค่าที่ดีกว่าเมื่อไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ



รูปที่ 4.1 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 เมื่อไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน



รูปที่ 4.2 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 เมื่อมีแผ่นไร้การสะท้อน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

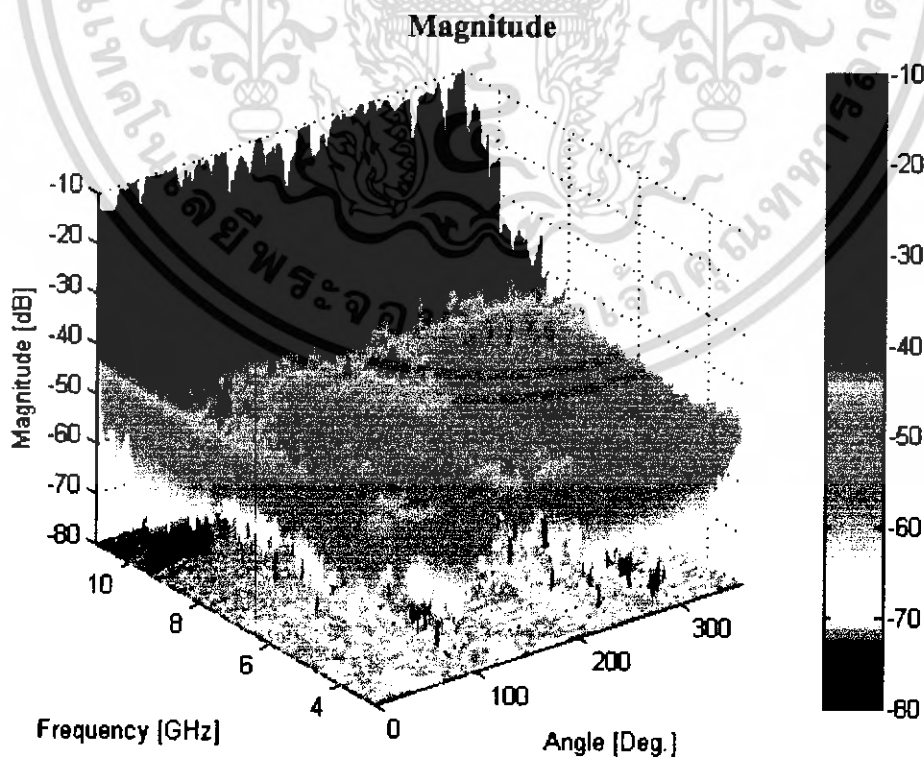
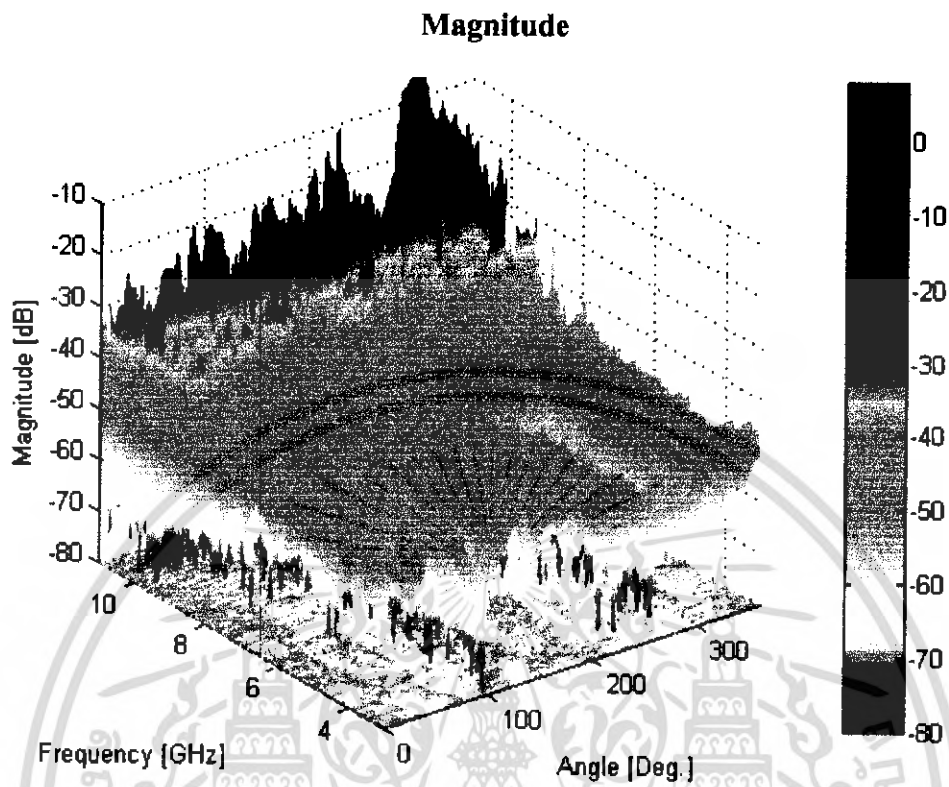
จากกราฟ magnitude ของการทดลองการส่งสัญญาณของสายอากาศด้านส่งกันสายอากาศด้านรับของทั้งสองกราฟ คือ ทั้งที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ นั้น จะเห็นได้ว่า กราฟมีลักษณะคล้ายกัน คือสัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุดที่สายอากาศด้านรับทำมุม 90 และ 270 องศาและ ระดับสัญญาณจะมากที่สุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศา กับสายอากาศทางด้านส่ง ที่มุมด้าน 90 และ 270 องศาจะลดลงจนมีค่าน้อยเนื่องจากในช่วงนี้จะเกิดการเฟดคิงหรือการจางหายของสัญญาณมากที่สุดเพราะสายอากาศอยู่ในมุมที่รับสัญญาณได้ไม่ดีนักสำหรับการวางสายอากาศแบบ directional pattern แต่เมื่อหมุนสายอากาศทางด้านรับให้ทำมุมเพิ่มจาก 90 องศา เป็น 180 องศา และจากมุม 270 องศา เป็น 360 องศาจะพบว่าระดับสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถรับสัญญาณได้ดี จึงสามารถสรุปได้ว่าการวางสายอากาศแบบ direction pattern นี้จะรับสัญญาณได้ดีที่สุดเมื่อสายอากาศทั้ง 2 วางขนานกันและลดลงมากที่สุดเมื่อวางสายอากาศตั้งฉากกัน

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้อีกว่าแผ่นไร้การสะท้อนกลับ สามารถช่วยลดการเกิดการสะท้อนของสัญญาณได้จึงทำให้ระดับสัญญาณของสายอากาศที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ดีกว่าระดับสัญญาณของสายอากาศที่ไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ เล็กน้อย

4.1.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ผลของ Magnitude ที่ได้ เป็นดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศที่ติดกับตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ด้านรับทั้งหมด 360 องศา พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ระดับของสัญญาณจะลดต่ำลงมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะในการรับส่งสัญญาณแบบ Directional Pattern แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ 1 ที่ไม่มีเศษคอมพิวเตอร์เข้ามา พบว่าสัญญาณที่ได้ในการทดลองที่ 2 โดยรวมมีค่าต่ำกว่าระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลองที่ 1 ประมาณ 10 เดซิเบล

ส่วนในรูปที่ 4.4 เป็นผลจากการทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ในการทดลองนี้จะทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างจากการทดลองที่ 2 ที่ไม่เปิดเครื่องเพียงเล็กน้อย โดยสังเกตจากกราฟ Magnitude ของสัญญาณในรูปที่ 4.4 เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.3 กราฟในรูปที่ 4.4 ซึ่งเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทำงานด้วยนี้ สัญญาณที่รับได้จะมีค่ามากกว่าสัญญาณในกราฟรูปที่ 4.3 ซึ่ง ไม่เปิดเครื่อง เพียงเล็กน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

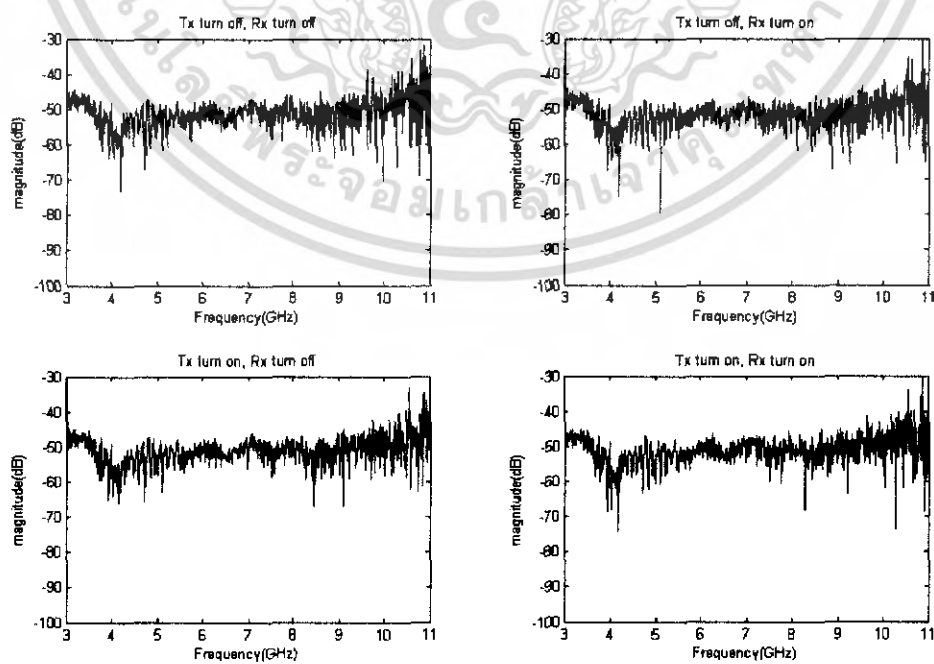
ในการทดลองที่นี้ เมื่อนำเศษของคอมพิวเตอรืไปติดกับสายอากาศด้านรับ และทำการหมุนสายอากาศทางด้านรับเหมือนกับการทดลองแรก แต่จะทำการทดลองทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอรื ผลที่ได้ก็คือ ระดับของสัญญาณจะลดลงมากที่สุดที่มุม 90 องศา และมุม 270 องศา และระดับสัญญาณจะมากที่สุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศา และค่าความแตกต่างระหว่างการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอรืนั้นเกือบจะไม่เห็นความแตกต่างจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอรืนั้นไม่มีผลกระทบต่อการส่งสัญญาณ

เมื่อนำกราฟ magnitude ของการทดลองที่ 1 มาเทียบการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าระดับสัญญาณในการทดลองที่ 2 โดยรวมแล้วจะต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเศษของคอมพิวเตอรืมีผลต่อการส่งสัญญาณซึ่งอาจจะเกี่ยวกับการที่เศษของคอมพิวเตอรืไปบดบังสัญญาณทำให้สายอากาศด้านรับรับสัญญาณได้ไม่ดีเท่ากับการทดลองที่ 1

4.1.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอรืติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและด้านส่ง เป็นการส่งสัญญาณในลักษณะ Omni-directional ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง ดังกราฟในรูปที่ 4.5 ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของระดับสัญญาณ ดังนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 4.6 ซึ่งพบว่าระดับของสัญญาณ Magnitude เกิดความแตกต่างกันน้อยมาก

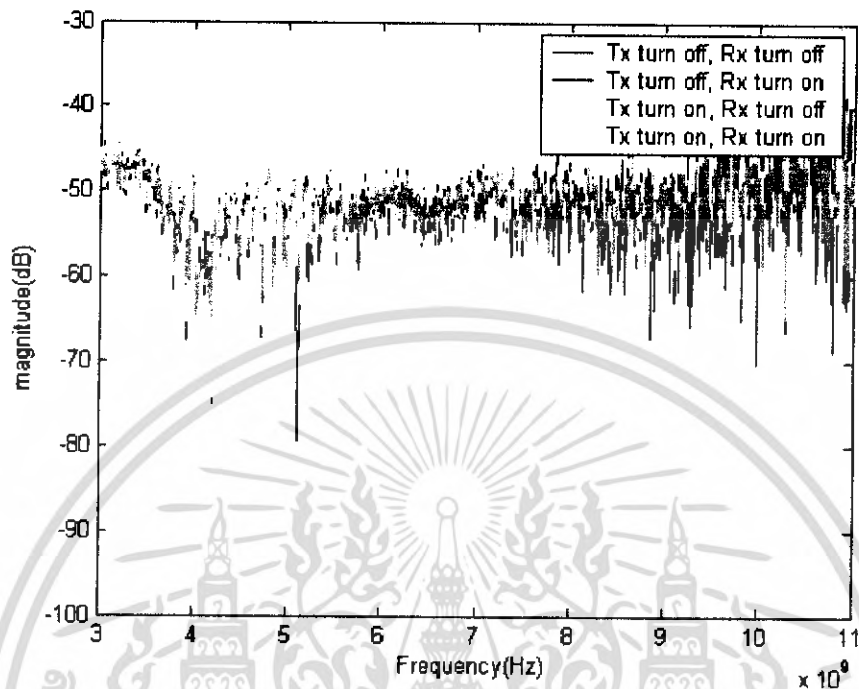
Magnitude



รูปที่ 4.5 Magnitude ของสัญญาณ ในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnitude



รูปที่ 4.6 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ รวมกันในกราฟเดียว

จากการทดลองจะเป็นการนำเคสคอมพิวเตอรืไปติดกับสายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งแต่จะเป็นการติดสายอากาศแบบ Omni-directional และไม่ต้องทำการหมุนสายอากาศทางด้านรับ เมื่อทำการทดลองปิดเครื่องและเปิดเครื่อง ตามการทดลอง จะพบว่าผลที่ได้จะมีค่า Magnitude ที่ไม่แตกต่างกันเลย แสดงว่าเคสของคอมพิวเตอรืและการปิดและเปิดเครื่องไม่มีผลต่อการส่งสัญญาณแบบ omni-directional pattern เลยไม่ว่าจะทำการปิดและเปิดเคสของคอมพิวเตอรืที่สายอากาศด้านส่งหรือรับก็ตาม

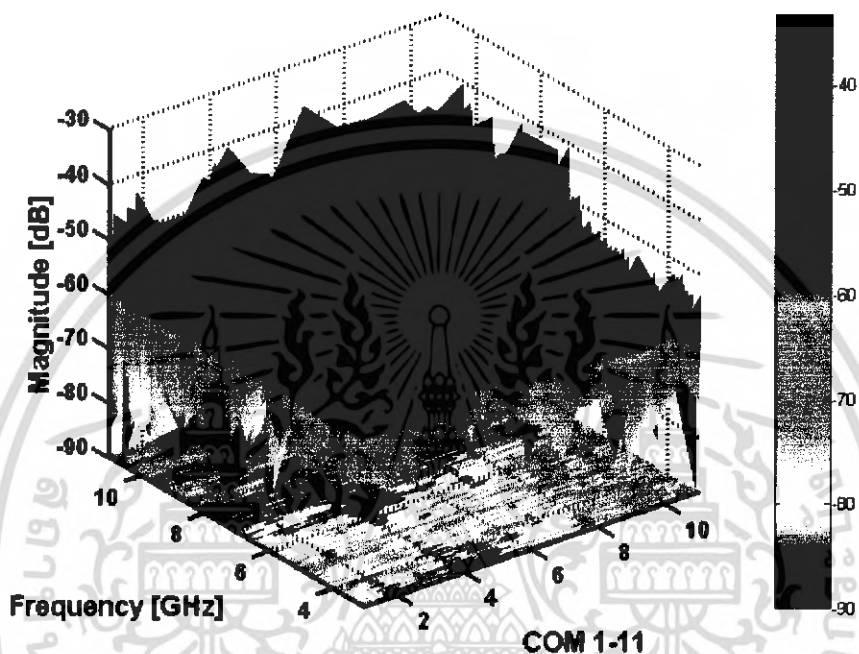
4.1.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองวางเครื่องคอมพิวเตอรืเป็นเครื่องข่าย แล้วกำหนดให้เครื่องตรงกลางเป็นเครื่องที่ติดสายอากาศรับสัญญาณ ส่วนเครื่องที่เหลือติดสายอากาศส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.10 ทำการวัดสัญญาณแล้วนำมาวิเคราะห์เป็นกราฟ magnitude ดังรูปที่ 4.7 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอรืและรูปที่ 4.8 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอรื จากกราฟที่ได้ จะพบว่า magnitude ในการส่งสัญญาณของเครื่องหมายเลขที่ 2, 4, 5, และ 7 มีระดับของสัญญาณ magnitude ประมาณ -50 dB เท่าๆกัน ซึ่งถือได้ว่าสูงกว่าระดับของสัญญาณที่ได้จากเครื่องหมายเลขอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เครื่องหมายเลขที่ 2, 4, 5, และ 7 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างใกล้กับเครื่องที่เป็นตัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

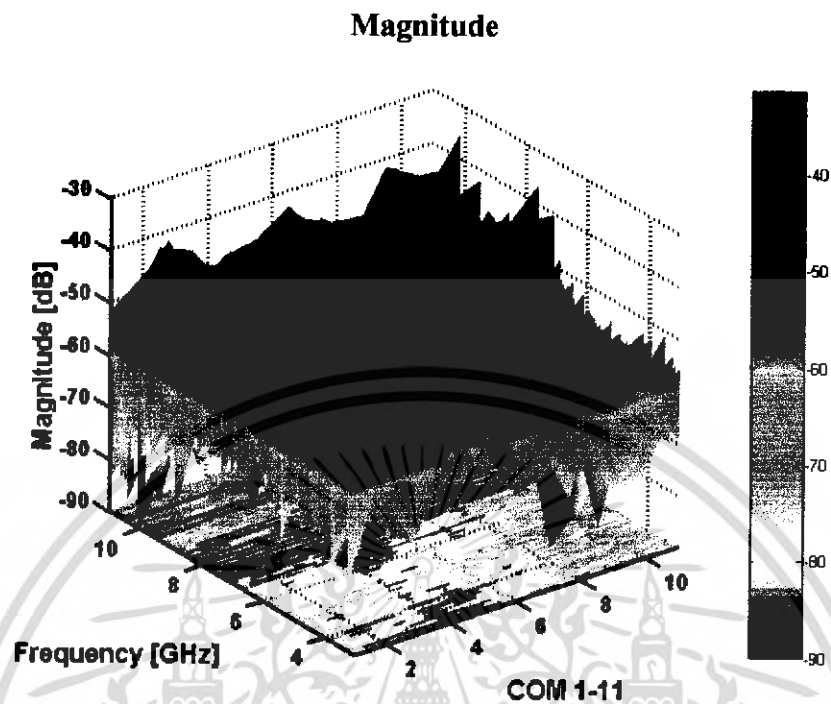
กว่าเครื่องอื่นๆ ดังนั้นระดับของ Magnitude จึงสูงกว่าเครื่องอื่นๆ และเช่นเดียวกัน เครื่องหมายเลข 9, 10, 11 มีระดับสัญญาณ magnitude ประมาณ -70 dB เท่าๆกัน ซึ่งถือว่าต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ ทั้งนี้ เพราะว่าเครื่องหมายเลข 9, 10, 11 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างจากเครื่องที่รับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ

Magnitude



รูปที่ 4.7 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Magnitude ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

จากกราฟรูปที่ 4.7 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรูปที่ 4.8 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งเป็นการติดตั้งสายอากาศแบบ Omni-directional จะพบว่าผลที่ได้จะมีค่า Magnitude ของสัญญาณที่ได้ ไม่ได้แตกต่างกันมากนักทั้งแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

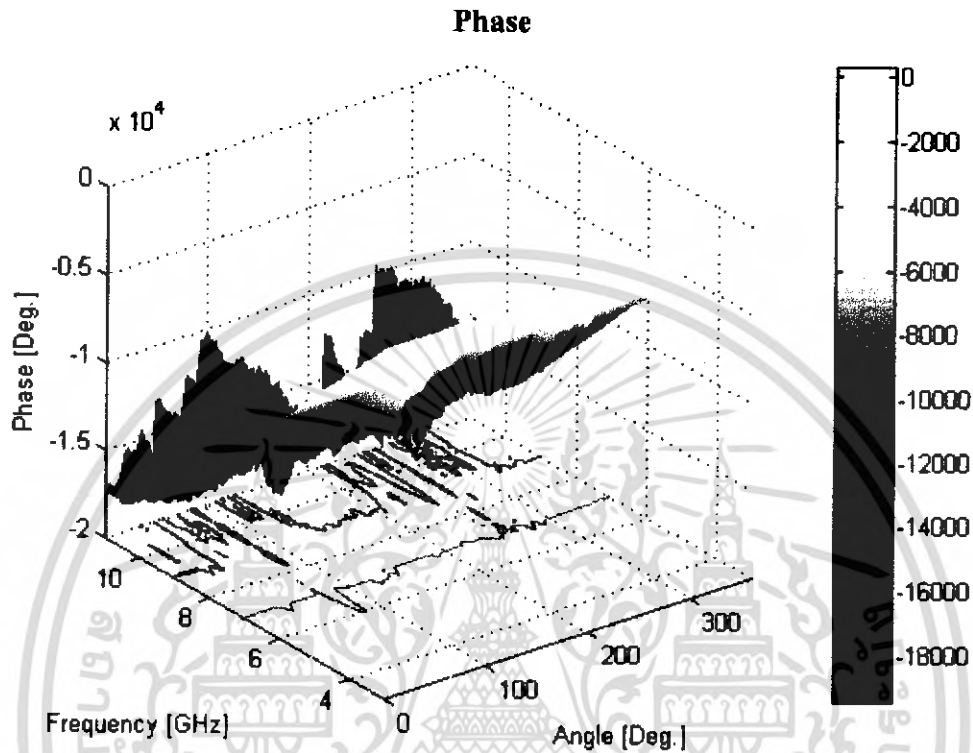
4.2 Phase of Transmission Loss

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาค่า Characteristic ของสายอากาศว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ จึงได้นำค่า S_{21} มาผ่านการคำนวณด้วย โปรแกรม MATLAB ซึ่งค่าที่เราสนใจคือ Phase ของสัญญาณ

4.2.1 การทดลองที่ 1

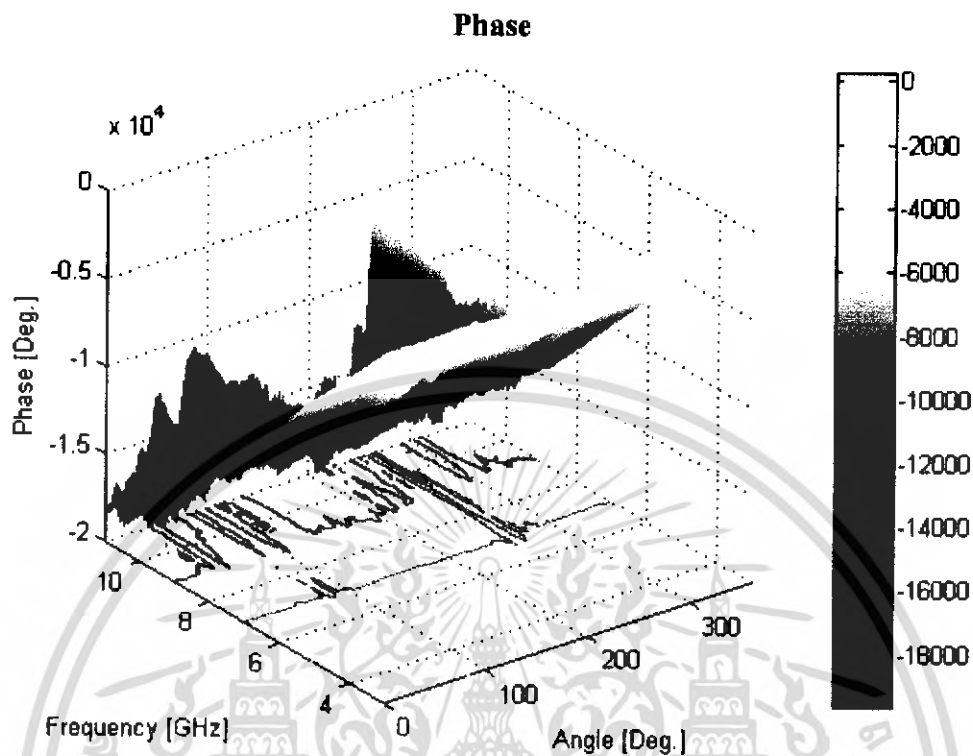
การทดลองที่ 1 ทำการทดลองหมุนสายอากาศด้านรับ ทั้งแบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ผลของ Phase ที่ได้ เป็นดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศด้านรับทั้งหมด 360 องศา Phase ที่ได้จะมีลักษณะเป็น linear ส่วน ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม

90 องศา และ 270 องศา ซึ่งเป็นมุมที่สัญญาณรับได้ไม่ดี ดังนั้น Phase ที่ได้ในช่วง 90 องศา และ 270 องศา จึงเป็นแบบ nonlinear



รูปที่ 4.9 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

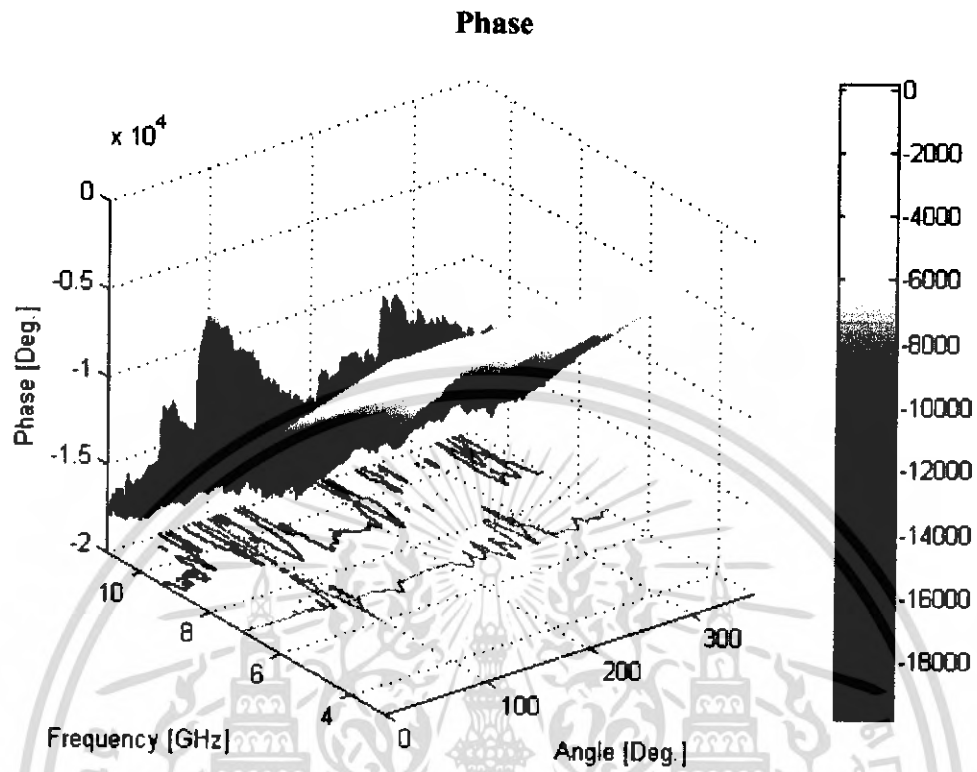


รูปที่ 4.10 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน

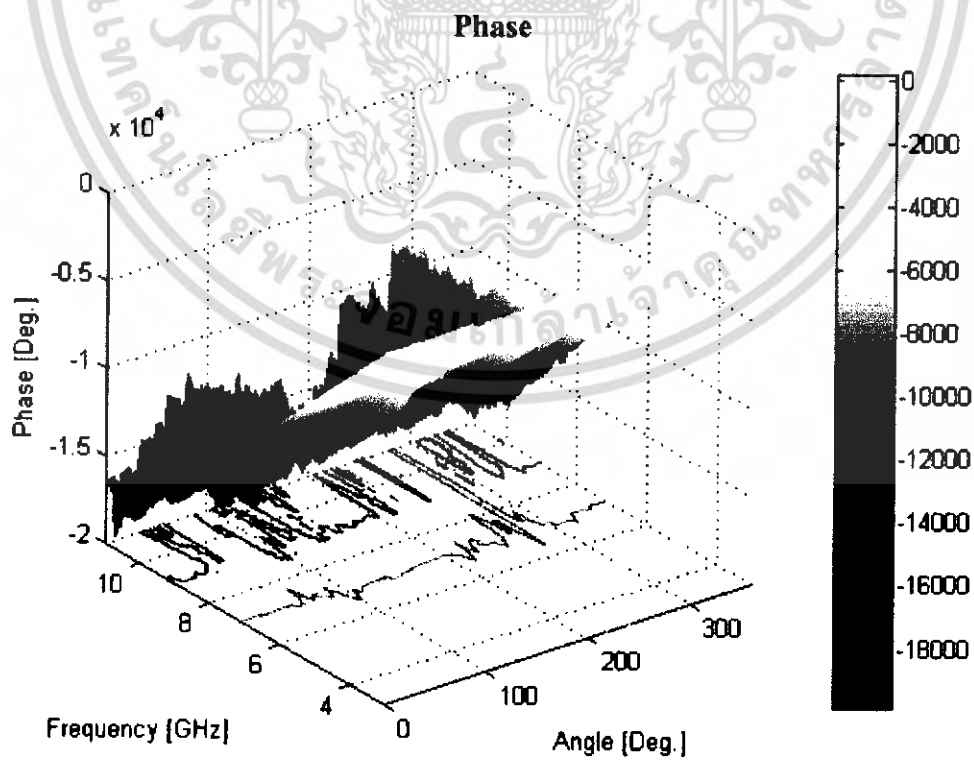
จากการทดลอง กราฟ Phase ของทั้งแบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะเหมือนกันก็คือ ช่วงที่สายอากาศทางด้านรับทำมุม 90 องศาและ 270 องศา ลักษณะของกราฟจะไม่เป็น linear มากที่สุด เนื่องจากการรับสัญญาณของสายอากาศไม่ได้อยู่ในมุมที่รับสัญญาณได้ดีโดย Phase ที่เป็น linear มากที่สุดก็คือที่มุม 0, 180 และ 360 องศา นอกจากนี้ Phase ของการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะมีลักษณะที่ดีคือโดยรวมแล้ว Phase ที่มุมต่าง ๆ จะเป็น linear กว่าไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

4.2.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ผลของ Phase (มุมเฟส) ที่ได้ เป็นดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศที่ติดกับตัวเครื่องเศษคอมพิวเตอร์ด้านรับทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่เปิดเครื่องและแบบเปิดเครื่อง พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ลักษณะของ Phase ที่ได้ จะเป็นแบบ nonlinear เช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะในการรับส่งสัญญาณ



รูปที่ 4.11 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง



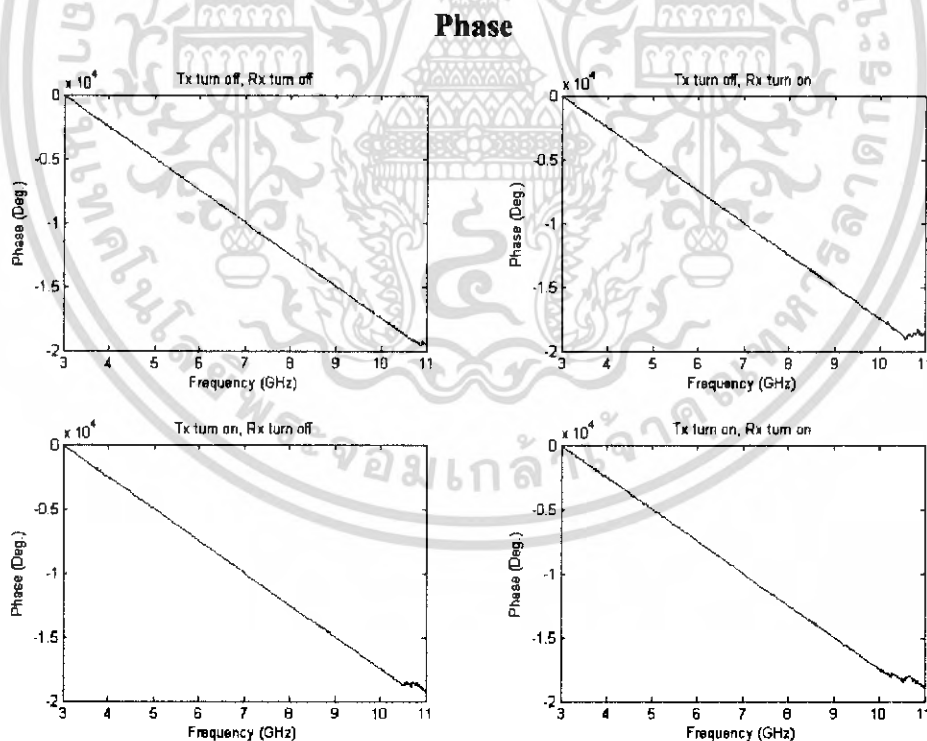
รูปที่ 4.12 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเคสคอมพิวเตอรืไปติดกับสายอากาศด้านรับแล้วทำการหมุนไปที่ละ 5 องศา ทั้งปิดและเปิดเครื่อง Phase ที่ได้จะมีลักษณะเป็น linear คีที่สุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศาเช่นเดียวกันและที่มุมอื่น ๆ Phase จะไม่ค่อยเป็น linear และจะรุนแรงที่สุดที่มุม 90 องศาและ 180 องศา นั่นคือมุมมีผลต่อการเกิด Phase ของสัญญาณซึ่งเมื่อนำPhase ของการทดลองที่ 1 และ 2 มาเทียบกันจะพบว่าไม่ค่อยต่างกันเลย แสดงว่าเคสของคอมพิวเตอรืไม่มีผลต่อการเกิด Phase

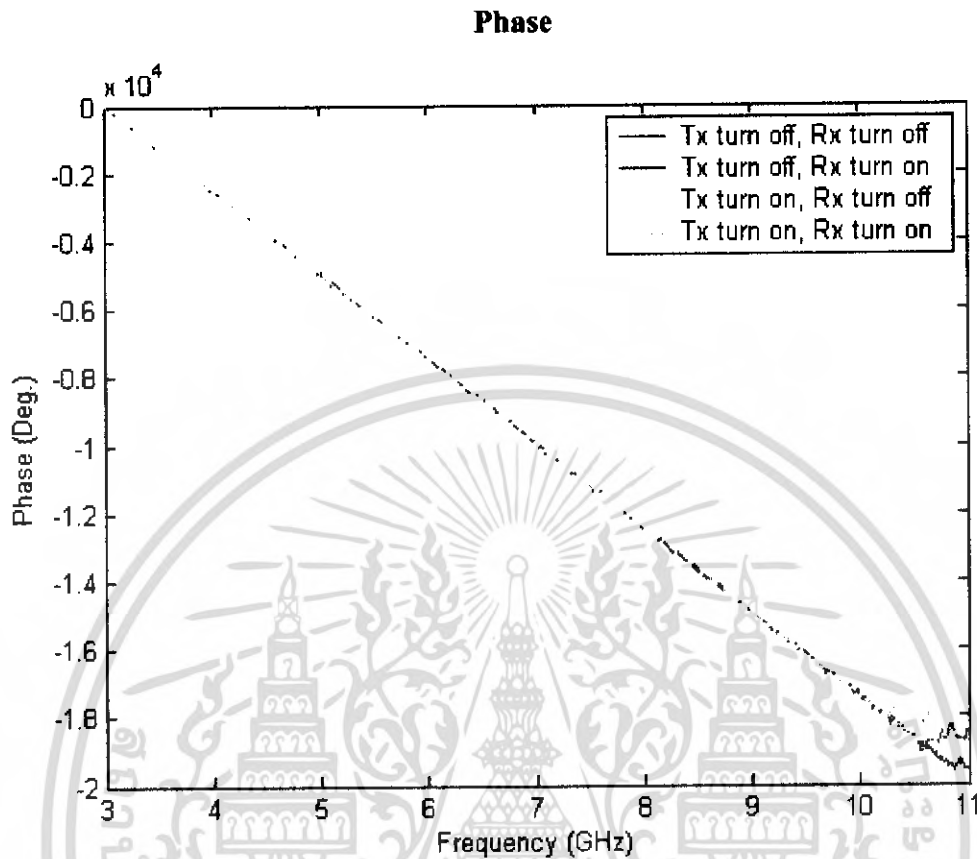
4.2.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำเคสของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและด้านส่ง เป็นการส่งสัญญาณในลักษณะ omni-directional ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง , แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง ดังกราฟในรูปที่ 4.13 ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของระดับสัญญาณ ดังนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกันดังกราฟในรูปที่ 4.14 ซึ่งพบว่าสัญญาณ Phase เป็น linear เท่าๆกัน



รูปที่ 4.13 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ รวมกันในกราฟเดียว

เมื่อนำเตสของคอมพิวเตอรืมาติดกับสายอากาศทั้งทางด้านส่งและด้านรับแบบ Omni-directional และทำการทดลองปิดและเปิดเครื่องทางด้านส่งและด้านรับในรูปแบบต่าง ๆ โดยไม่ทำการหมุนเครื่องจะพบว่า Phase ที่ได้มีลักษณะเป็น linear และมีค่าใกล้เคียงกันจนเกือบจะซ้อนทับกับสนิท แสดงว่า การปิดหรือเปิดเครื่องไม่มีผลกระทบต่อ Phase ไม่ว่าจะเป็นการปิดหรือเปิดเครื่องที่ด้านใดก็ตาม

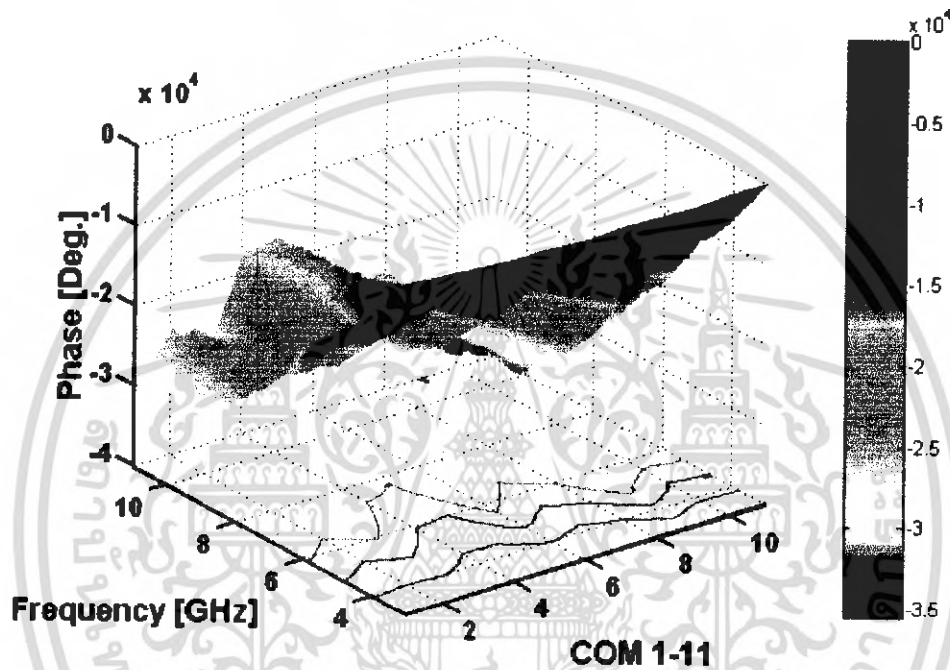
4.2.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองวางเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครือข่าย แล้วกำหนดให้เครื่องตรงกลางเป็นเครื่องที่ติดสายอากาศรับสัญญาณ ส่วนเครื่องที่เหลือติดสายอากาศส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.10 ทำการวัดสัญญาณแล้วนำมาวิเคราะห์เป็นกราฟ Phase พบว่า ระดับสัญญาณ Phase ที่ได้ทั้งหมดเป็นลักษณะ เป็นเส้นแนวตรงลงมาดังรูปที่ 4.15 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรูปที่ 4.16 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่จะเห็นว่ารับคัมเฟสของสัญญาณของเครื่องหมายเลขที่ 2, 4, 5, และ 7 เป็นเครื่องที่มีระยะห่าง ใกล้เคียงกับเครื่องที่เป็นตัวรับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ ดังนั้นระดับของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

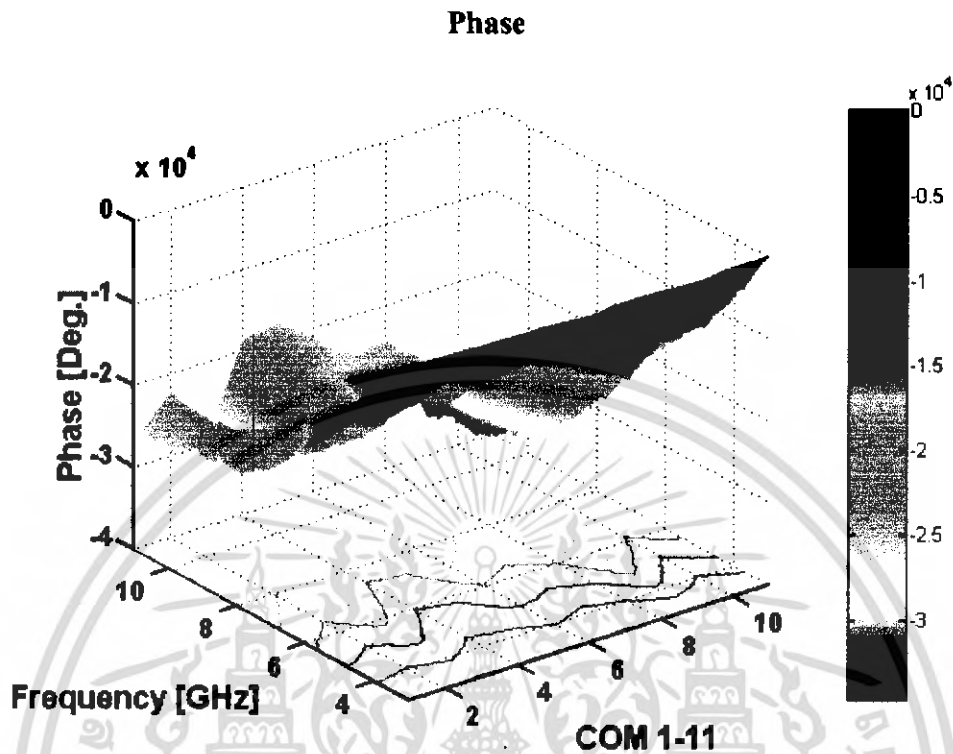
Phase จึงสูงกว่าเครื่องอื่นๆ และเป็น linear มากกว่า และเช่นเดียวกัน เครื่องหมายเลข 9, 11 มีระดับสัญญาณ Phase ต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ เนื่องจากเครื่องหมายเลข 9, 11 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างจากเครื่องที่รับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ และอาจเกิดจาก error ที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณที่ไปกระทบกับเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ ก่อนการมาถึงเครื่องรับได้

Phase



รูปที่ 4.15 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 Phase ของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

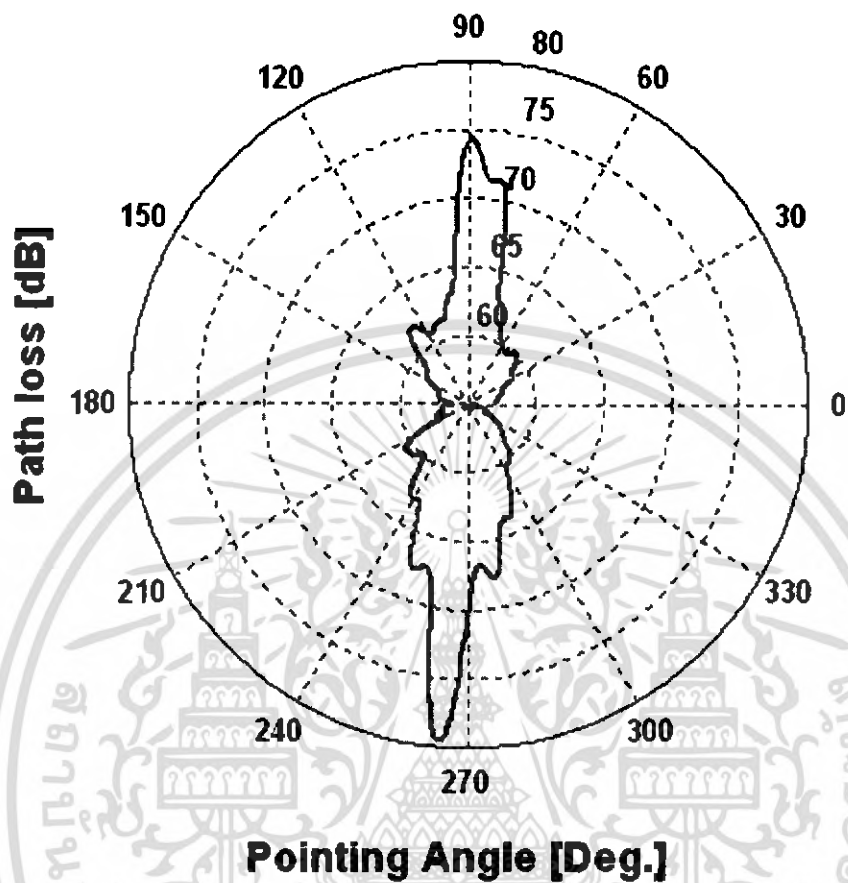
จากกราฟรูปที่ 4.15 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรูปที่ 4.16 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โดยสายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งเป็นการติดตั้งสายอากาศแบบ Omni-directional จะพบว่าผลที่ได้จะมีค่า Phase ของสัญญาณที่ได้ ไม่ได้แตกต่างกันมากนักทั้งแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

4.3 UWB Transmission Loss

4.3.1 การทดลองที่ 1

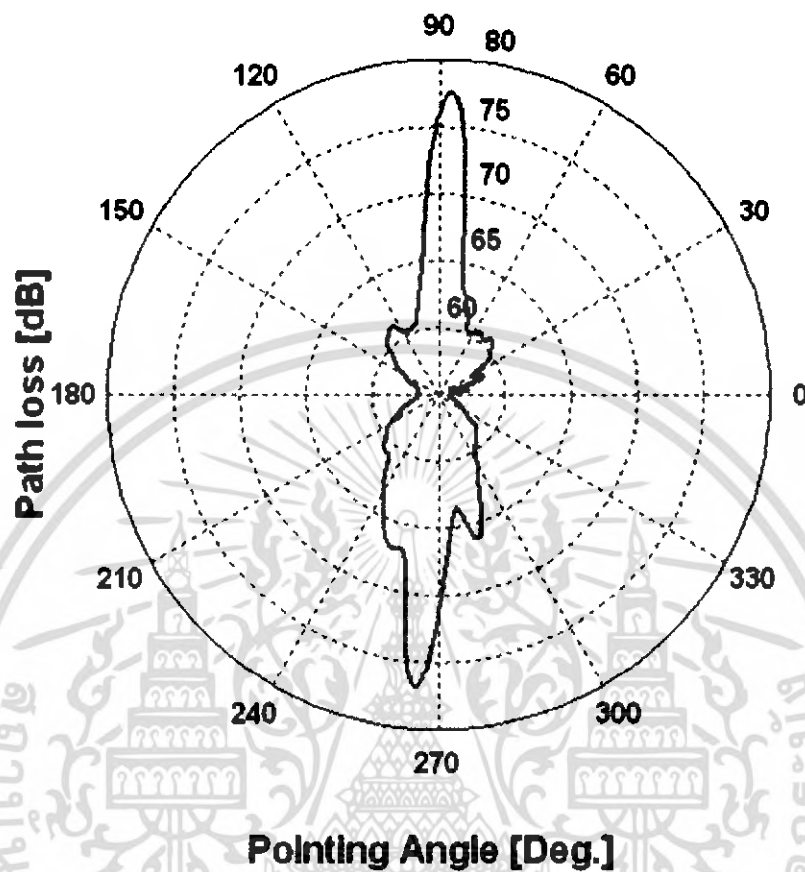
การทดลองที่ 1 ทำการทดลองหุนสายอากาศด้านรับ ทั้งแบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ผลของ หาค่า Pathloss ที่ได้จากสมการ $10\log(P_r/P_t)$ เป็นดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศด้านรับทั้งหมด 360 องศา ค่า Pathloss ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ซึ่งเป็นมุมที่สัญญาณรับได้ไม่ดี ดังนั้นค่า Pathloss ที่คำนวณได้ในช่วง 90 องศา และ 270 องศา จึงมีค่าสูงมาก เพราะเกิด loss สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1
แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



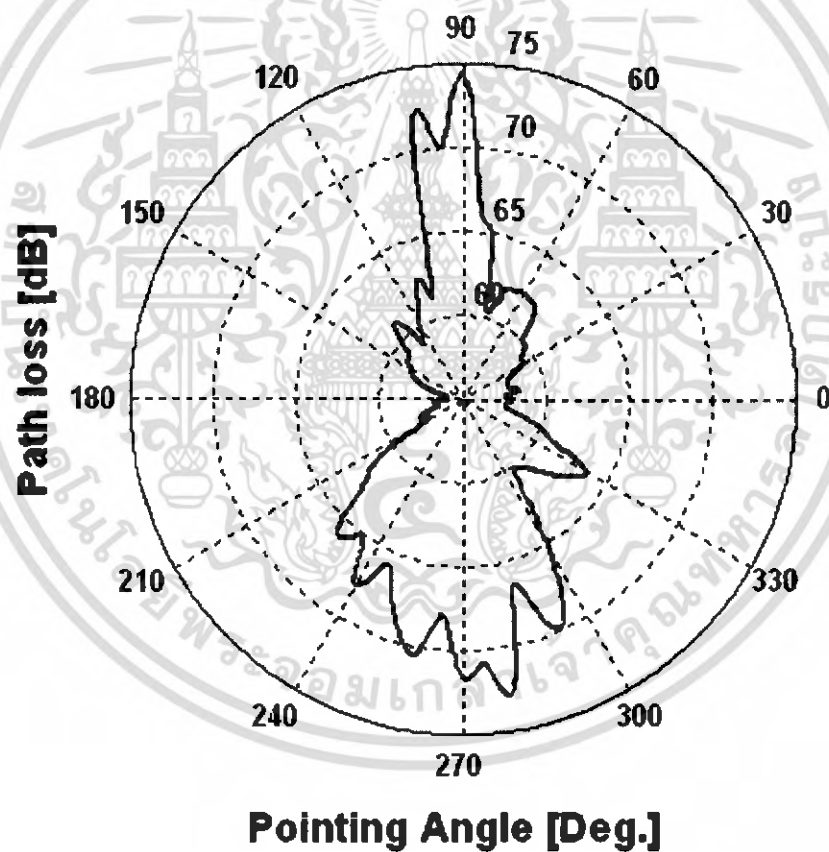
รูปที่ 4.18 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1
แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน

จากการทดลองที่ 1 เมื่อทำการหาค่า pathloss แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงค่าตามมุมต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าที่ประมาณมุม 90 องศา และ 270 องศา จะเกิด pathloss สูงมาก เนื่องจากที่มุมทั้งสองนี้ การรับสัญญาณจะรับได้ไม่ดี ดังนั้นจึงเกิด loss สูงสุด

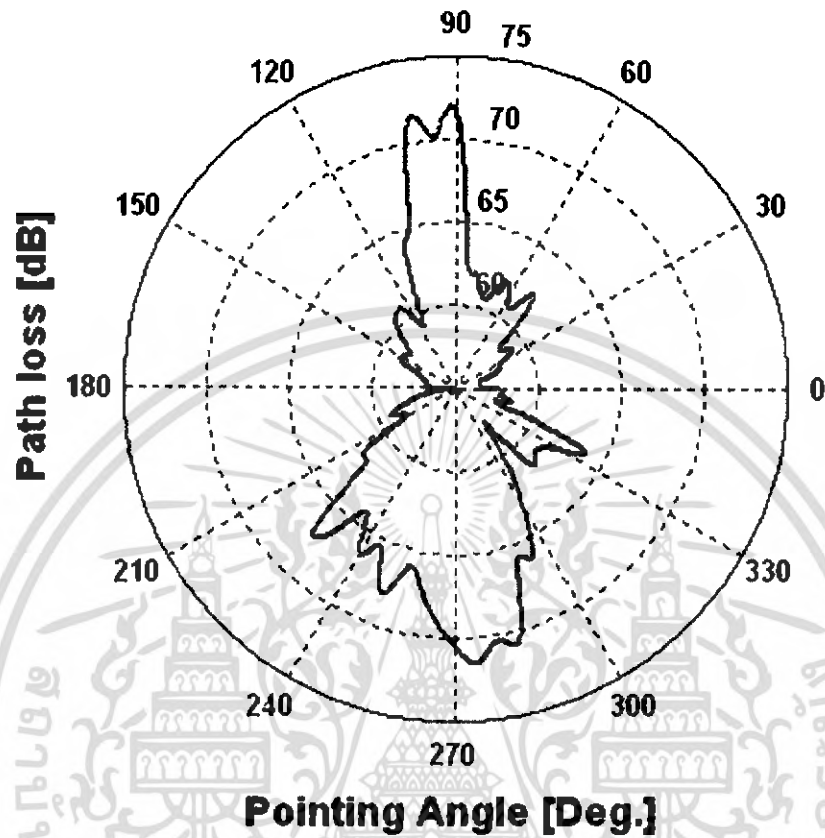
เมื่อทำการเปรียบเทียบ pathloss ของการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะพบว่าโดยรวมแล้วการเกิด loss ของการทดลองที่ไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะมีค่าสูงกว่า แสดงว่าแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ช่วยลดการเกิด loss ได้

4.3.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับ และหมุนโดยมีมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่เปิดเครื่องและแบบเปิดเครื่อง เมื่อดำเนินการหาค่า Pathloss ที่ได้จากการ $10\log (P_r/P_t)$ พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ค่า Pathloss ที่ได้จะมีค่าสูงเช่น ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะในการรับส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มีเศษคอมพิวเตอร์ จะพบว่า ในช่วง 180 ถึง 360 องศา มีค่า Pathloss เพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.21

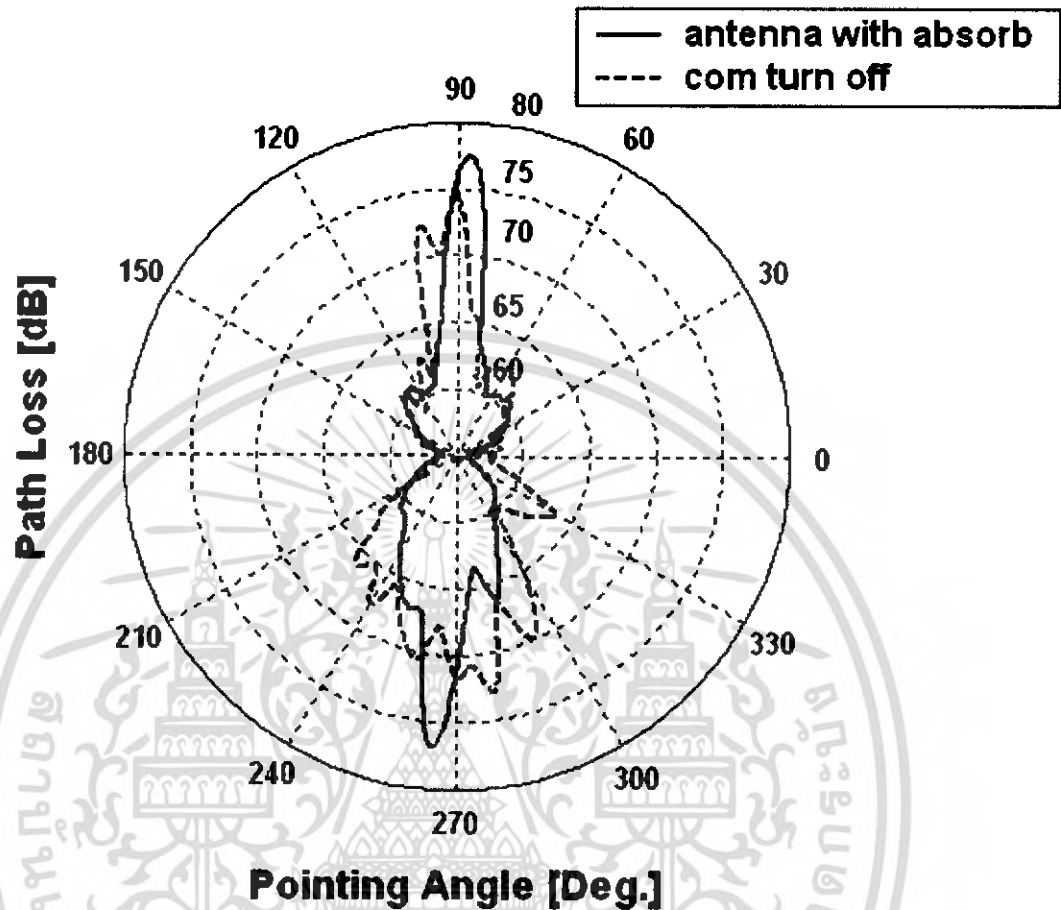


รูปที่ 4.19 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง



รูปที่ 4.20 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



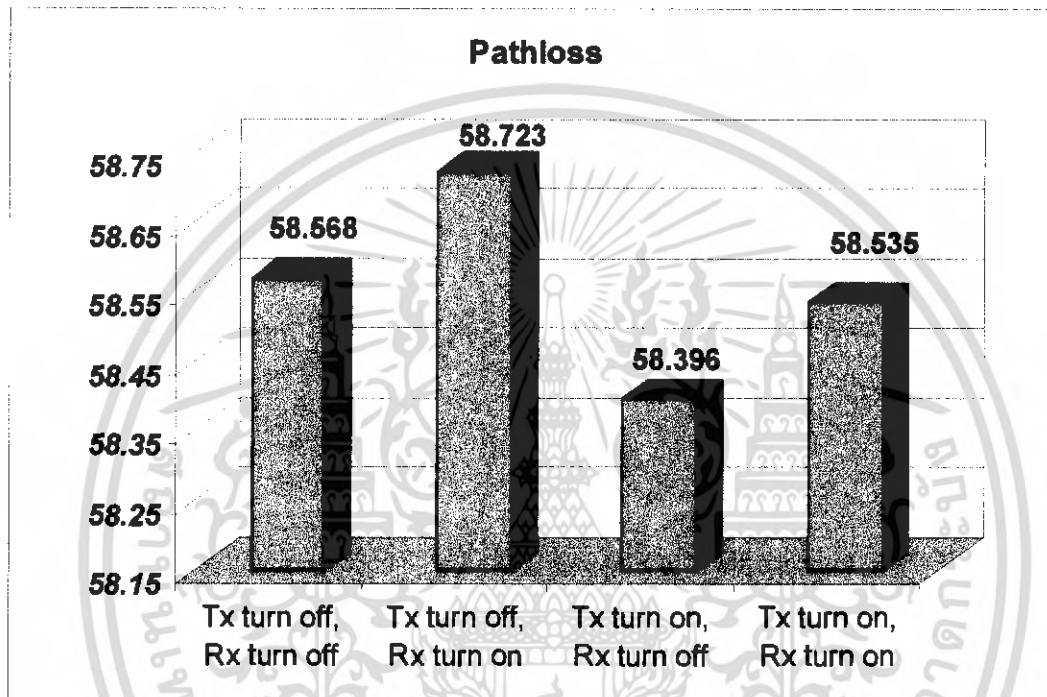
รูปที่ 4.21 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่องเปรียบเทียบกับ Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน

ในการทดลองที่ 2 เมื่อนำเศษของคอมพิวเตอรืมาติดกับสายอากาศทางด้านรับและทำการหมุนเครื่องทีละ 5 องศา โดยทำการทดลองทั้งปิดและเปิดเครื่อง จะพบว่าค่า pathloss ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันและ pathloss จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วง 180 ถึง 360 องศาแสดงว่าเศษของคอมพิวเตอรืมีผลต่อการเกิด pathloss แต่การเปิดและปิดเครื่องไม่มีผลกระทบต่อค่า pathloss มากเท่าไร

เมื่อนำ pathloss ของการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ มาเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 2 ที่มีเศษคอมพิวเตอรืแบบปิดเครื่อง พบว่า pathloss ของการทดลองที่ 1 มีค่าสูงกว่าที่ประมาณมุมที่ 90 และ 270 องศา แต่ที่มุมอื่น ๆ โดยรวมแล้ว pathloss ของการทดลองที่ 2 จะมีค่ามากกว่าแสดงว่าเศษคอมพิวเตอรืมีผลต่อการเกิดค่า loss ในการส่งสัญญาณ

4.3.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและด้านส่ง เป็นการส่งสัญญาณในลักษณะ omni-directional ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง ดังกราฟในรูปที่ 4.22 ค่า Pathloss ที่ได้จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 0.5 dB



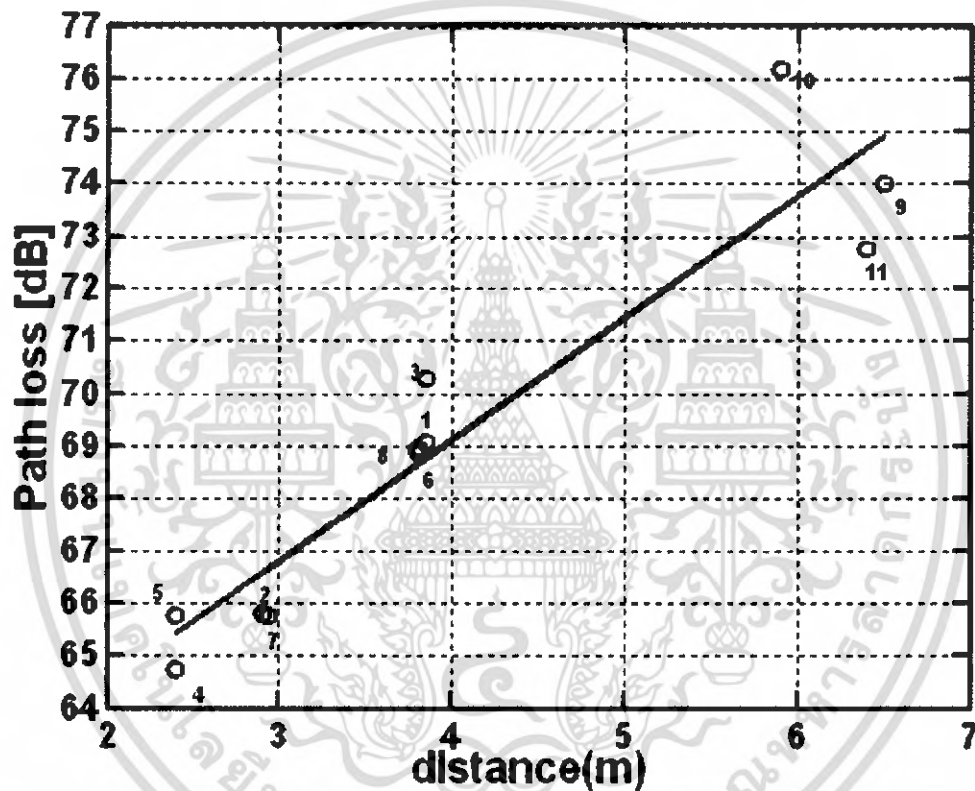
รูปที่ 4.22 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

จากกราฟที่ได้จากการทดลองจะพบว่า จะเกิด pathloss มากที่สุดเมื่อทำการปิดเครื่องที่สายอากาศด้านส่งและเปิดเครื่องที่สายอากาศด้านรับซึ่งมีค่า 58.723 dB รองลงมาคือปิดเครื่องทั้งทางด้านรับและด้านส่ง เปิดเครื่องทั้งทางด้านรับและด้านส่ง ตามลำดับและเกิด pathloss น้อยที่สุดคือการเปิดเครื่องที่ด้านส่งและปิดเครื่องที่ด้านรับ ซึ่งมีค่า 58.396 dB จะเห็นได้ว่าค่า pathloss ที่มากที่สุดกับค่าที่ต่ำที่สุดต่างกันเพียงแค่ 0.327 dB แสดงว่าการปิดหรือเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์มีผลกระทบต่อเกิด pathloss น้อยมาก

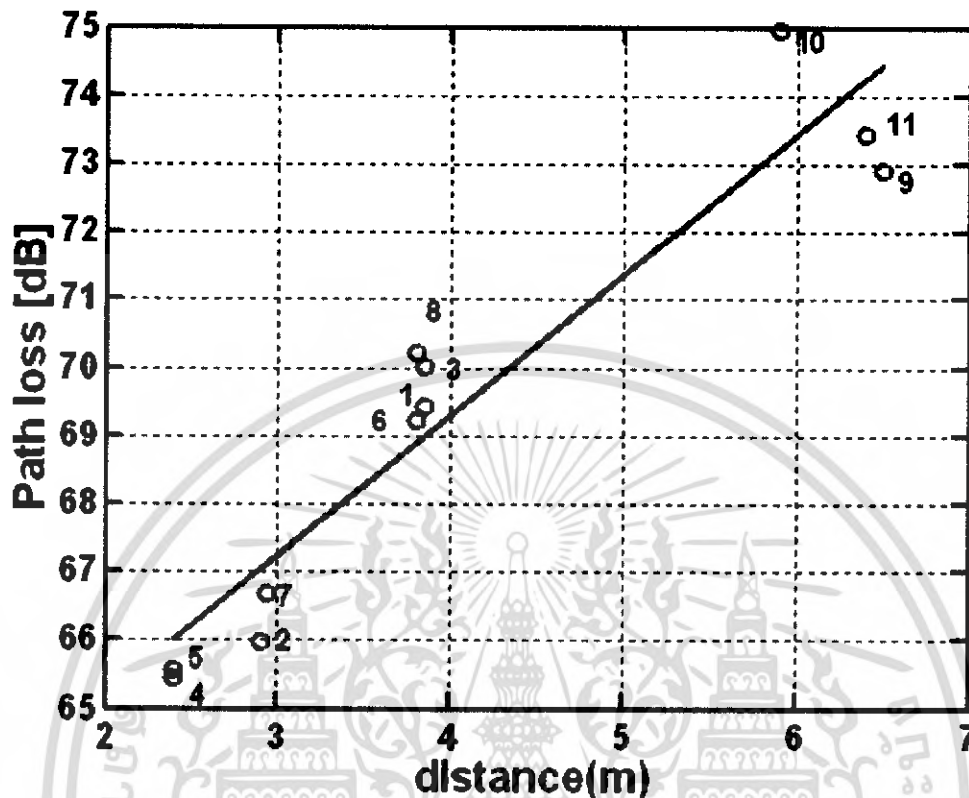
4.3.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองโดยการนำสายอากาศไปติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่วางเป็นระบบเน็ตเวิร์ค โดยวางสายอากาศทางด้านรับให้อยู่กับที่แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศทางด้านส่งไปเรื่อย ๆ และเป็นการส่งสัญญาณแบบ omni-directional สายอากาศแบบ โดยทำการทดลองทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมกันทั้งระบบจะได้ดังกราฟ

เมื่อทำการปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

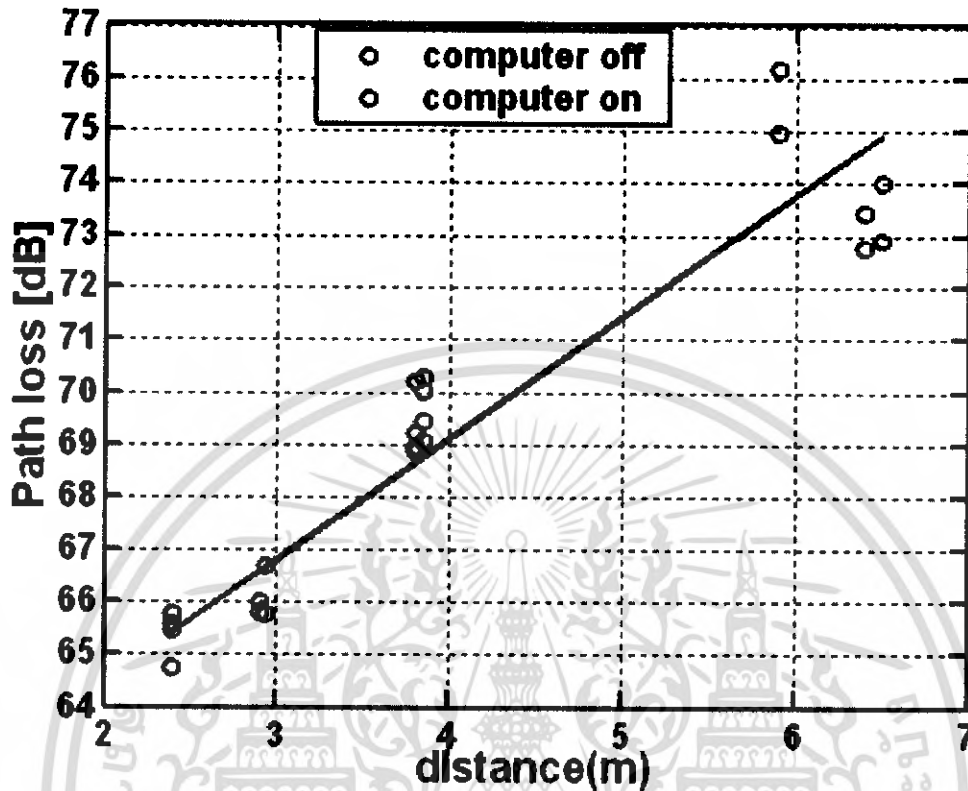


รูปที่ 4.23 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4
เมื่อทำการปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค



รูปที่ 4.24 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4
เมื่อทำการเปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค

จากรูปที่ 4.23 และรูปที่ 4.24 ที่ได้จะพบว่า ทั้งในการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบเน็ตเวิร์คนั้นจะเกิด pathloss สูงสุดที่เครื่องที่ 10 รองลงมาคือเครื่องที่ 9 และ 11 ซึ่งมีค่า pathloss ใกล้เคียงกัน ที่ค่า pathloss ของ เครื่องที่ 10 มีค่ามากกว่าเครื่องที่ 9 และ 11 ทั้งที่มีระยะห่างจากเครื่องน้อยกว่า ก็เพราะว่าอาจเกิดจากการบดบังสัญญาณระหว่างตัวส่งสัญญาณของเครื่องที่ 10 กับตัวรับสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 7 และเครื่องที่เกิด pathloss น้อยที่สุดนั่นคือเครื่องที่อยู่ห่างกันน้อยที่สุดระหว่างตัวรับกับตัวส่งนั่นก็คือเครื่องที่ 4 และเครื่องที่ 5 แม้เครื่องที่ 4 จะมีค่า pathloss น้อยกว่าเครื่องที่ 5 แต่ก็มีค่าต่างกันแค่เพียงประมาณ 1 dB เท่านั้น



รูปที่ 4.25 Pathloss ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเปิดเครื่องและปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์ค

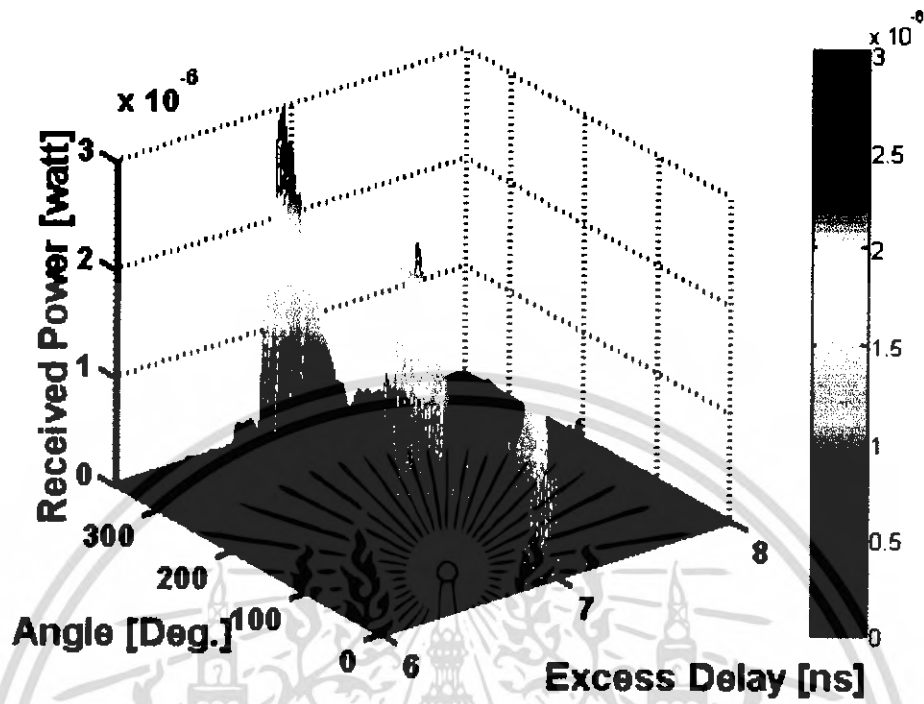
จากรูป 4.25 เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งแบบที่ทำการปิดเครื่องและเปิดเครื่องทั้งระบบเน็ตเวิร์คจะพบว่า ค่า pathloss ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยค่า pathloss ที่มากที่สุดเมื่อทำการปิดเครื่อง คือ 76.1719 dB และเมื่อเปิดเครื่องค่า pathloss ที่มากที่สุดคือ 74.9515 dB ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 1.2204 dB เท่านั้นและค่า pathloss ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อทำการปิดเครื่องคือ 64.7306 dB และเมื่อทำการเปิดเครื่องคือ 65.4671 dB ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 0.7365 dB เท่านั้น แสดงว่าการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์มีผลต่อการเกิด pathloss ในระบบเน็ตเวิร์คน้อยมาก

4.4 Power Delay Profile

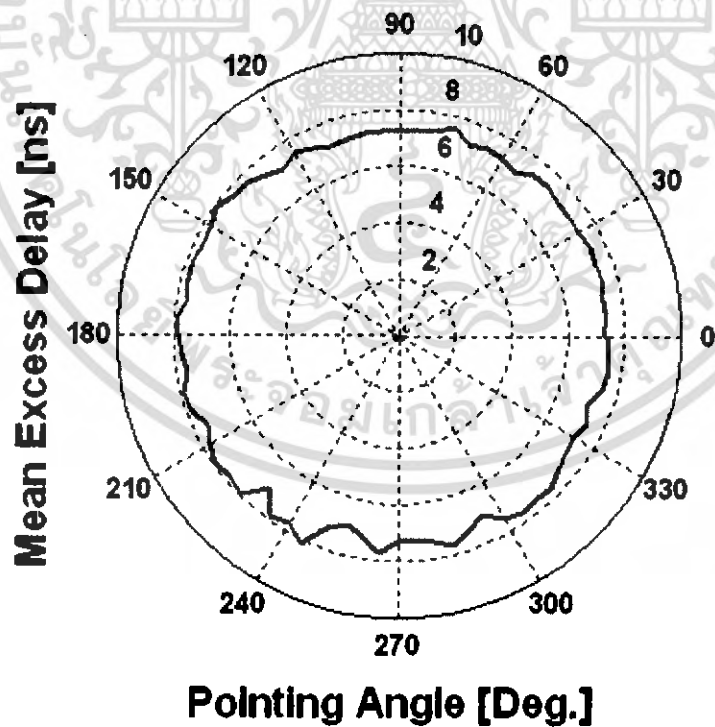
เป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อที่จะทราบค่าของกำลังส่งทางด้วนรับว่ามีค่าเท่าไร (received power) ในการส่งสัญญาณ อีกทั้งยังทราบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณจากทางด้วนส่งไปยังทางด้วนรับ โดยทำการเฉลี่ยจากค่าของ multipath (Mean Excess Delay) อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์หาค่า RMS (Root Mean Square)

4.4.1 การทดลองที่ 1

ในการทดลองที่ 1 นี้จะเป็นการทำการทดลองโดยการหมุนสายอากาศทางด้วนรับ โดยในการทดลองจะเป็นการทดลองแบบไม่มีแผ่น รั้วการสะท้อนกลับและแบบมีแผ่น รั้วการสะท้อนกลับ ซึ่งการหมุนสายอากาศทางด้วนรับจะทำการหมุนทีละ 5 องศา และทำการหาค่า received power ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.29 ซึ่งจะแสดงให้เห็นการรับสัญญาณของทางด้วนรับทีละ 5 องศา โดยเริ่มตั้งแต่ 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา และรูปที่ 4.27 และ 4.30 จะเป็นรูปที่แสดง Mean Excess Delay ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณทีละ 5 องศา และค่า RMS (Root Mean Square) Delay Spread จะแสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.31 ซึ่งจะบอกค่าการกระจายของสัญญาณว่ามีกรเบี่ยงเบนออกไปเท่าไร

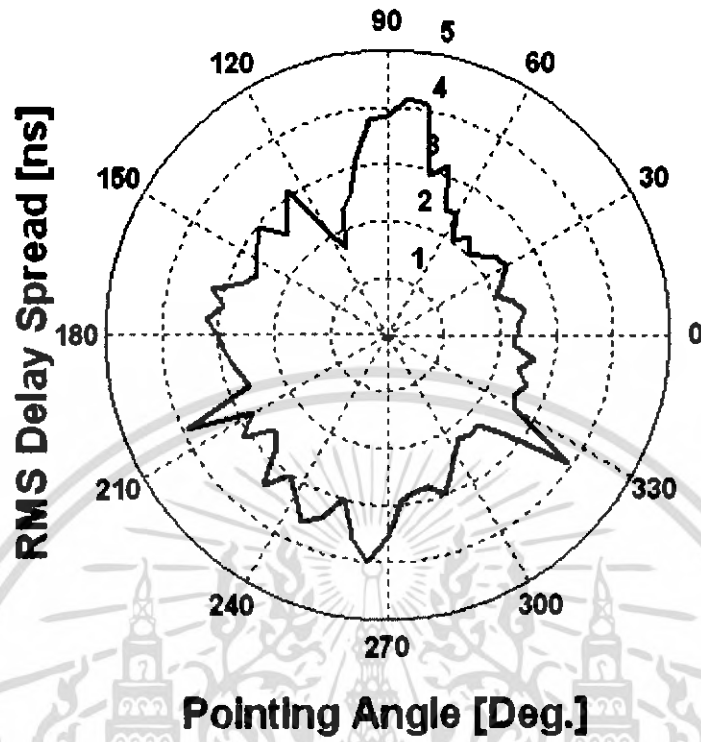


รูปที่ 4.26 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1
แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

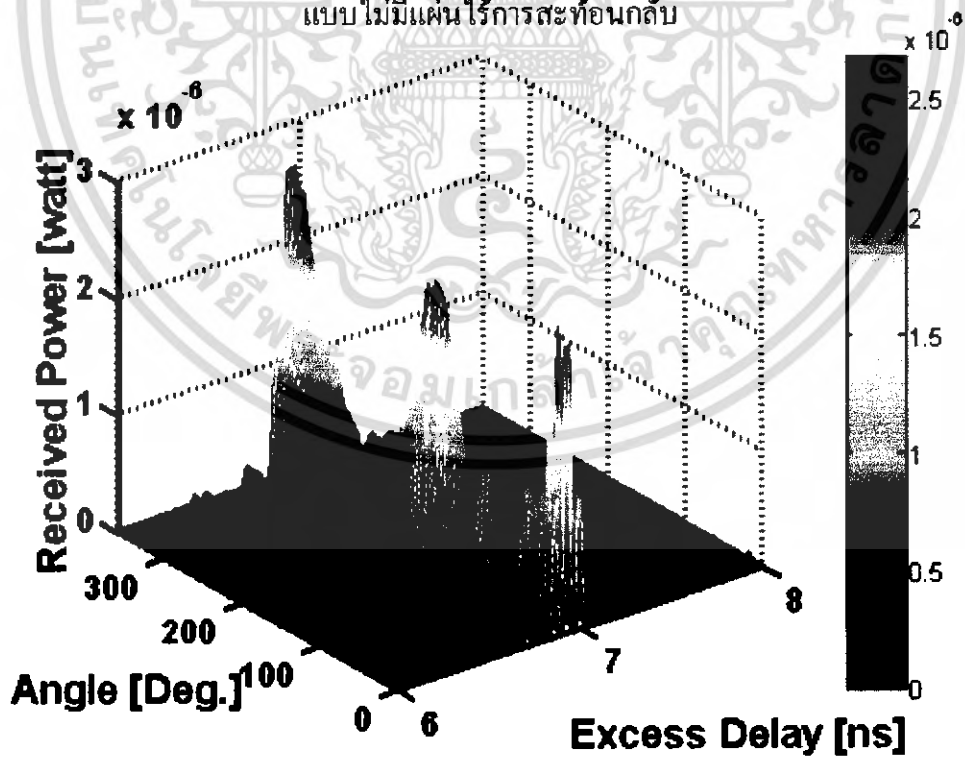


รูปที่ 4.27 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1
แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

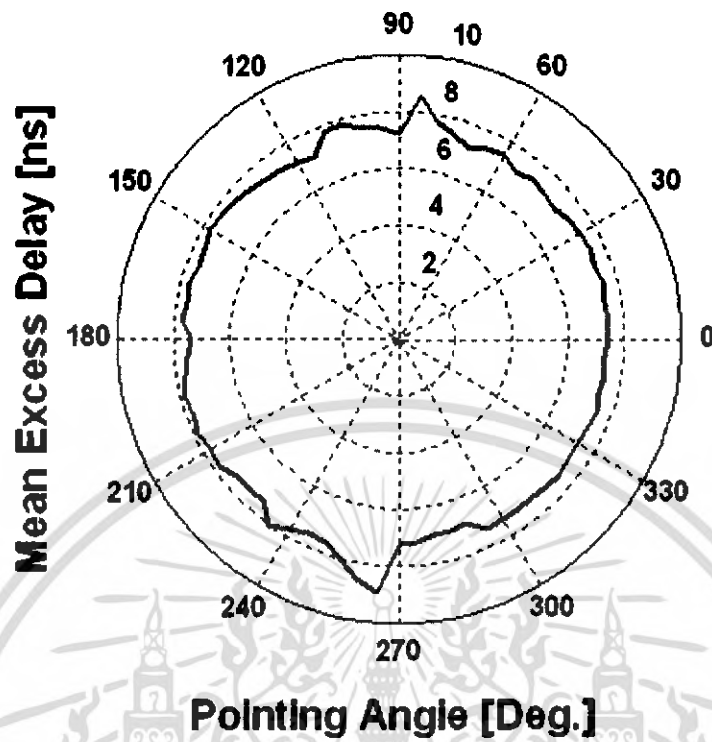


รูปที่ 4.28 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

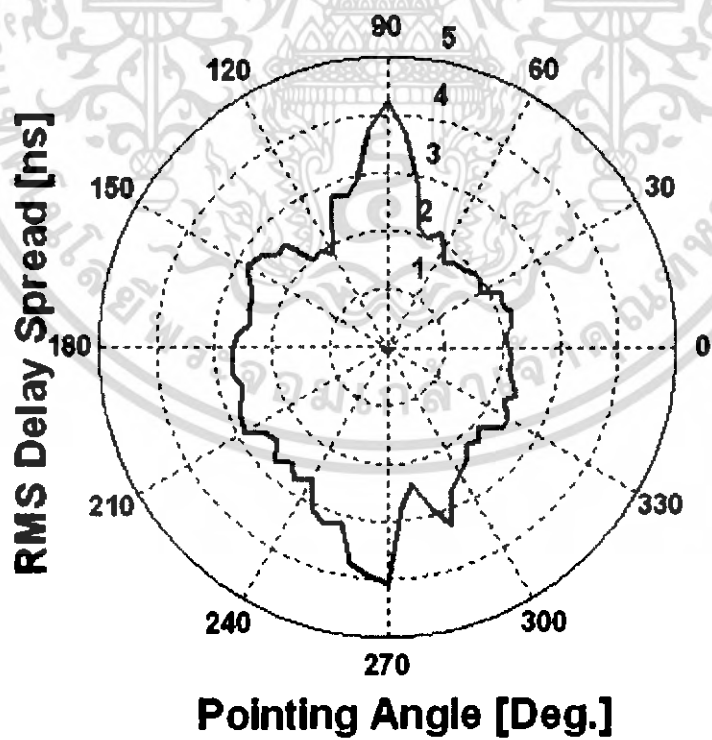


รูปที่ 4.29 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ



รูปที่ 4.31 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

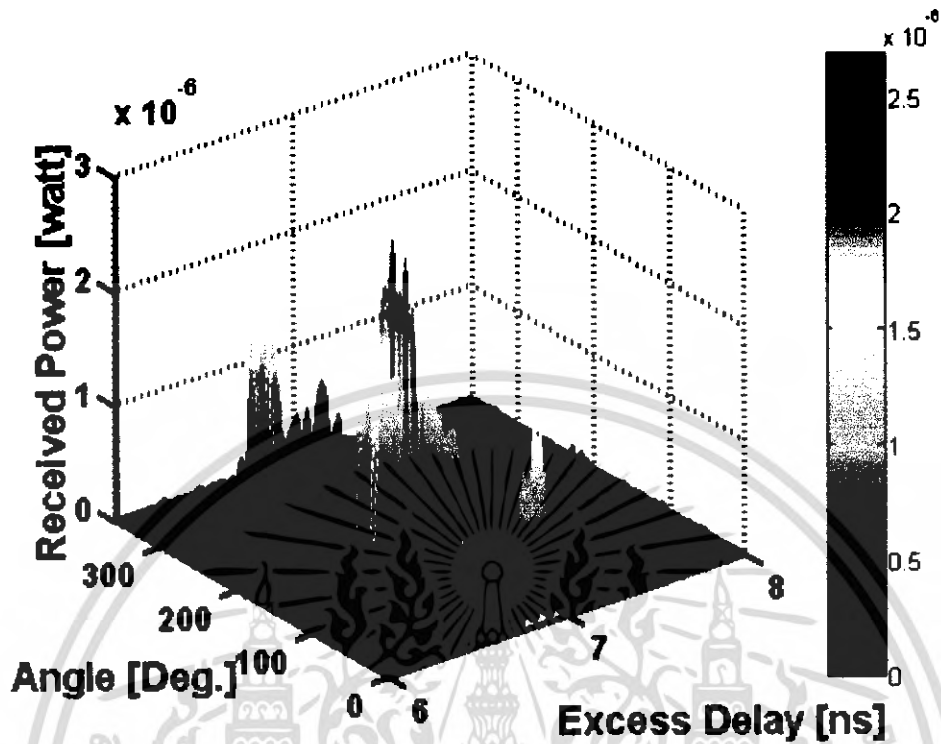
จะเห็นได้ในรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.29 ว่าช่วงที่รับสัญญาณได้ดีที่สุดจะเป็นช่วงที่อยู่ในมุม 0, 180 และ 360 องศาและมีค่าน้อยที่สุดตรงช่วงมุม 90 และ 270 องศา เนื่องจากเป็นมุมที่รับสัญญาณได้ดี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันระหว่างมีแผ่นไร้การสะท้อนกับแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนจะพบว่าในการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนการรับสัญญาณของทางด้านรับจะมีค่าดีกว่าเล็กน้อย

สำหรับค่า Mean Excess Delay เวลาเฉลี่ยในการเดินทางของสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละ 5 องศา ดังในรูปที่ 4.27 และ 4.30 คืออยู่ในช่วง 7-8 ns แต่จะมีที่ประมาณมุม 90 และ 270 ที่จะมีค่าสูงขึ้นมาไม่มากนักซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าไม่อยู่ในมุมที่สามารถรับสัญญาณได้ดีนัก

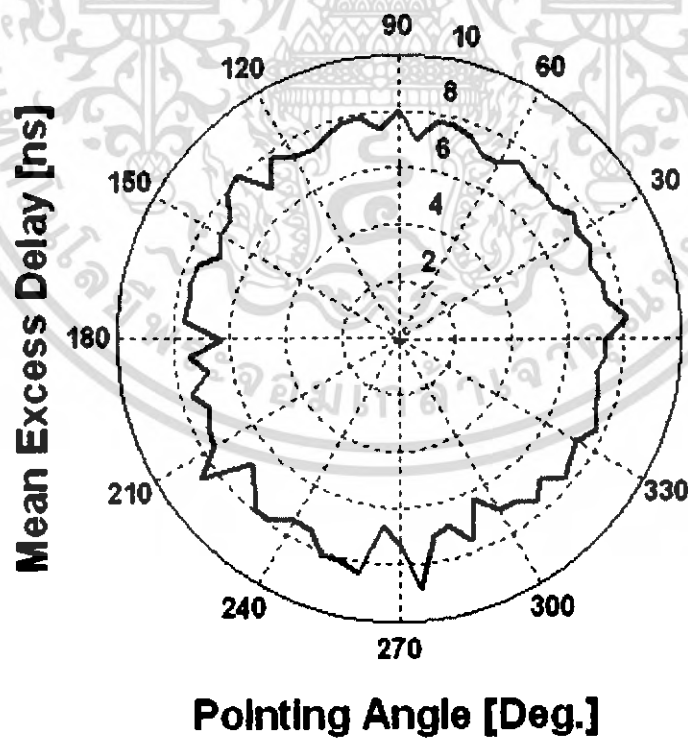
สำหรับค่า RMS Delay Spread จะเห็นได้ว่าทั้งในรูปที่ 4.28 และ 4.31 ค่าจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงของมุม 90 และ 270 จะเกิดการกระจายของสัญญาณมากกว่าที่มุมอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจจะเกิดจากการเป็นมุมที่รับสัญญาณได้ไม่ดีทำให้เกิดการกระจายของสัญญาณได้มาก โดยอาจเกิดได้จาก multipath เป็นต้น

4.4.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองโดยนำเคสของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและทำการหมุนเคสของคอมพิวเตอร์โดยมีมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่เปิดเครื่องและแบบเปิดเครื่อง เพื่อทำการหาค่า received power, Mean Excess Delay, RMS Delay Spread

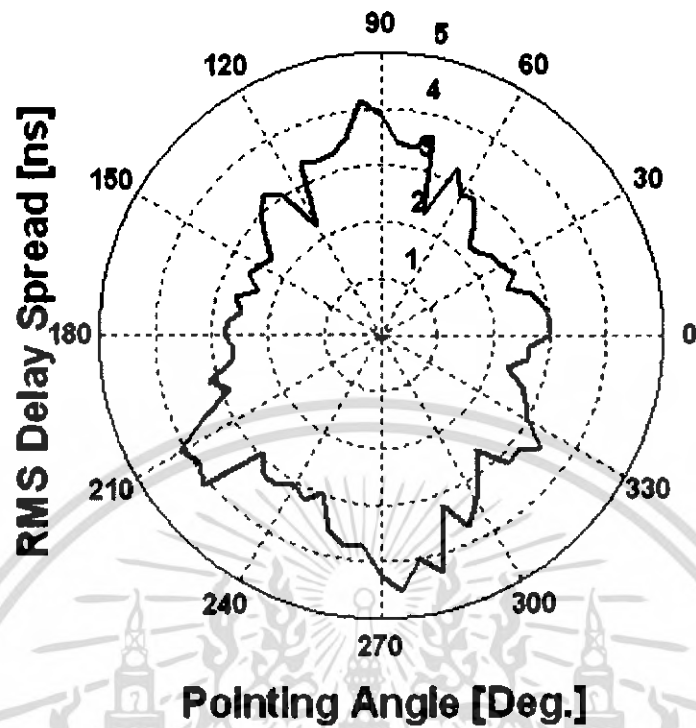


รูปที่ 4.32 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง

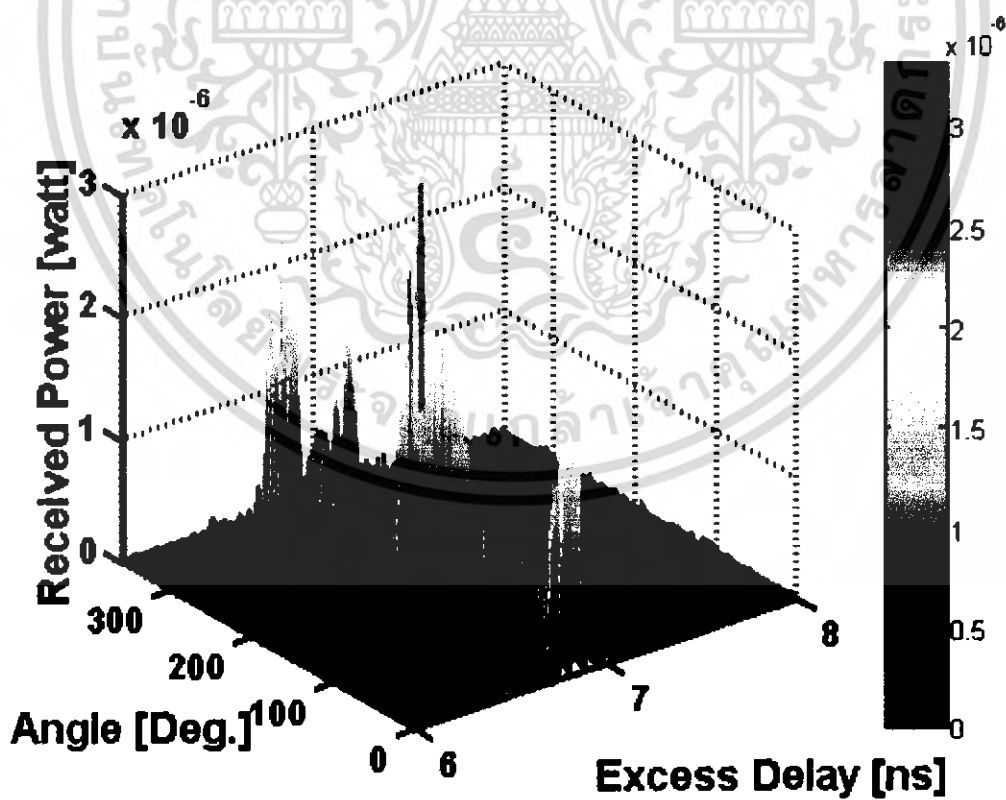


รูปที่ 4.33 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2
แบบไม่เปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

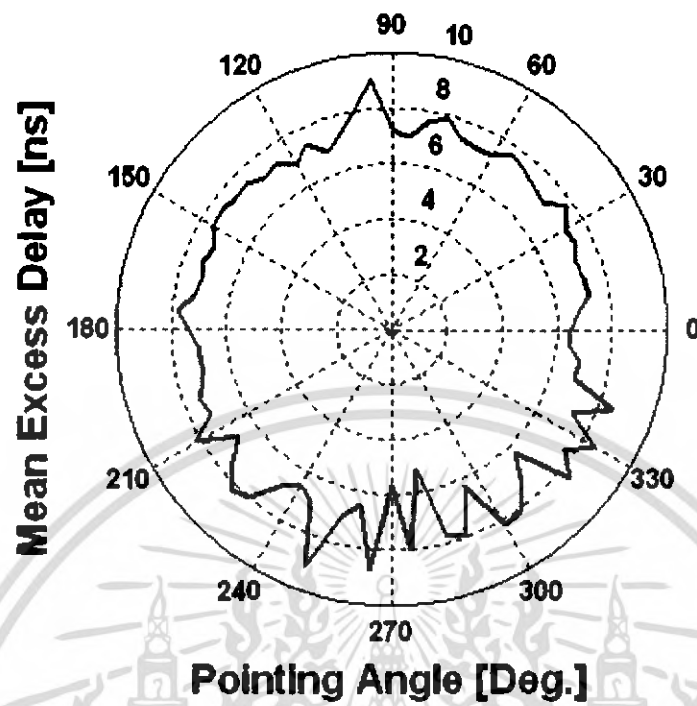


รูปที่ 4.34 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2
แบบไม่เปิดเครื่อง

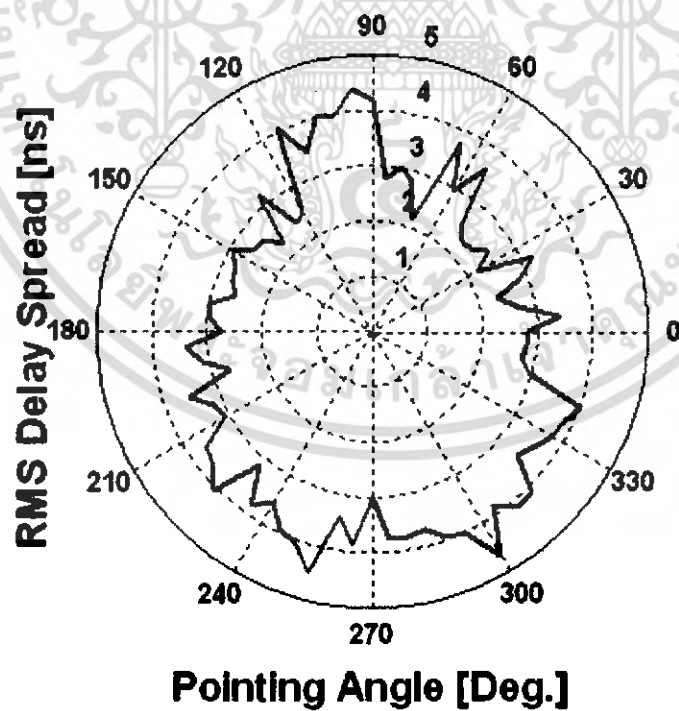


รูปที่ 4.35 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2
แบบเปิดเครื่อง



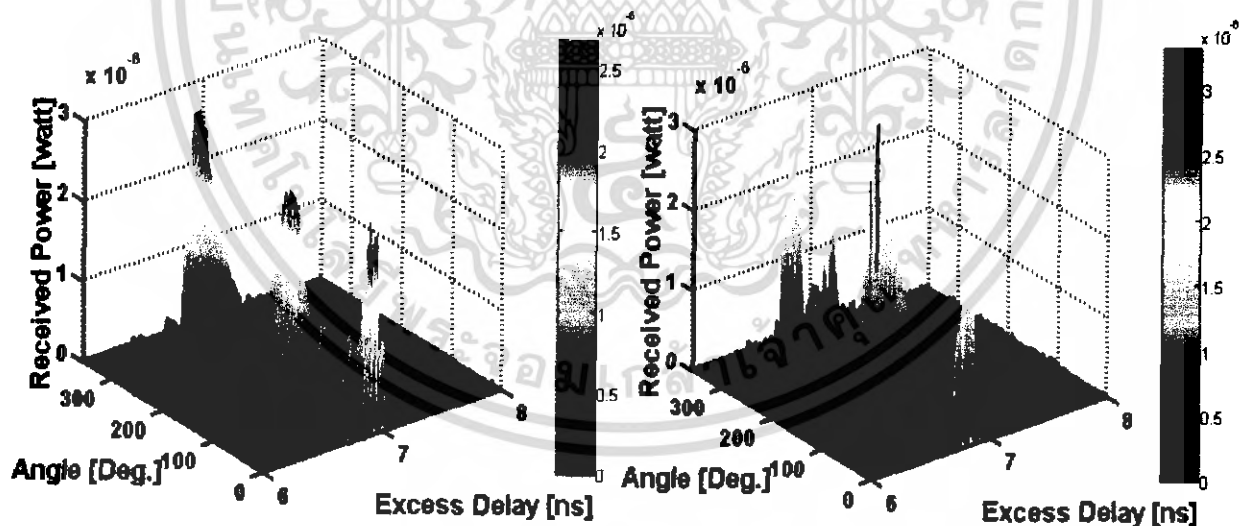
รูปที่ 4.37 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 2
แบบเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ในรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.35 ว่าช่วงที่รับสัญญาณได้ดีที่สุดจะเป็นช่วงที่อยู่ในมุม 0, 180 และ 360 องศาและมีค่าน้อยที่สุดตรงช่วงมุม 90 และ 270 องศา เนื่องจากเป็นมุมที่รับสัญญาณได้ไม่ดี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างเลขของพิวเตอร์ที่ทำการเปิดเครื่องและไม่เปิดเครื่องจะพบว่าระดับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยในการทดลองที่มีการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ การรับสัญญาณจะมีค่าค่าน้อยมากซึ่งแสดงว่าการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มีผลต่อการส่งสัญญาณ

สำหรับค่า Mean Excess Delay เวลาเฉลี่ยในการเดินทางของสัญญาณจะมีค่าไม่ต่างกันมาก แต่ในรูปที่ 4.33 และ 4.36 จะมีอยู่ในช่วงองศาประมาณ หลังจาก 180 องศา ค่า Mean Excess Delay เริ่มมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากบางมุมมีการบดบังสัญญาณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ทำให้การรับสัญญาณทำได้ไม่คั่นัก

สำหรับค่า RMS Delay Spread จะเห็นได้ว่าทั้งในรูปที่ 4.34 และ 4.37 ค่าจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงของมุม 90 และ 270 และกราฟที่ได้จะมีการกระจายของสัญญาณมาก ซึ่งอาจจะเกิดจากการบดบังของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาติดเข้ากับสายอากาศซึ่งอาจจะทำให้เกิด multipath ได้มากขึ้นเป็นต้น

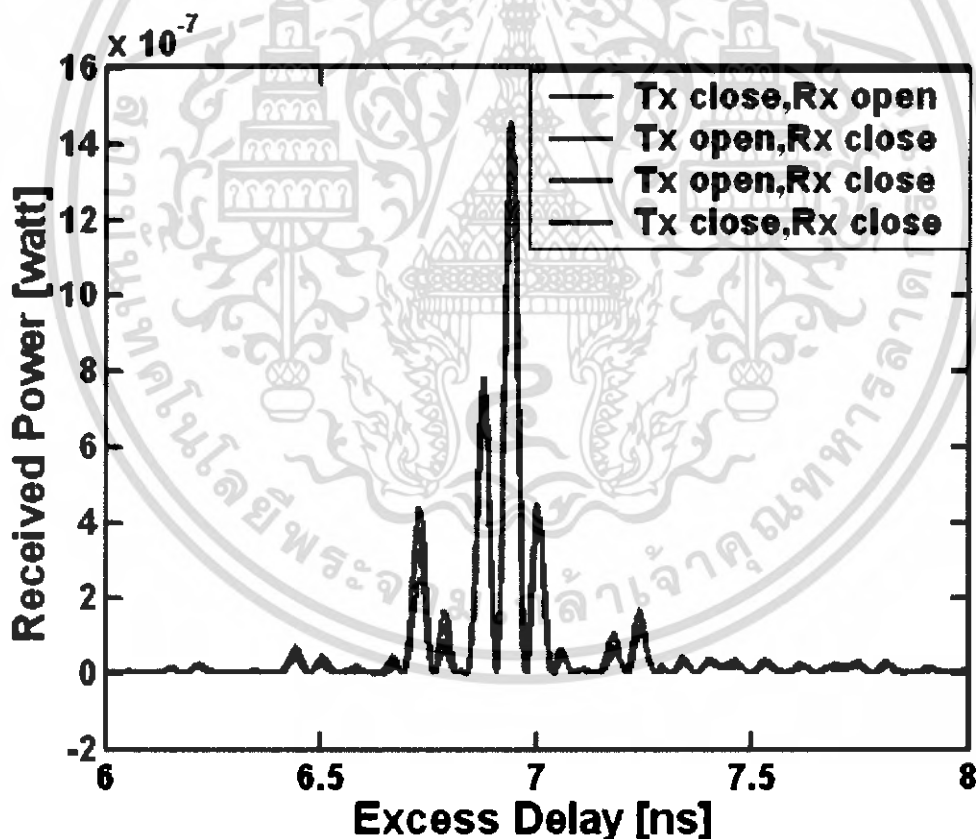


รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบ received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้ การสะท้อนกลับและการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

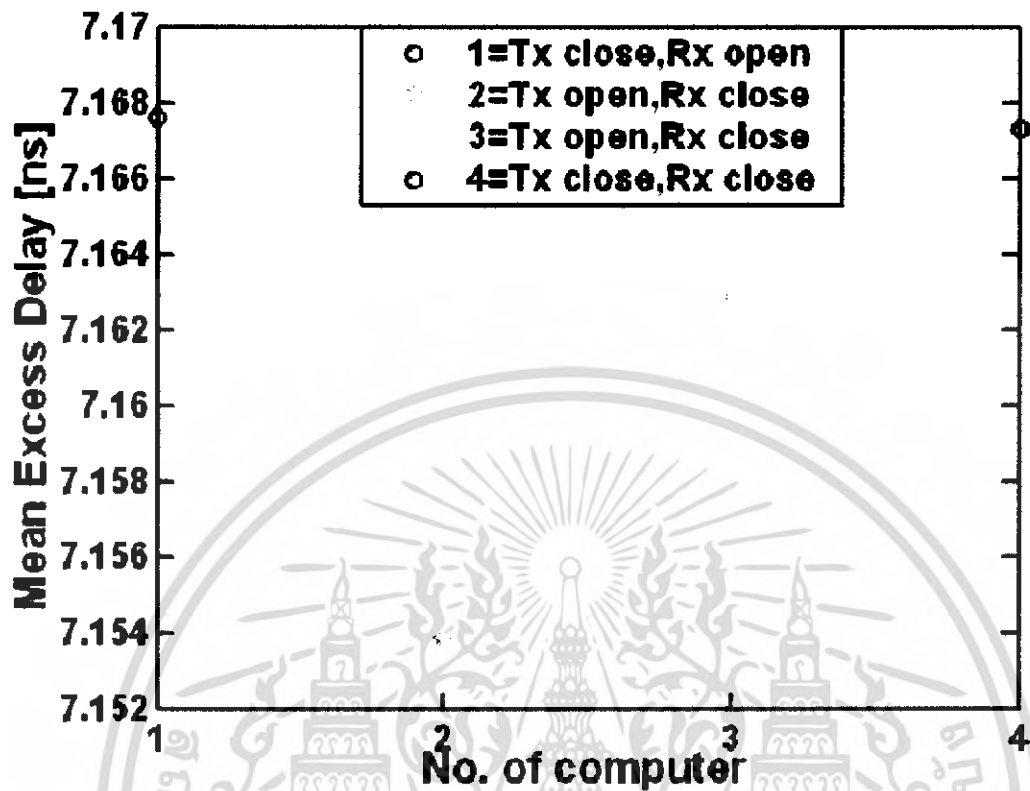
จากรูปที่ 4.38 เมื่อนำ received power มาเปรียบเทียบกันระหว่าง สัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับและการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง จะเห็นได้ว่า การทดลองที่ไม่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวรับสัญญาณจะรับสัญญาณได้ดีกว่าสายอากาศที่นำมาติดเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการมีคอมพิวเตอร์อาจจะทำให้สัญญาณถูกบดบังได้ทำให้รับสัญญาณได้น้อยกว่า

4.4.3 การทดลองที่ 3

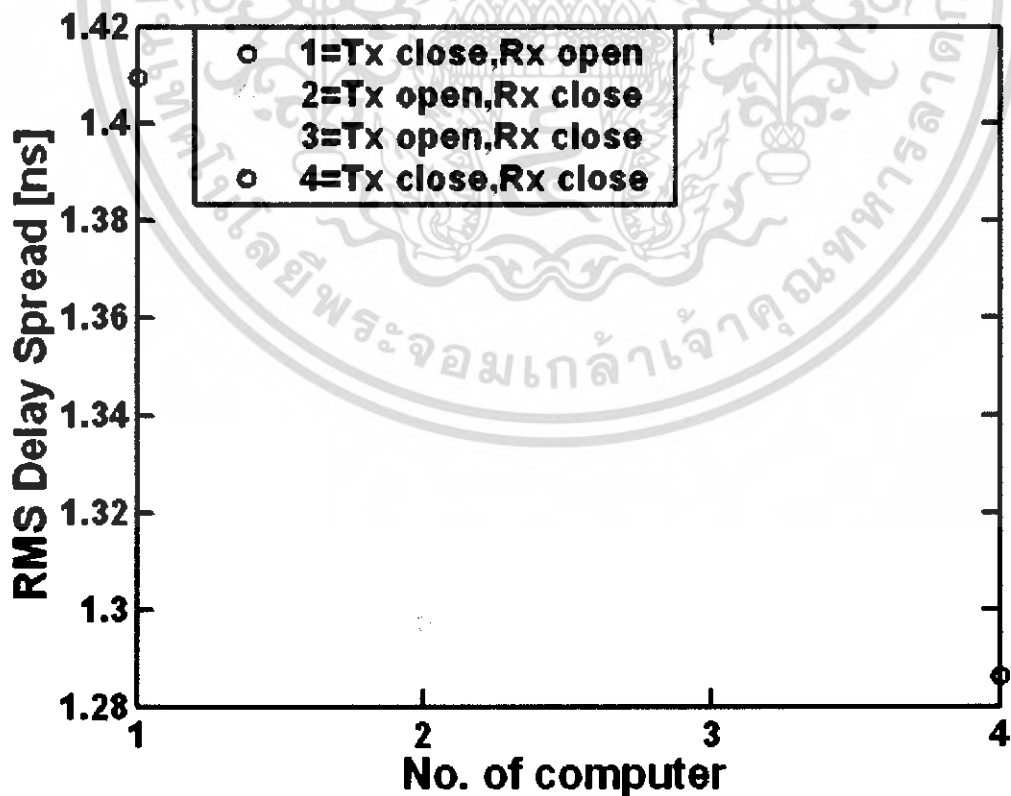
การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและด้านส่ง เป็นการส่งสัญญาณในลักษณะ omni-directional ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่า received power, Mean Excess Delay, RMS Delay Spread



รูปที่ 4.39 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ



รูปที่ 4.40 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ



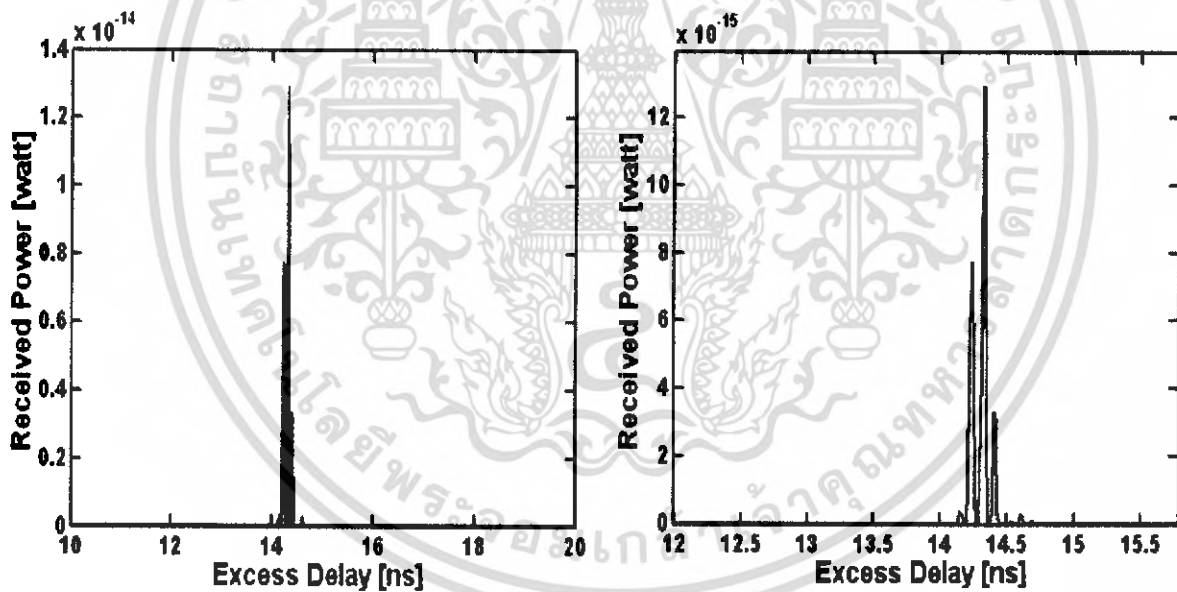
รูปที่ 4.41 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

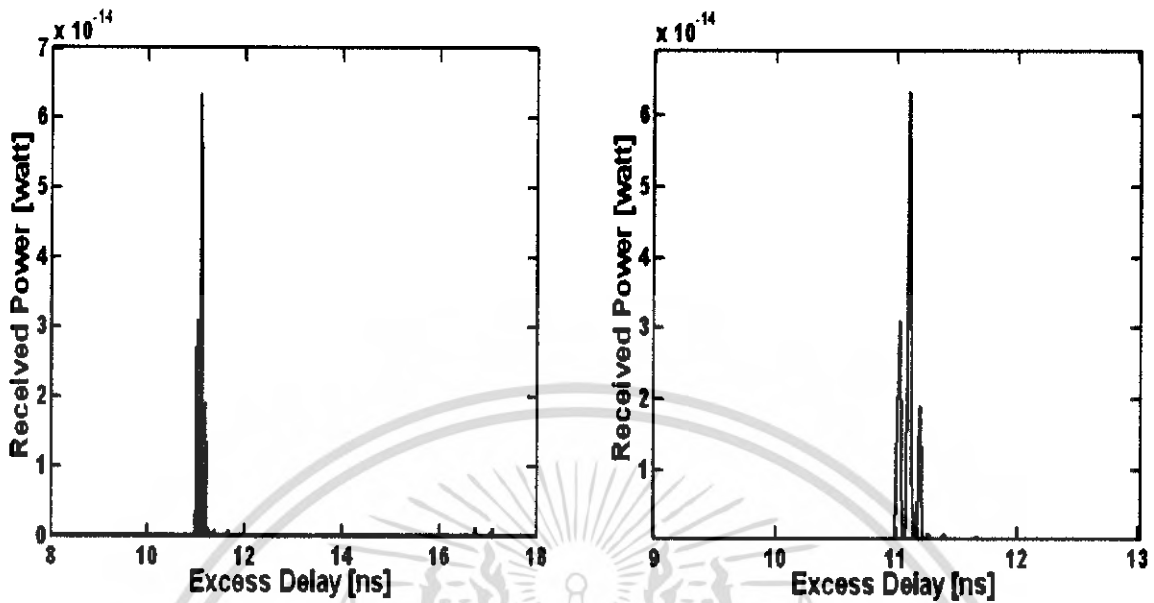
จากรูปที่ 4.39, 4.40 และ 4.41 ค้จากการทดลองจะพบว่า received power ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันหมด โดยจะเกิดเส้นทางในการเดินทางของสัญญาณประมาณ 4 เส้นทางและค่า Mean Excess Delay จะมีค่าใกล้เคียงกันโดยแต่ละกรณีจะมีค่าต่างกันประมาณ 0.01 ns ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับกับ RMS Delay Spread ที่จะมีค่าใกล้เคียงกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าไม่ว่าจะทำการปิดหรือเปิดเครื่องที่ตัวรับหรือตัวส่งก็ตามไม่มีผลต่อการส่งสัญญาณ

4.4.4 การทดลองที่ 4

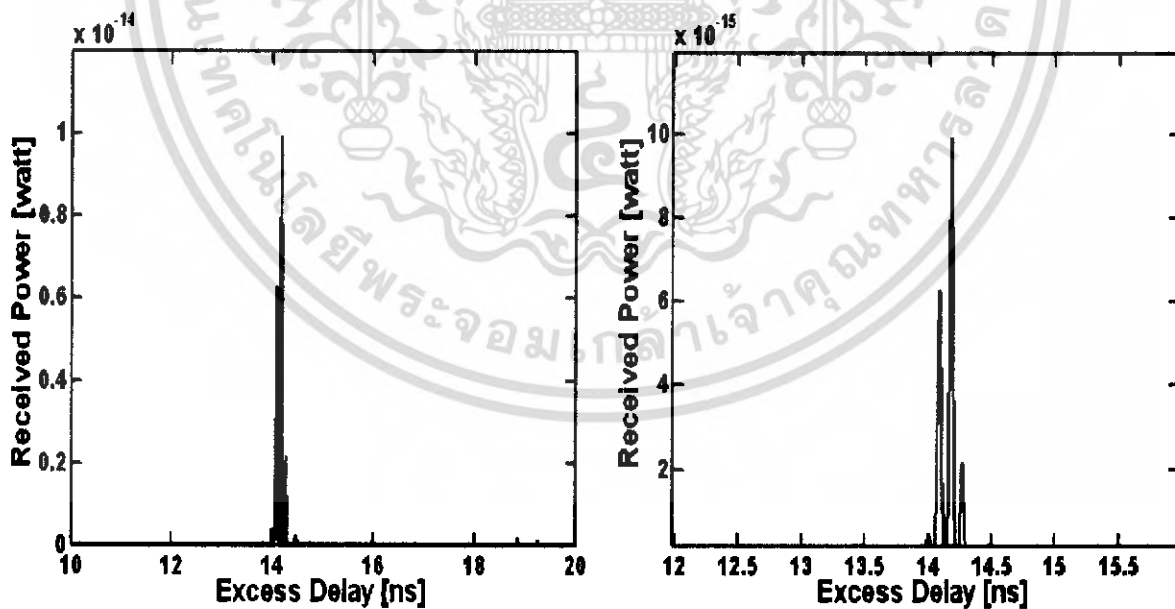
การทดลองที่ 4 ทำการทดลองโดยการนำสายอากาศไปติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่วางเป็นระบบเน็ตเวิร์ค โดยวางสายอากาศทางด้านรับให้อยู่กับที่แล้วทำการเปลี่ยนตำแหน่งสายอากาศทางด้านส่งไปเรื่อย ๆ และเป็นการส่งสัญญาณแบบ omni-directional สายอากาศแบบ โดยทำการทดลองทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมกันทั้งระบบจะได้ค่า received power, Mean Excess Delay, RMS Delay Spread ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.42 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 1 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

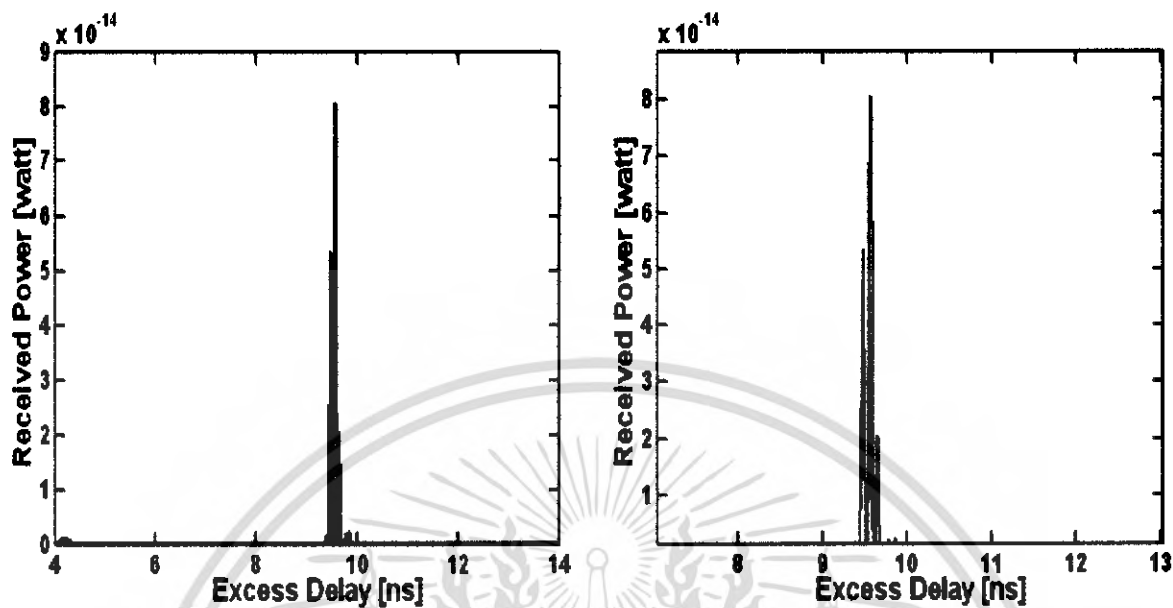


รูปที่ 4.43 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 2 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

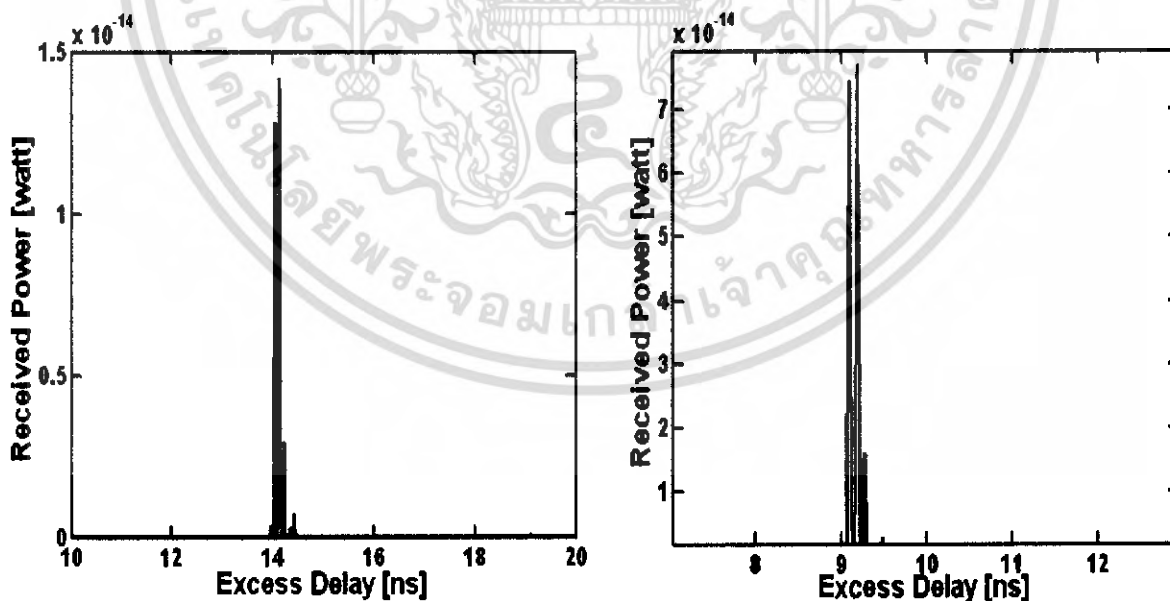


รูปที่ 4.44 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 3 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

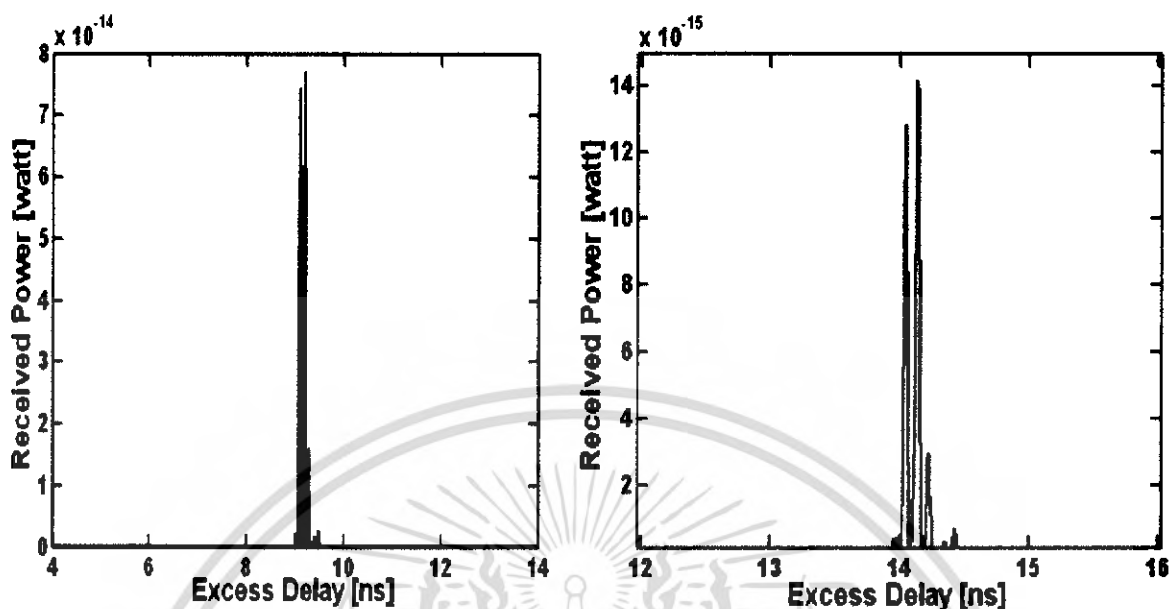


รูปที่ 4.45 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 4 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการเปิดเครื่อง

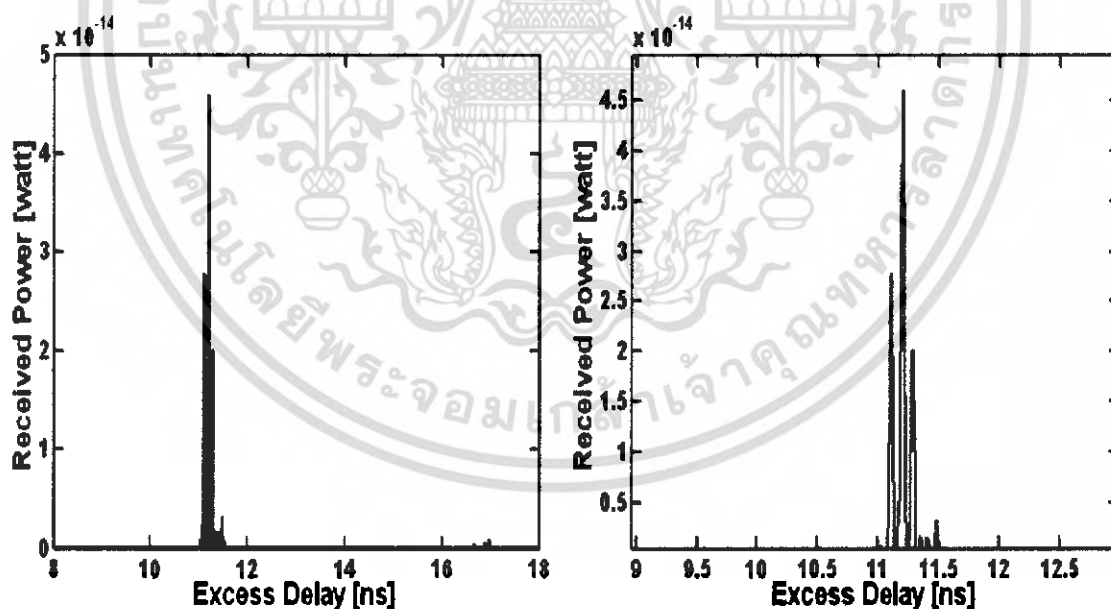


รูปที่ 4.46 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 5 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

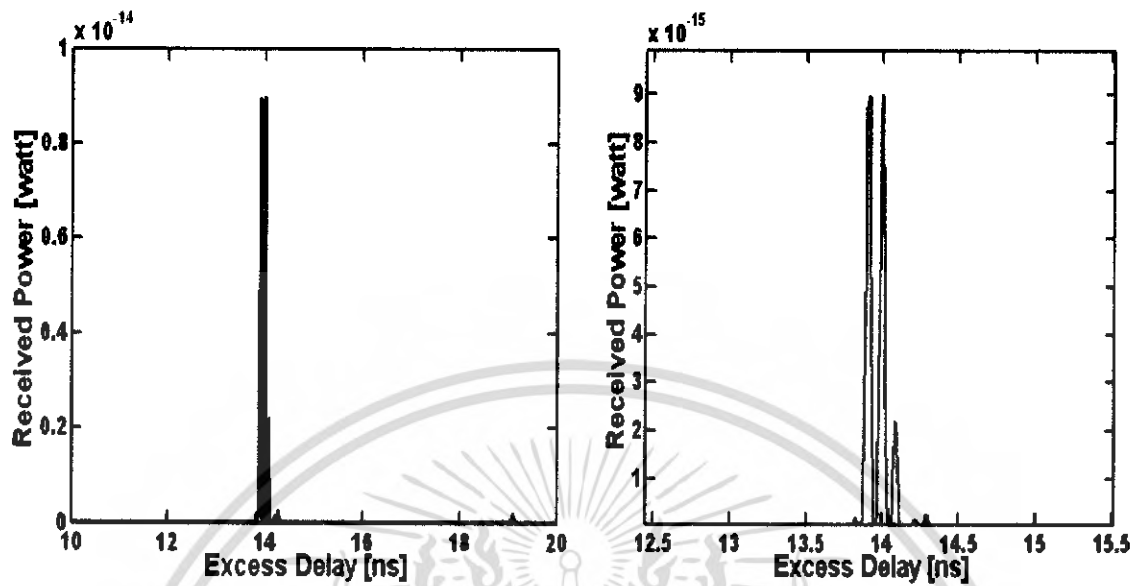


รูปที่ 4.47 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 6 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเบียดเครื่อง

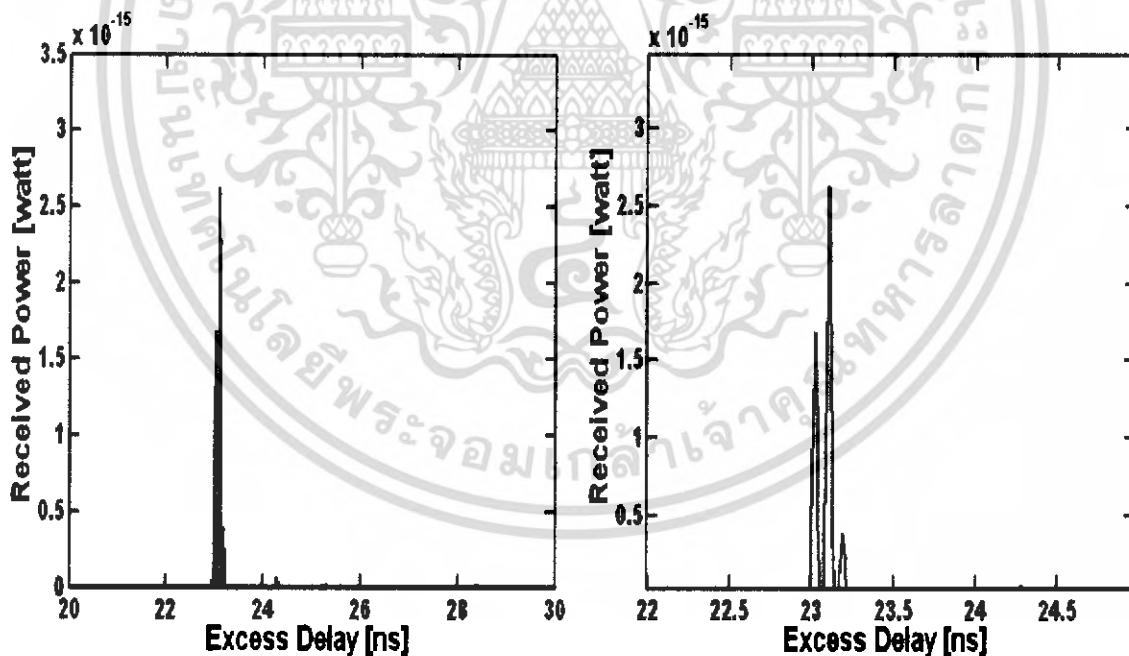


รูปที่ 4.48 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 7 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเบียดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

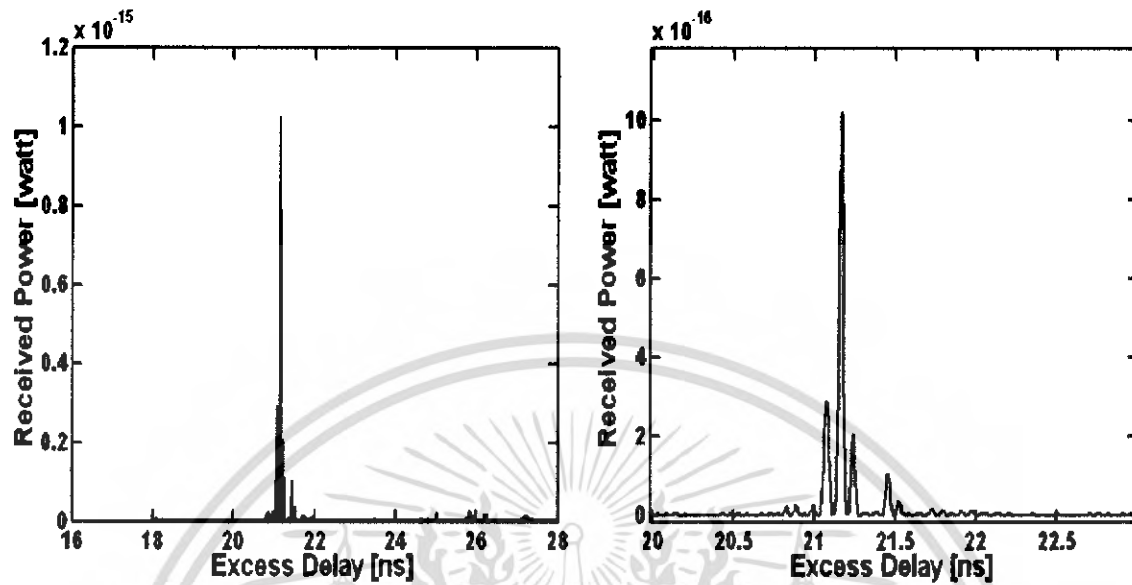


รูปที่ 4.49 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 8 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

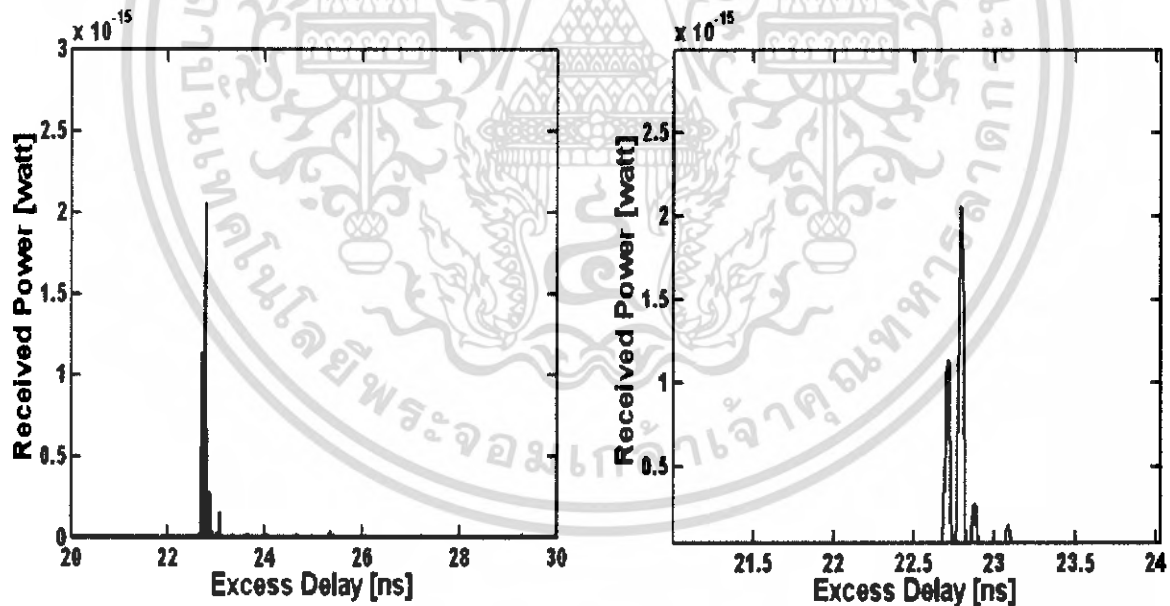


รูปที่ 4.50 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 9 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

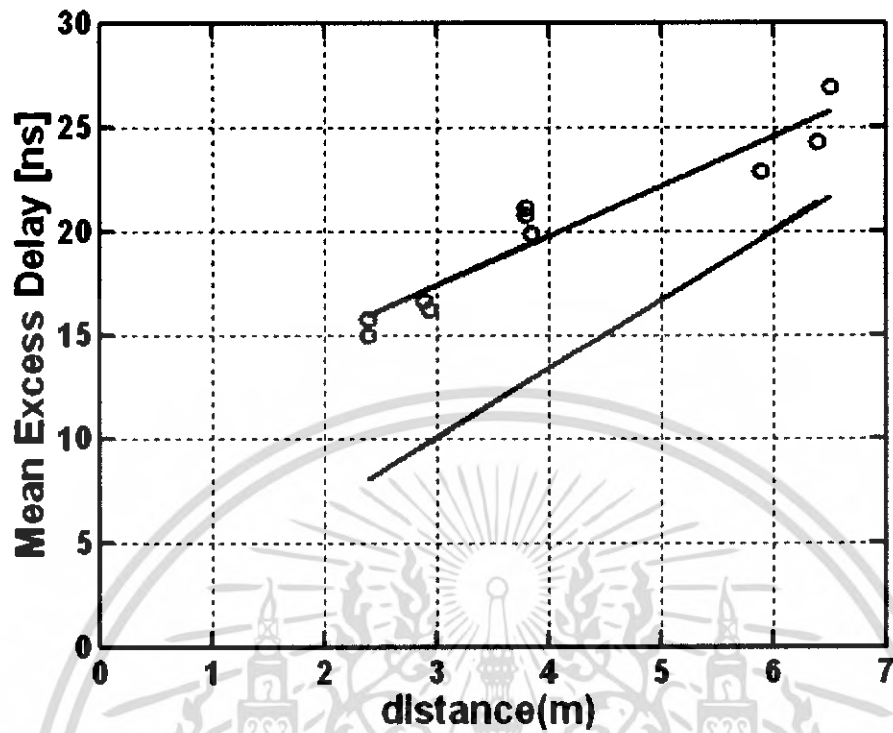


รูปที่ 4.51 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 10 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

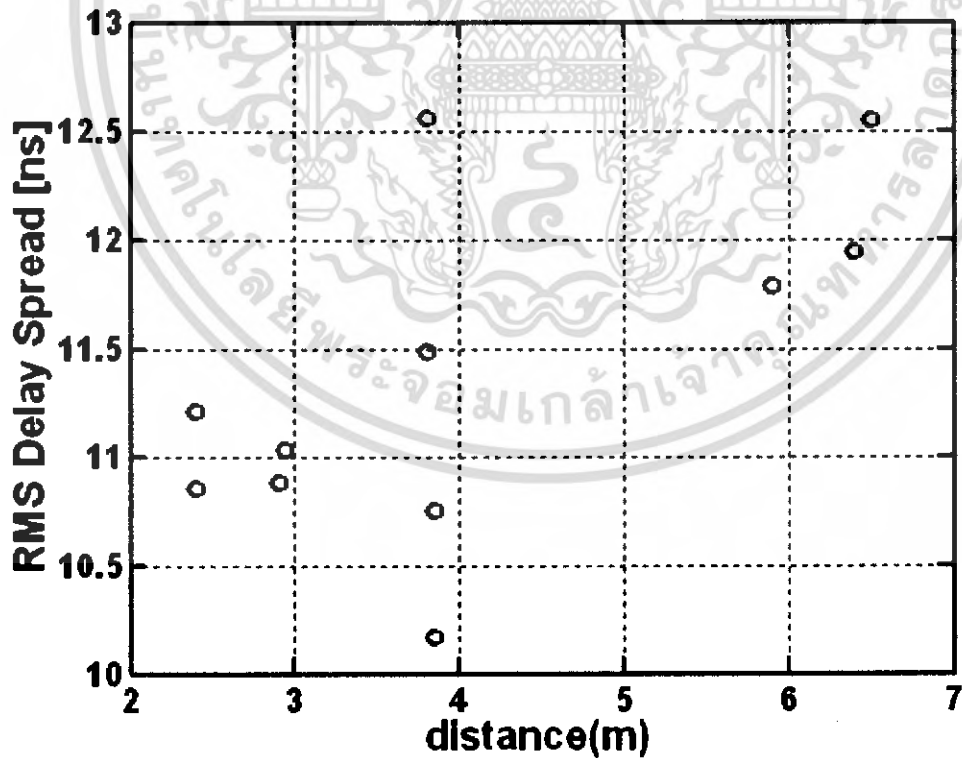


รูปที่ 4.52 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 11 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

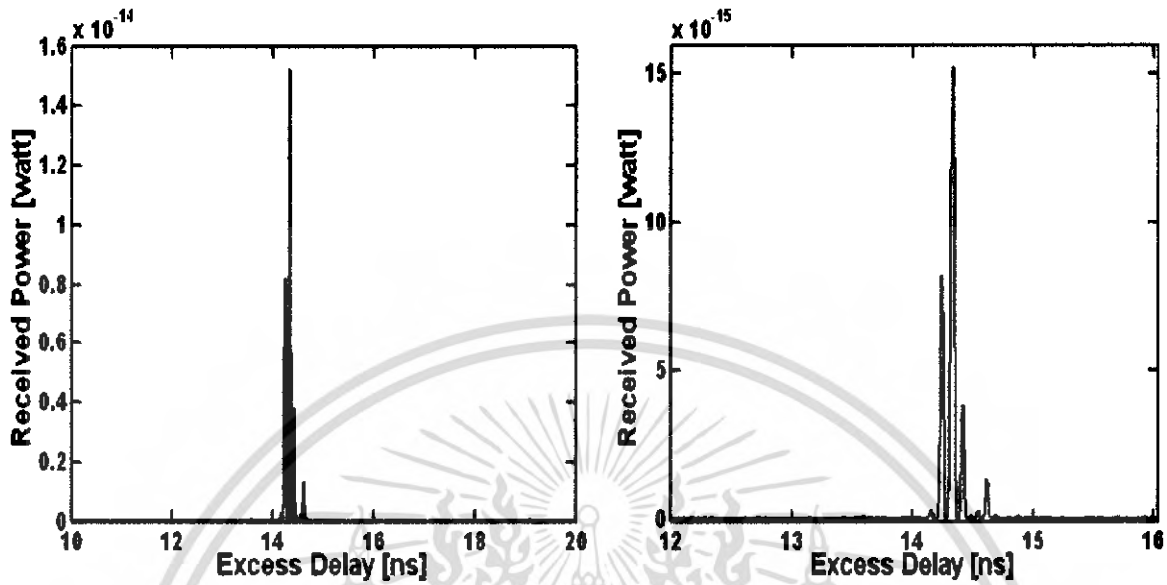


รูปที่ 4.53 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อเทียบกับ free space โดยทำการเปิดเครื่อง

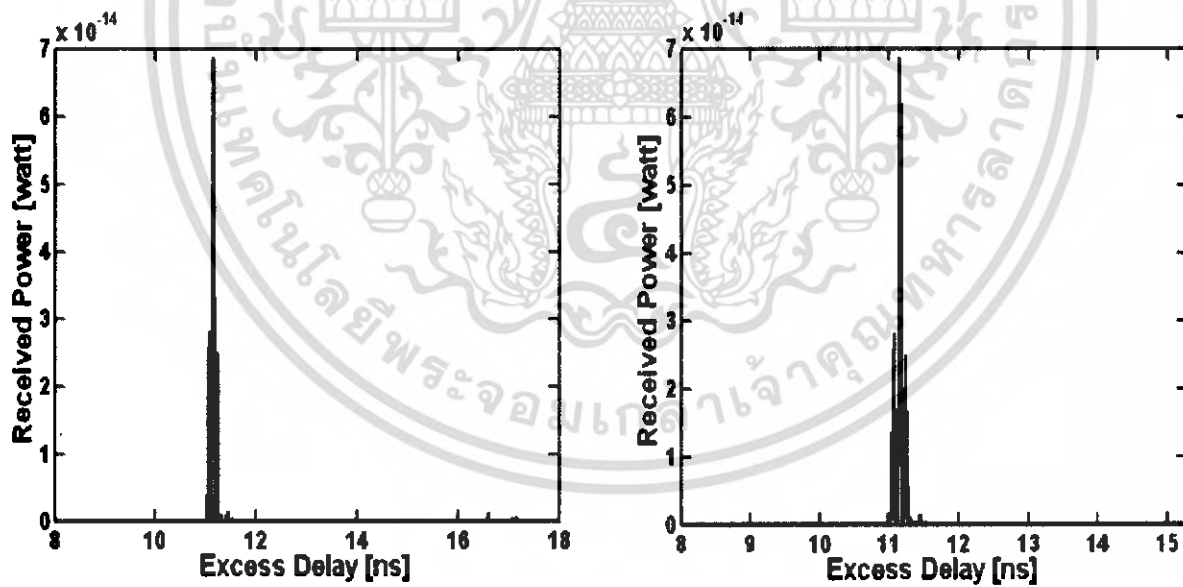


รูปที่ 4.54 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 โดยทำการเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

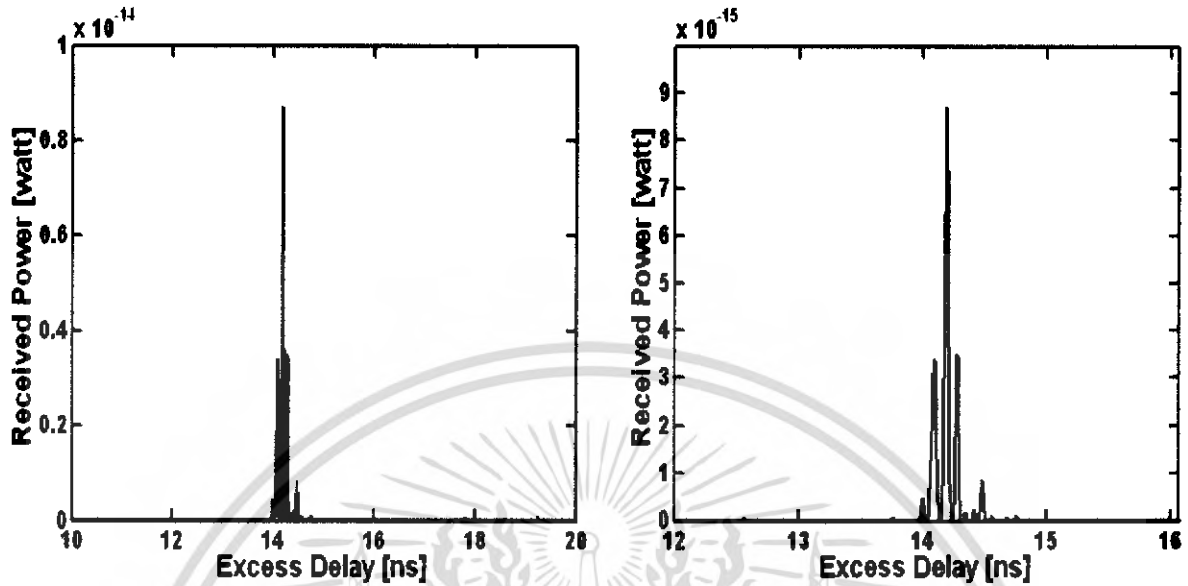


รูปที่ 4.55 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 1 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

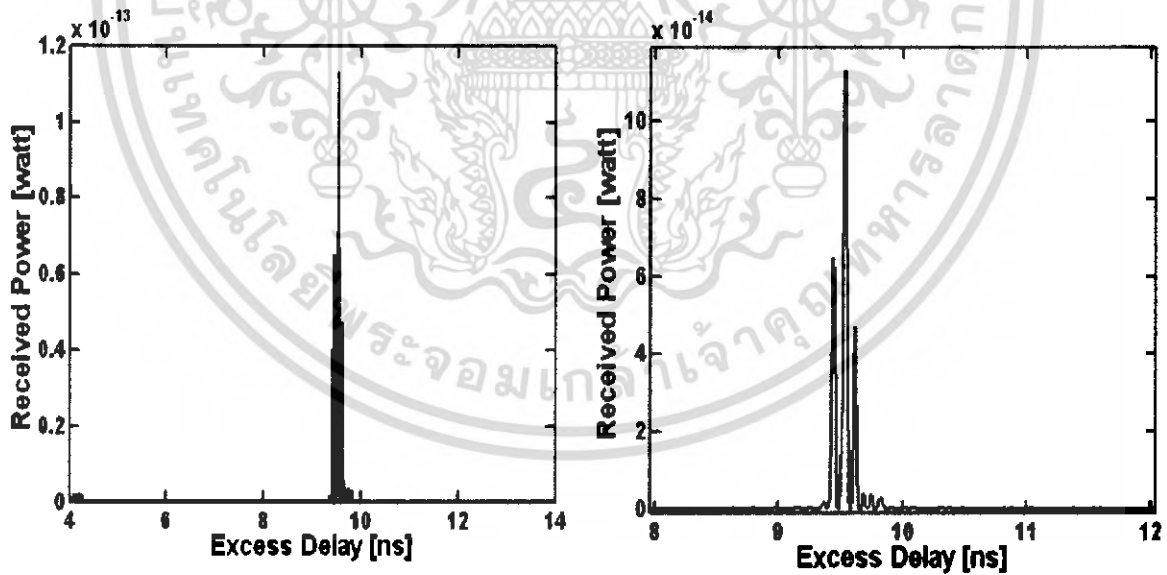


รูปที่ 4.56 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 2 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

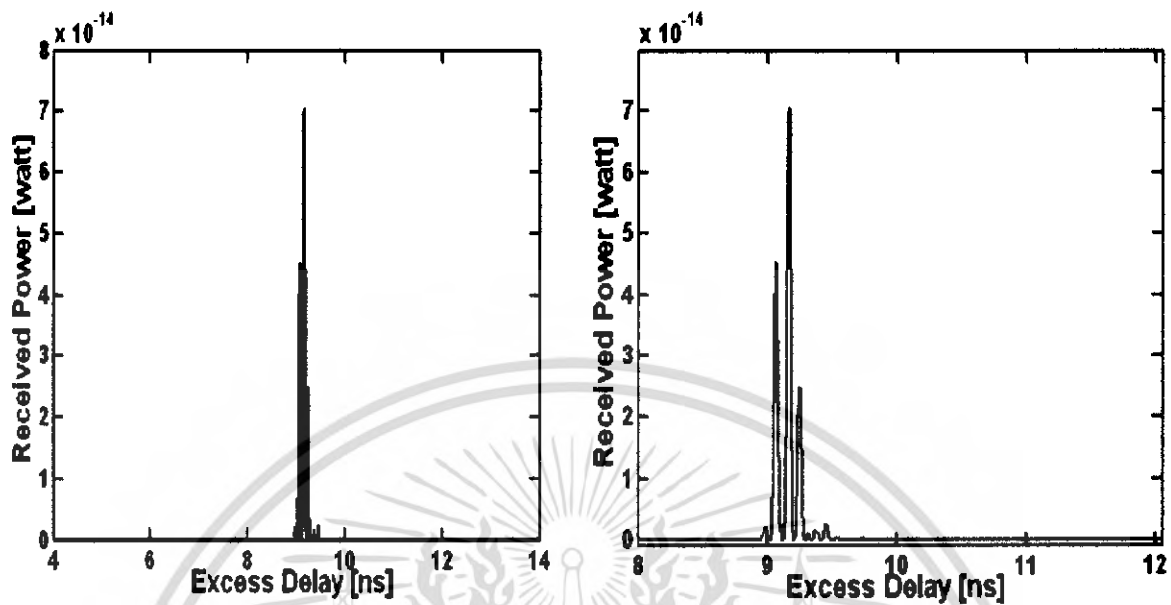


รูปที่ 4.57 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 3 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง

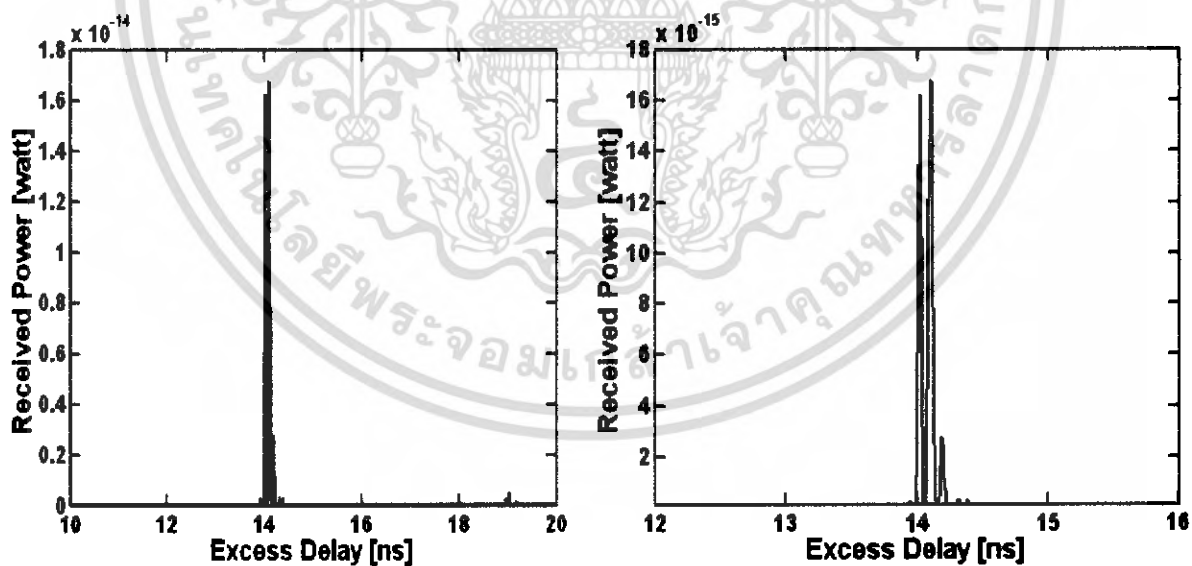


รูปที่ 4.58 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 4 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

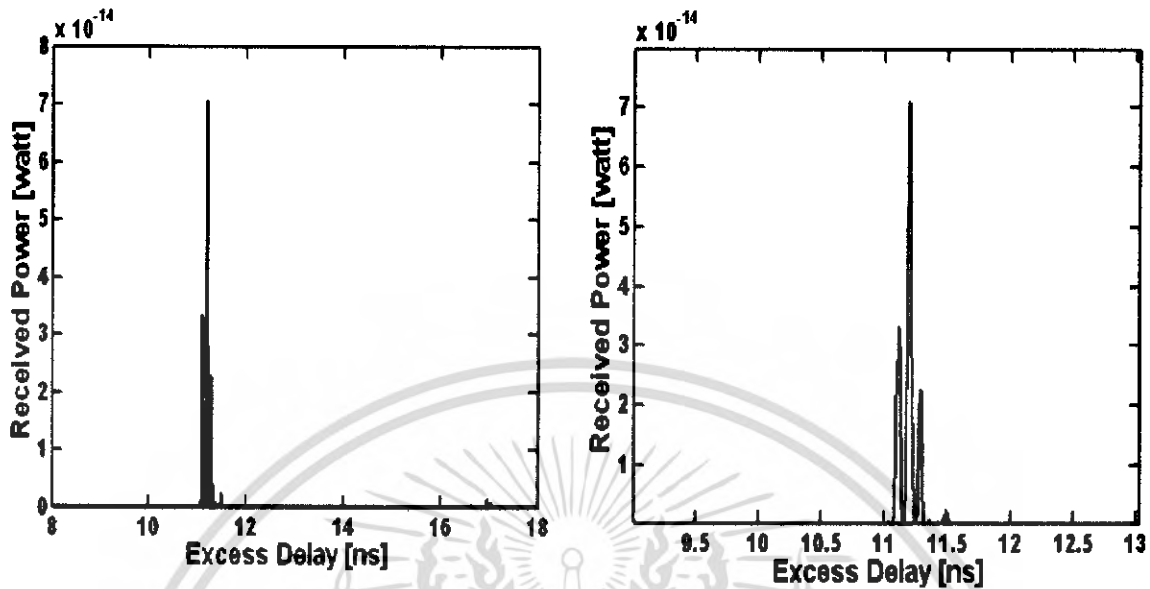


รูปที่ 4.59 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 5 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

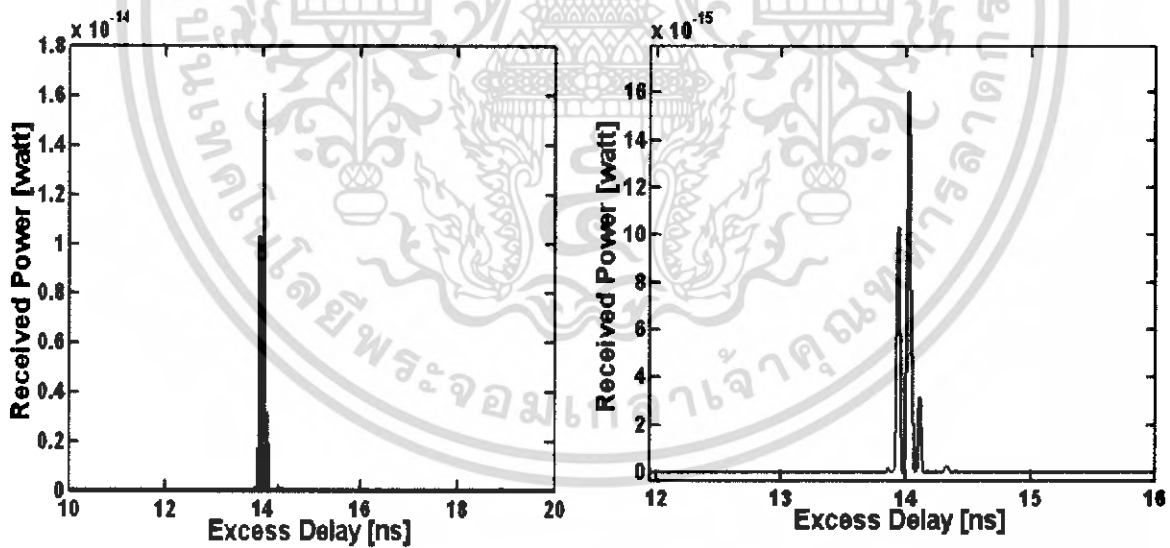


รูปที่ 4.60 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 6 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

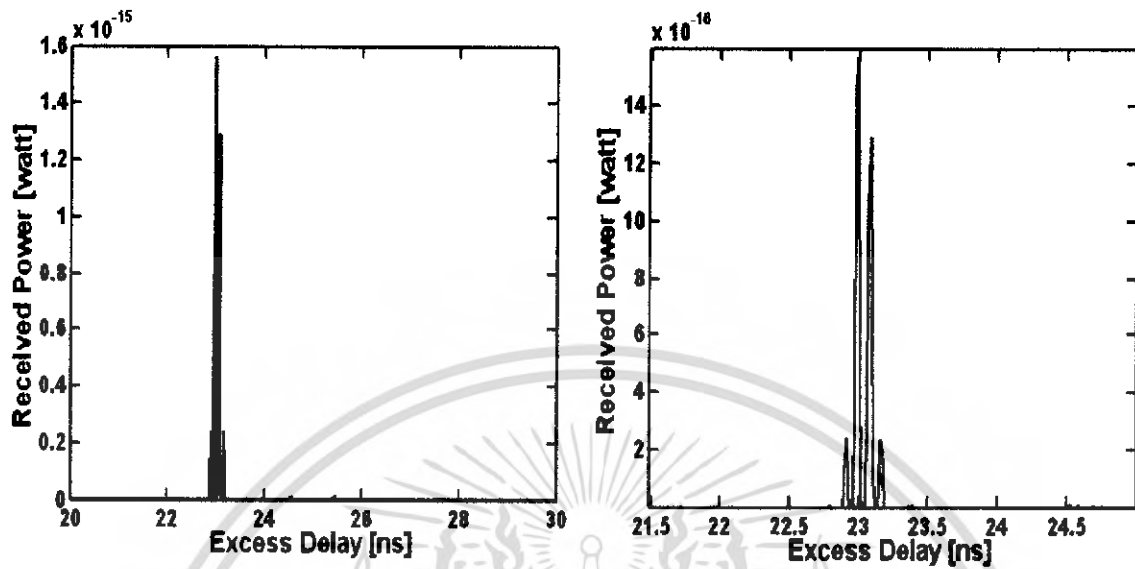


รูปที่ 4.61 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 7 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง

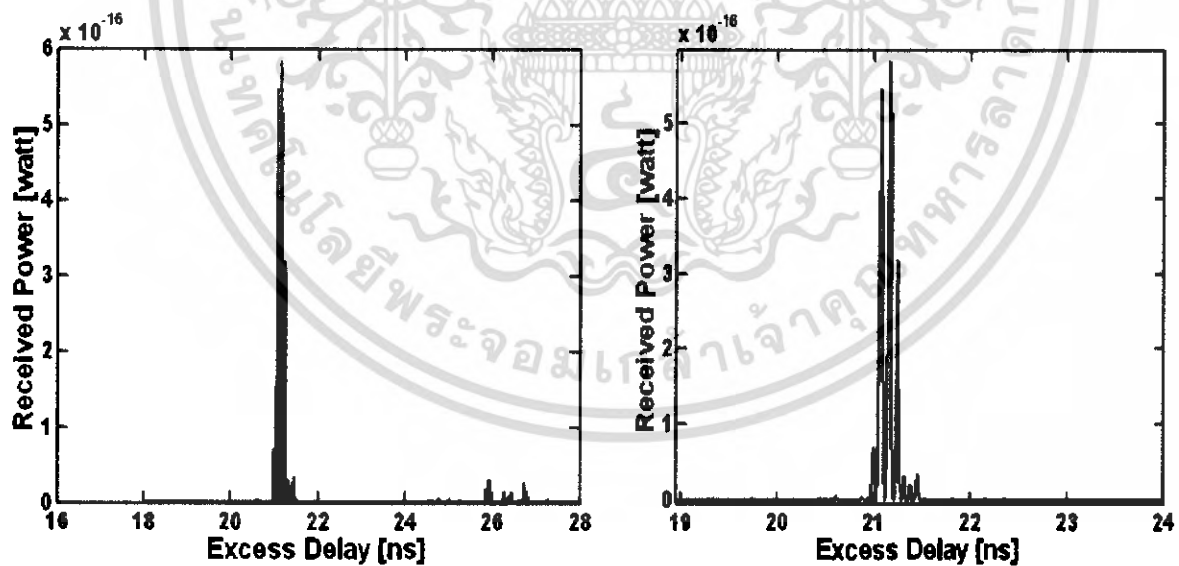


รูปที่ 4.62 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 8 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

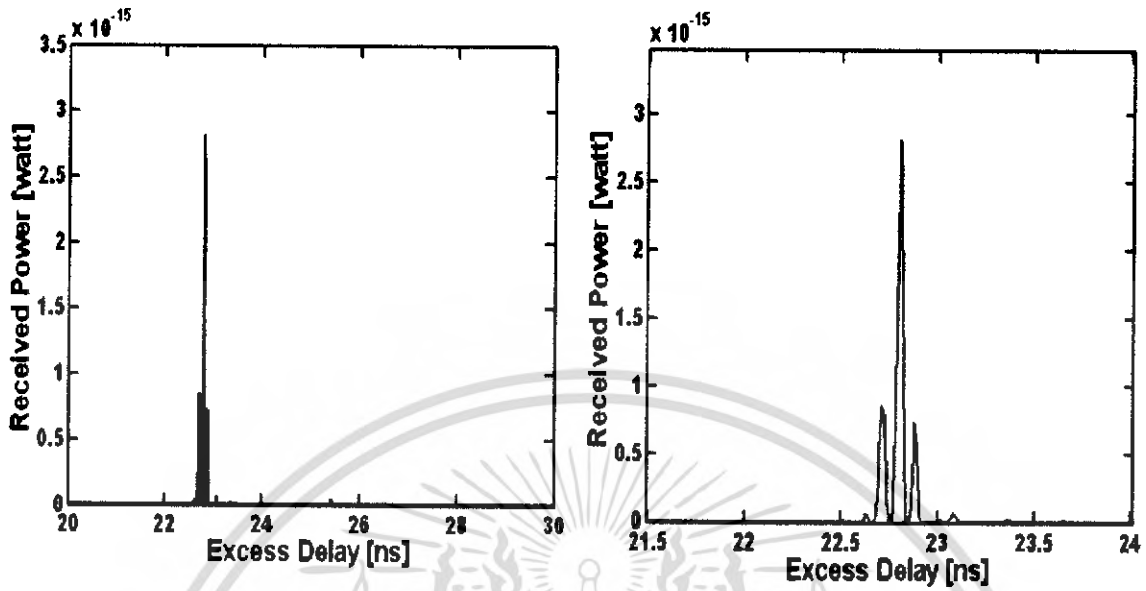


รูปที่ 4.63 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 9 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

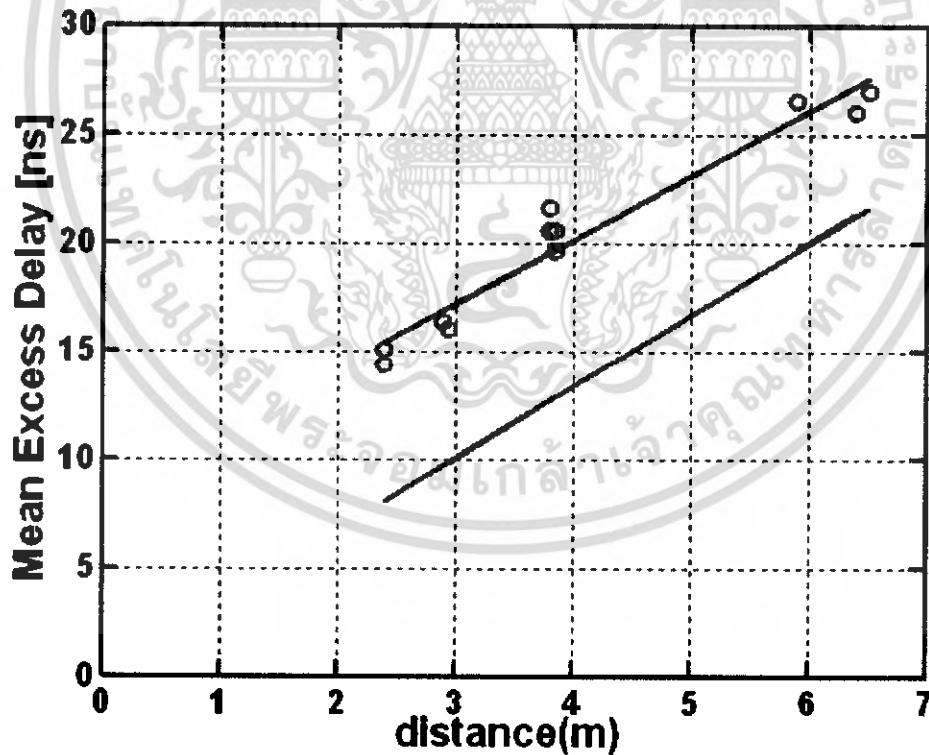


รูปที่ 4.64 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 10 และเมื่อทำการขยาย
โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

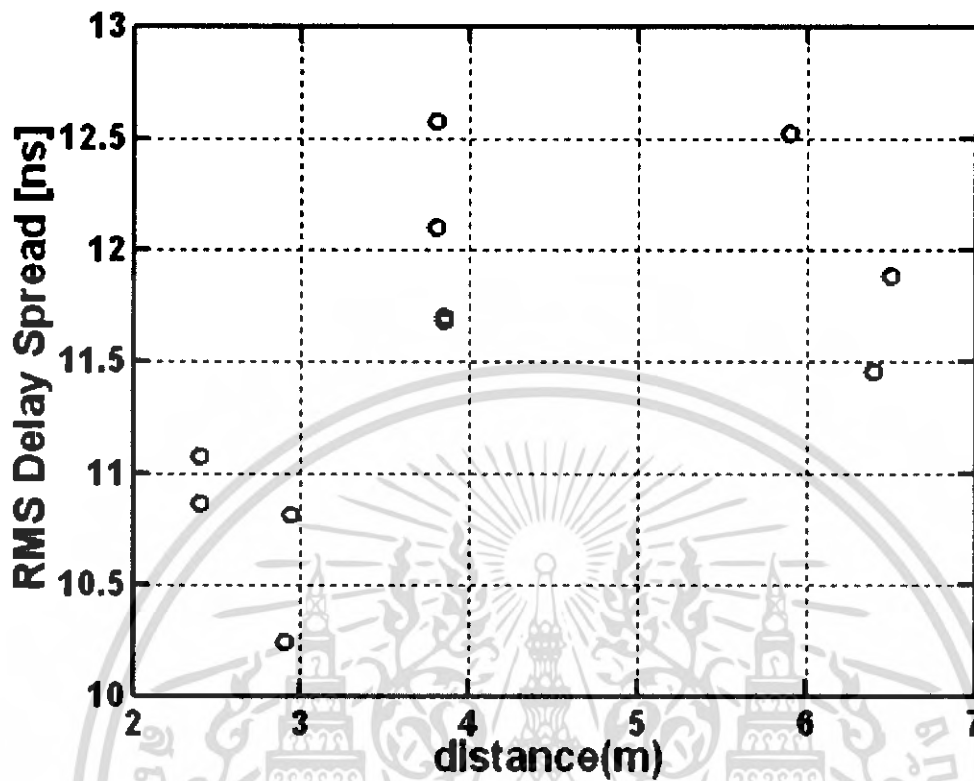


รูปที่ 4.65 received power ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เครื่องที่ 11 และเมื่อทำการขยาย โดยทำการปิดเครื่อง



รูปที่ 4.66 Mean Excess Delay ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 เมื่อเทียบกับ free space โดยทำการปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.67 RMS Delay Spread ของสัญญาณที่ได้รับจากการทดลองที่ 4 โดยทำการปิดเครื่อง

จากกราฟที่แสดง received power ของทั้งการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์หมดทั้งระบบ เน็ตเวิร์คพบว่าเครื่องที่มีระยะทางใกล้เคียงกันระหว่างตัวรับและตัวส่งนั้น ทางด้านรับจะสามารถรับสัญญาณได้ดีกว่าเครื่องที่อยู่ห่างกันมากกว่า แต่ที่เครื่องที่ 10 ของทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องทั้งระบบ นั้นจะมีค่า received ที่ต่ำที่สุดเนื่องจาก อยู่ในแนวที่เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องที่ 7 ทำการบดบังสัญญาณได้พอดี

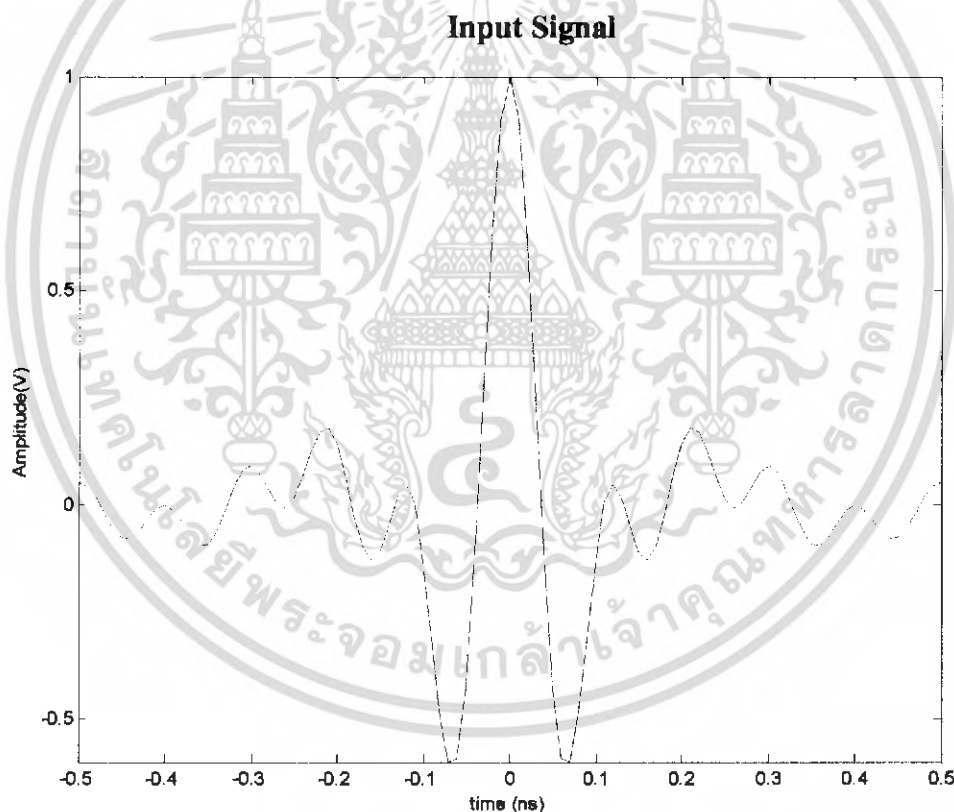
สำหรับค่า Mean Excess Delay ที่ระยะห่างระหว่างตัวรับกับตัวส่งที่ห่างกันไม่มากค่า Mean Excess Delay จะมีค่าน้อยเนื่องจากใช้เวลาในการเดินทางไม่มากนัก ค่าเฉลี่ยที่ได้จึงมีค่าน้อย โดยที่ระยะทางเดียวกันก็จะมีค่า Mean Excess Delay ใกล้เคียงกันด้วย

ค่า RMS Delay Spread จะพบว่าการกระจายตัวของสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ระยะทางเท่ากัน ในกรณีที่ไม่มีวัตถุอื่นมาทำการบดบังสัญญาณ

4.5 Transmitted Waveform and Received Waveform

4.5.1 Transmitted Waveform

สัญญาณที่ได้จากการวัด S_{21} คือ Transfer function ซึ่งจะต้องทำการสร้างสัญญาณจำลองซึ่งเปรียบเสมือนข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลขึ้นมา Simulate โดยใช้โปรแกรม MATLAB สัญญาณที่สร้างขึ้นมาคือสัญญาณ Rectangular Pulse เนื่องจากสัญญาณชนิดนี้ มีข้อดีคือ เป็นสัญญาณที่กำหนดแบนด์วิดท์ได้ง่ายและไม่ต้องใช้ฟิวเจอร์กรองสัญญาณ สัญญาณ rectangular pulse ยังให้สัญญาณ Maximum Amplitude, Maximum Bandwidth, Maximum Average Power เมื่อเทียบกับ Spectral Mask ของ FCC อีกด้วย ดังนั้นเราจึงเลือก rectangular pulse มาเป็นสัญญาณในการส่งหรือก็คือสัญญาณ Input นั่นเอง และกราฟที่แสดงในรูป 4.68



รูปที่ 4.68 Rectangular pulse waveform ของสัญญาณ Input ใน Time domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 Received Waveform

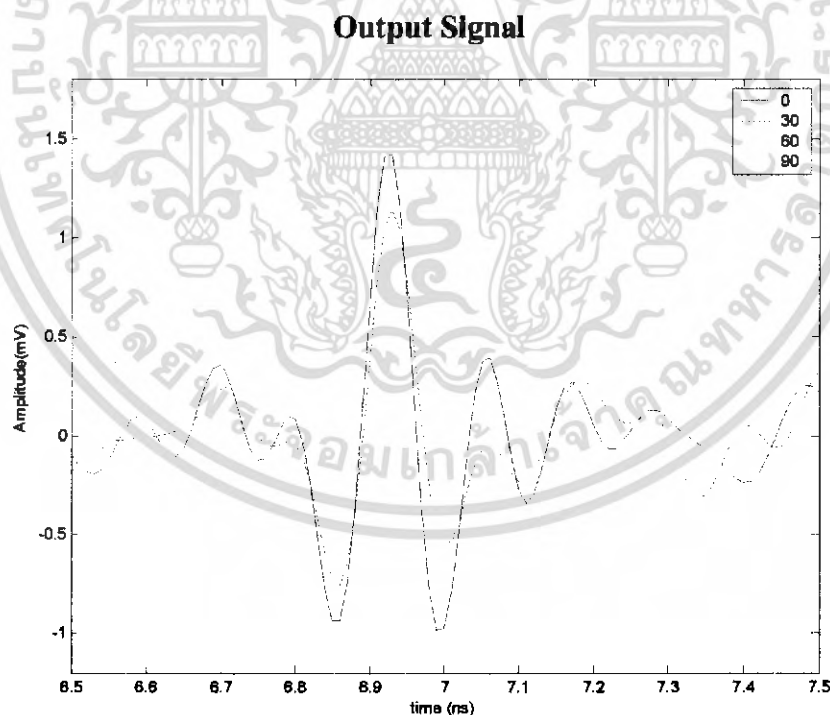
หากเราต้องการดูผลของการส่งสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศด้านรับ ดังนั้นจึงทำการสร้างสัญญาณส่งขึ้น โดย Simulate ด้วยโปรแกรม MATLAB จากสมการ

$$x(t) = \frac{1}{fb} (f_H \sin c(2tf_H) - f_L \sin c(2tf_L))$$

ซึ่งก็คือสัญญาณ Rectangular pulse นั้นเอง และนำมาคูณด้วยค่า S_{21} (Transfer function) ที่ได้จากการวัด ผลที่ได้จะเป็นสัญญาณที่รับได้ทางสายอากาศด้านส่ง ดังนี้

4.5.2.1 การทดลองที่ 1

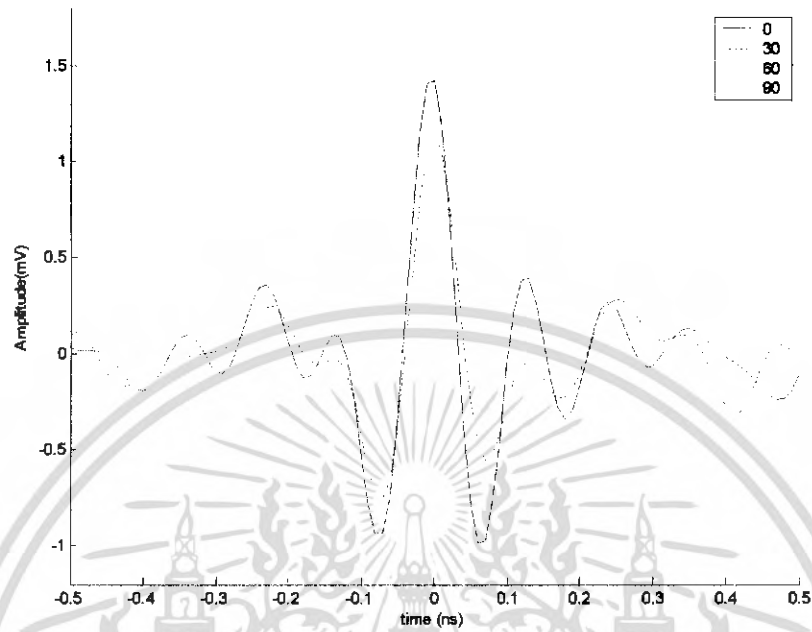
การทดลองที่ 1 ทำการทดลองหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศาทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ได้ Received Waveform ดังรูปที่ 4.69 และรูปที่ 4.71 ส่วนในรูปที่ 4.70 และรูปที่ 4.72 เป็นการเลื่อนแกนเวลาให้มาอยู่ที่ 0 เหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดของพัลส์ได้



รูปที่ 4.69 Received Waveform ในมุมต่างๆ
จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

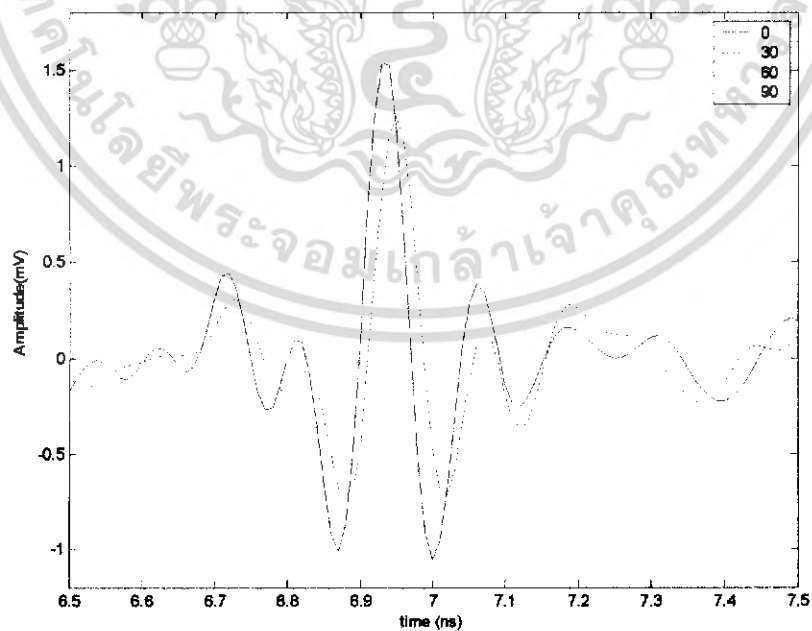
Output Signal



รูปที่ 4.70 Received Waveform ในมุมต่างๆ

จากการทดลองที่ 1 แบบ ไม่มีแผ่น ไร้การสะท้อนกลับ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลา ณ ตำแหน่ง 0 ns

Output Signal

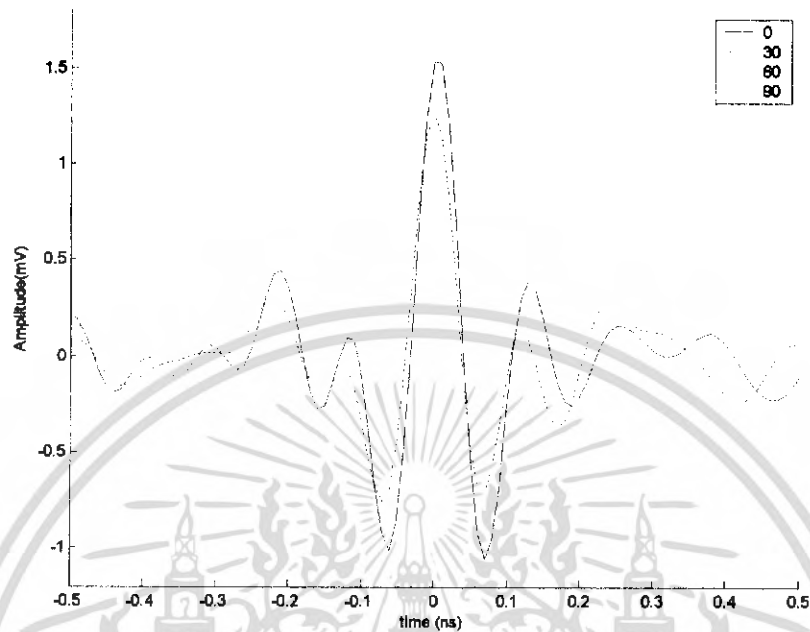


รูปที่ 4.71 Received Waveform ในมุมต่างๆ

จากการทดลองที่ 1 แบบ มีแผ่น ไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Signal



รูปที่ 4.72 Received Waveform ในมุมต่างๆ

จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

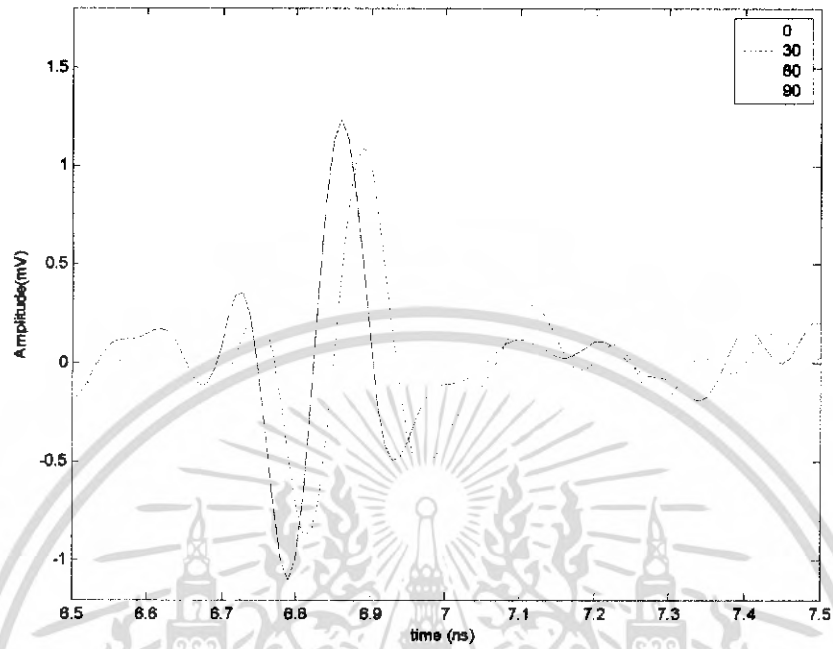
จากกราฟจะเห็นได้ว่า Receive Waveform ของการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ที่มุม 0 องศา สัญญาณใช้เวลาในการเดินทางมาถึงทางด้านรับน้อยที่สุด เมื่อนำจุด peak สุดของสัญญาณมาเทียบกับแกนเวลาที่มีหน่วยเป็น ns นอกจากนี้ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามาที่ 0 เหมือนกันและทำการเปรียบเทียบ พบว่าที่มุม 0 องศาจะมีค่าสูงที่สุด คือ 1.5 มิลลิโวลต์ และจะค่อยลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าต่ำที่สุดที่มุม 90 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณใช้เวลาในการเดินทางน้อยมากทำให้สายอากาศทางด้านรับรับสัญญาณได้เร็วและรับได้ดีที่สุดที่มุม 0 องศา ซึ่งเป็นไปตามหลักการของสายอากาศแบบ directional pattern

4.5.2.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำเศษของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศาทั้งหมด 360 องศา ทั้งเปิดเครื่องและไม่เปิดเครื่อง ได้ Received Waveform ดังรูปที่ 4.73 และรูปที่ 4.75 ส่วนในรูปที่ 4.74 และรูปที่ 4.76 เป็นการเลื่อนแกนเวลาให้มาอยู่ที่ 0 เหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดของพัลส์ได้

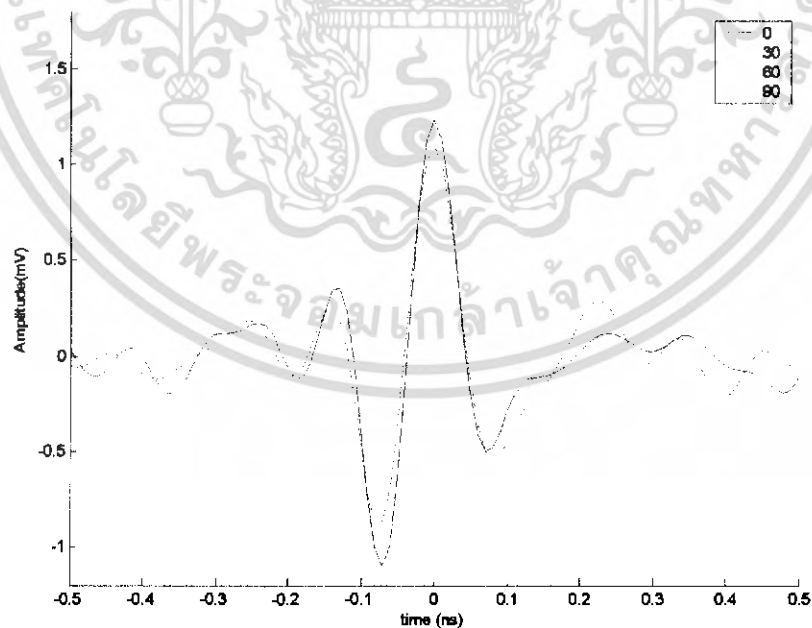
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Signal



รูปที่ 4.73 Received Waveform ในมุมต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง

Output Signal

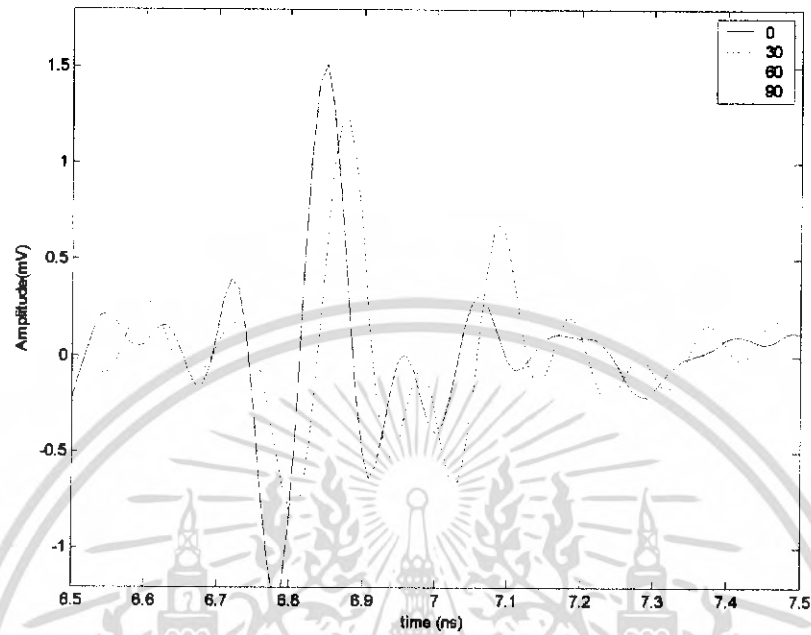


รูปที่ 4.74 Received Waveform ในมุมต่างๆ

จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

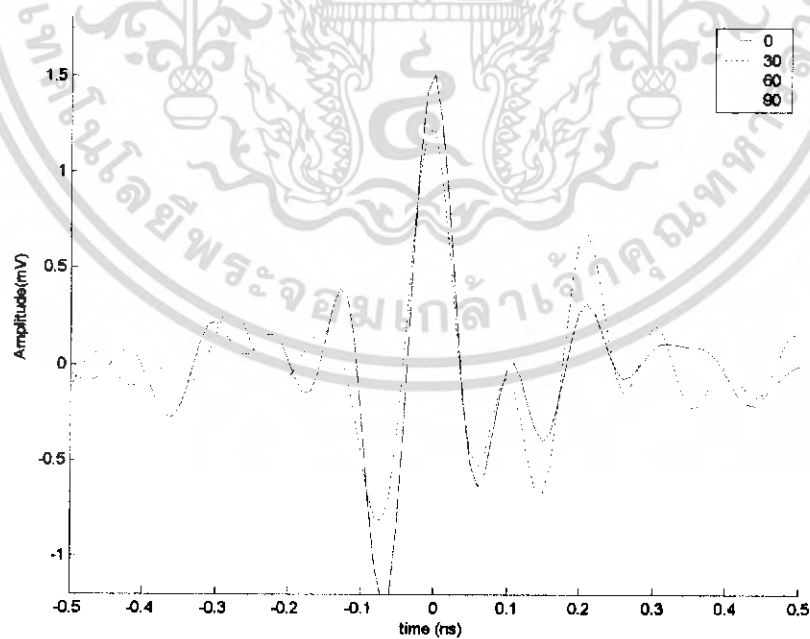
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Signal



รูปที่ 4.75 Received Waveform ในมุมต่างๆ จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

Output Signal



รูปที่ 4.76 Received Waveform ในมุมต่างๆ

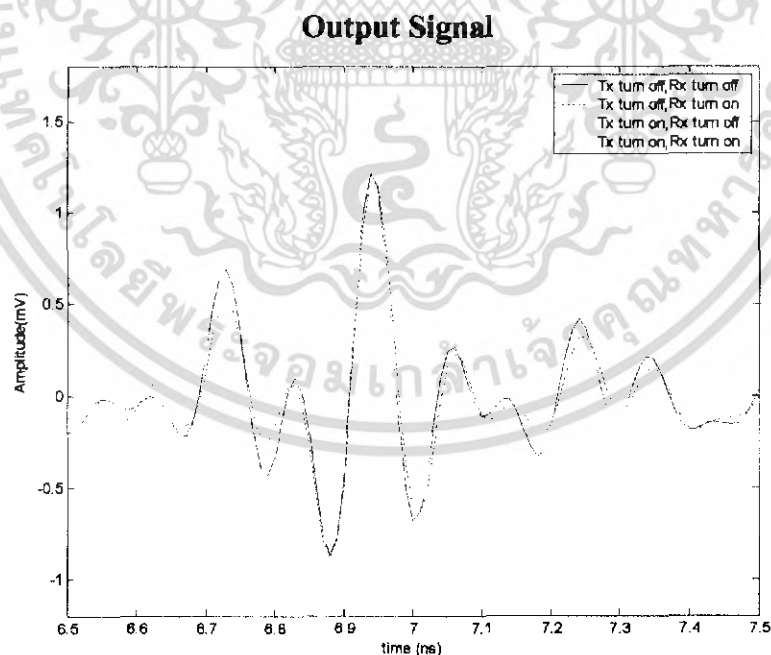
จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเคสคอมพิวเตอรืมาติดกับสายอากาศทางด้านรับพร้อมทั้งหมุนที่ละ 5 องศาแบบปิดและเปิดเครื่องนั้นจะมีลักษณะคล้ายกันแต่เมื่อเปิดเครื่อง สัญญาณทางด้านรับจะดีกว่าเล็กน้อยและเมื่อนำที่มุมต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับกันก็คือ ระดับสัญญาณที่ 0 องศา จะมีค่าดีที่สุดและลดลงเมื่อสายอากาศทางด้านรับทำมุมเพิ่มมากขึ้นจนลดลงต่ำที่สุดที่มุม 90 องศา เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของพัลส์เมื่อนำเคสมาติดกับสายอากาศทางด้านรับเทียบกับพัลส์ของสายอากาศที่ไม่มีเคสจะพบว่าพัลส์ของสายด้านรับที่มีเคสจะมีลักษณะแปรปรวนกว่าซึ่งอาจจะเป็นผลจากการที่เคสของคอมพิวเตอร์บังสัญญาณ

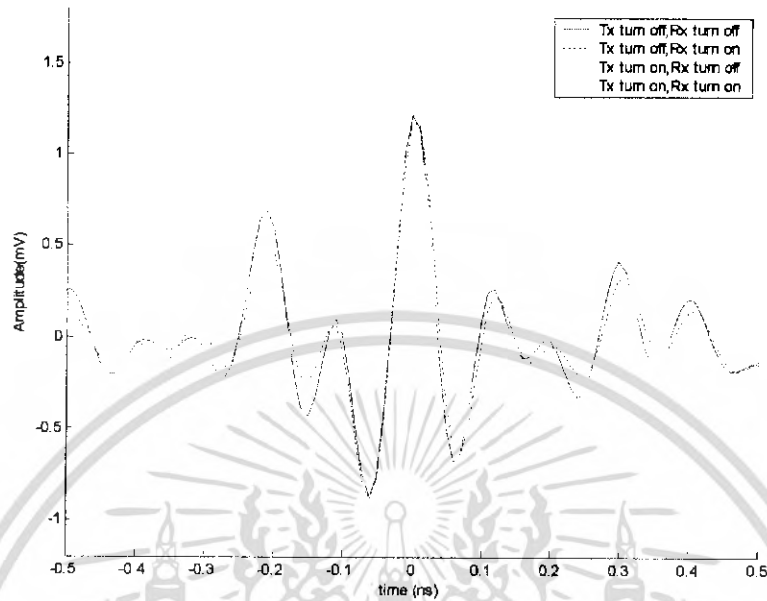
4.5.2.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำเคสของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและด้านส่ง ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง ได้ Received Waveform ดังรูปที่ 4.77 ส่วนในรูปที่ 4.78 เป็นการเลื่อนแกนเวลาให้มาอยู่ที่ 0 เหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดของพัลส์ได้



รูปที่ 4.77 Received Waveform จากการทดลองที่ 3 ในแบบต่างๆ

Output Signal



รูปที่ 4.78 Received Waveform จากการทดลองที่ 3 ในแถบต่างๆ

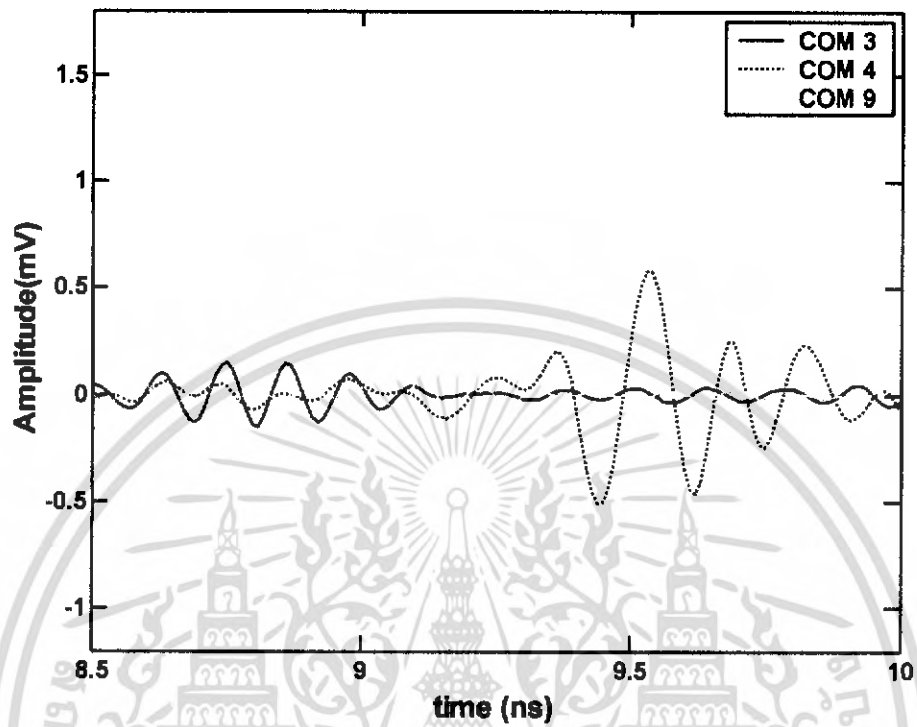
เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ของการวัดระดับสัญญาณสายอากาศที่ติดตั้งอยู่กับเสาของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ด้านแบบ omnidirectional pattern ทั้งการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะที่เหมือนกันมากจนเกือบจะซ้อนทับเป็นเส้นเดียวกันทำให้สรุปได้ว่าการปิดหรือเปิดเครื่องที่ด้านใดก็ตามจะไม่ส่งผลกระทบต่อการรับ-ส่งสัญญาณ

4.5.2.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองวางเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องข่าย แล้วกำหนดให้เครื่องตรงกลางเป็นเครื่องที่ติดสายอากาศรับสัญญาณแบบ Omni-directional ส่วนเครื่องที่เหลือติดสายอากาศส่งสัญญาณดังรูปที่ 3.10 ได้ Received Waveform ดังรูปที่ 4.79 และรูปที่ 4.81 ส่วนในรูปที่ 4.80 และรูปที่ 4.82 เป็นการเลื่อนแกนเวลาให้มาอยู่ที่ 0 เหมือนกันเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดของพัลส์ได้

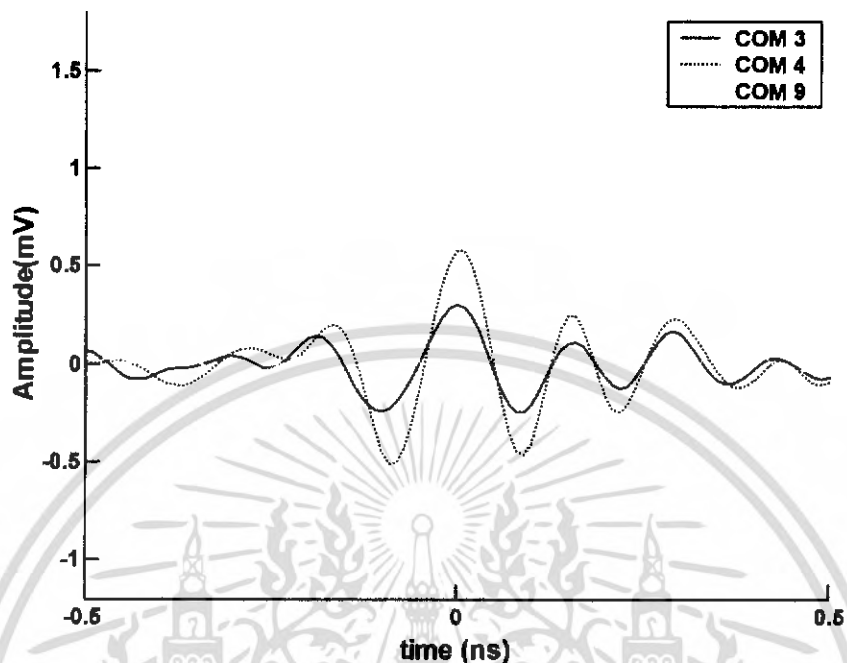
Output Signal



รูปที่ 4.79 Received Waveform ของเครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9
จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

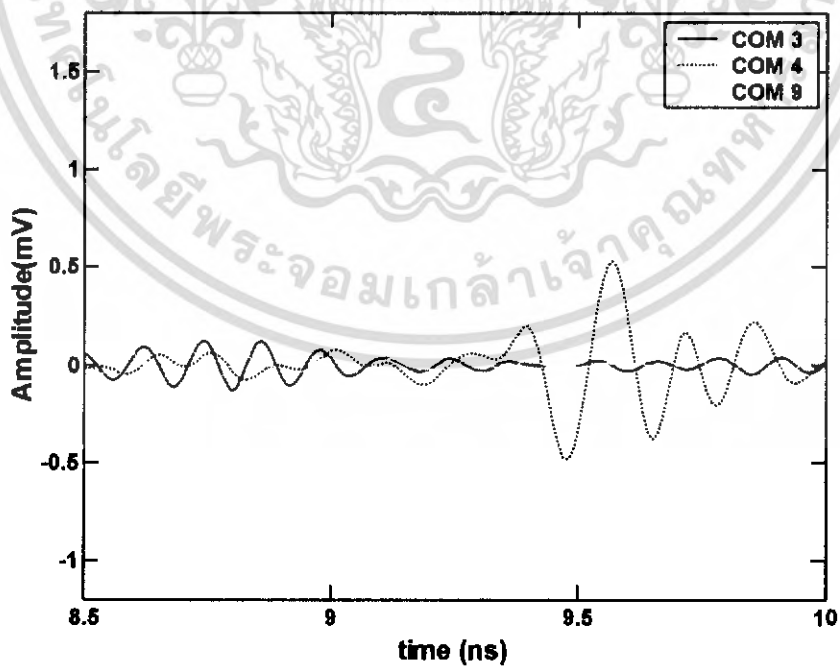
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Signal



รูปที่ 4.80 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9
จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

Output Signal

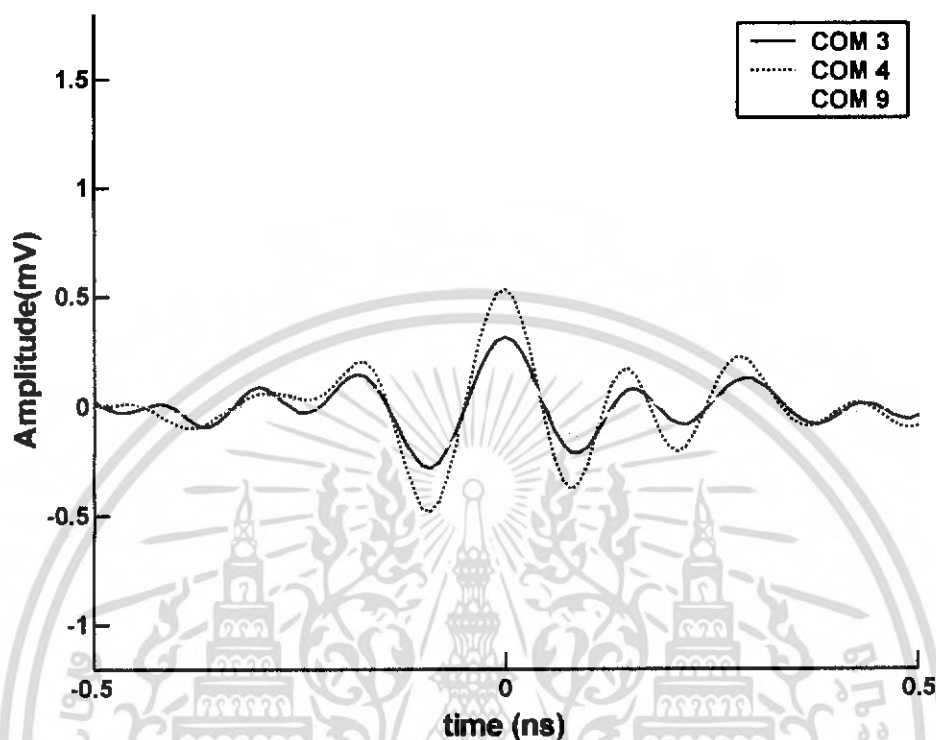


รูปที่ 4.81 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9

จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Signal



รูปที่ 4.82 Received Waveform เครื่องหมายเลขที่ 3, 4, 9
จากการทดลองที่ 4 แบบ ไม่เปิดเครื่องคอมฯ เมื่อทำการเลื่อนแกนเวลามา ณ ตำแหน่ง 0 ns

เมื่อพิจารณาทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ว่าสัญญาณพัลส์ของการวัดระดับสัญญาณสายอากาศที่ติดอยู่กับเศษของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ด้านแบบ omnidirectional pattern นั้นจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่าการปิดหรือเปิดเครื่องที่ด้านใดก็ตาม จะไม่ส่งผลกระทบต่อการรับ-ส่งสัญญาณ

4.5.3 รูปคลื่นที่รับได้ดีที่สุด Optimum Received Waveform

4.5.3.1 การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศาทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ได้ Received Waveform ทำการคำนวณผ่านสมการ Matched filter จากสมการ

$$H_{MF}(f) = \frac{(\sqrt{2fb})Y(f)^*}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |Y(f)|^2 df}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถคำนวณหา Transfer function ของ Free Space จาก

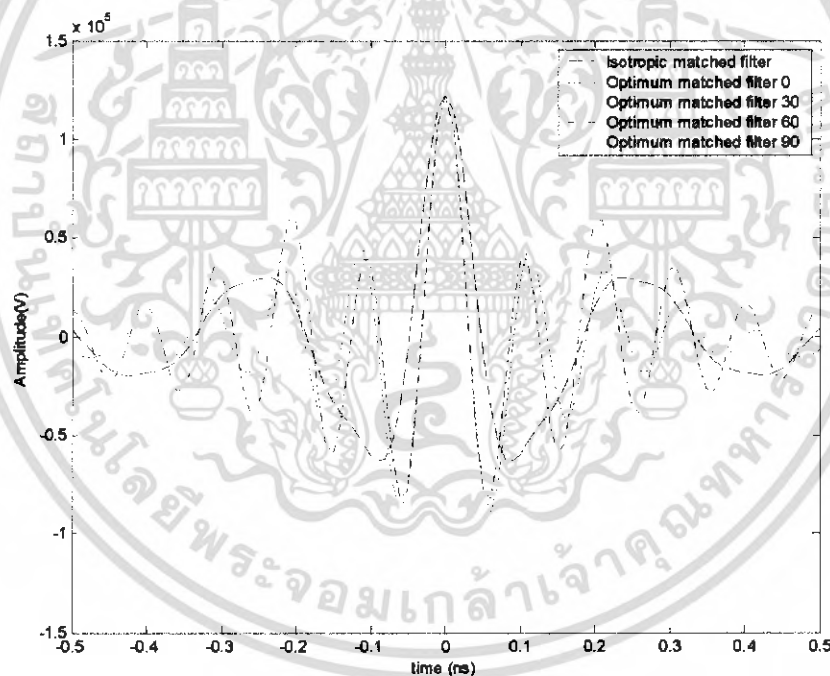
$$H_f = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd),$$

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

เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด โดยมี SNR สูงที่สุด

จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแบบ Isotropic ที่ Simulate ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดและรูปร่างของพัลส์ที่ได้ดังรูปที่ 4.83 และ 4.86 และในรูปที่ 4.84, 4.85 และรูปที่ 4.87, 4.88 แสดงเปรียบเทียบระหว่าง Received Signal และ Received Waveform ของ Free Space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองจริง

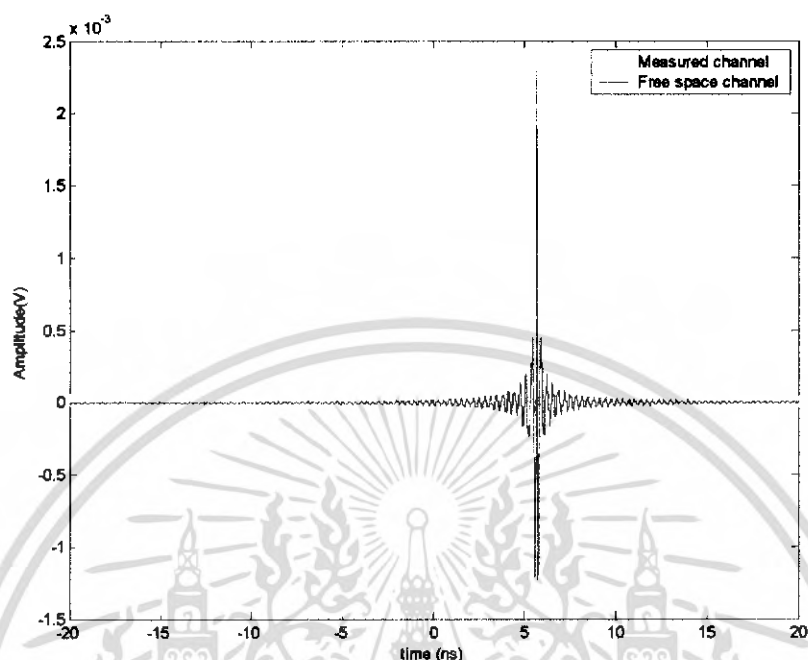
Optimum matched filter



รูปที่ 4.83 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 1
แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

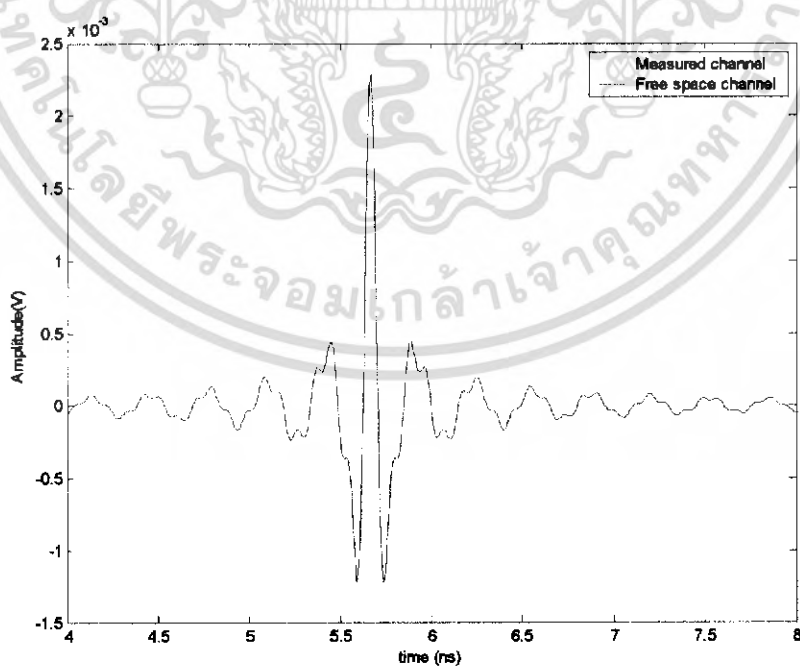
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Received signal



รูปที่ 4.84 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

Comparison of Received Waveform

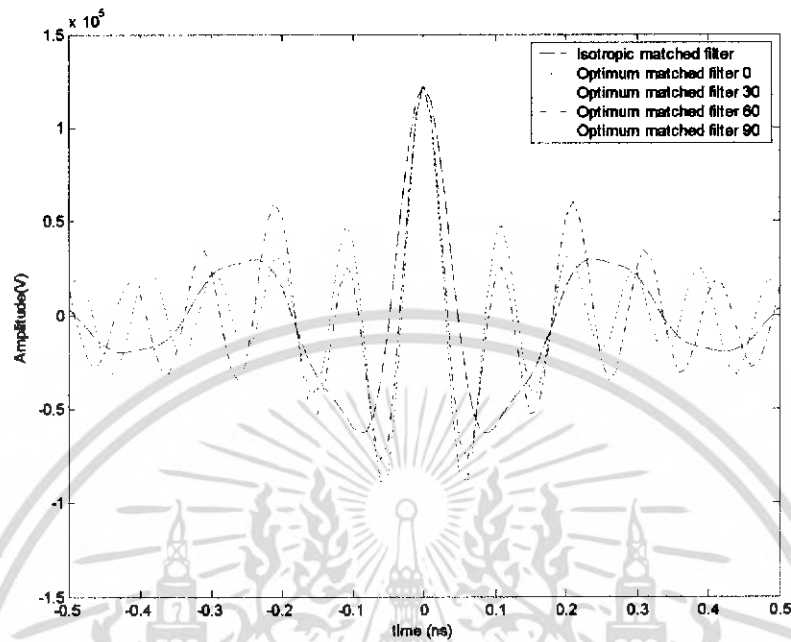


รูปที่ 4.85 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform

ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

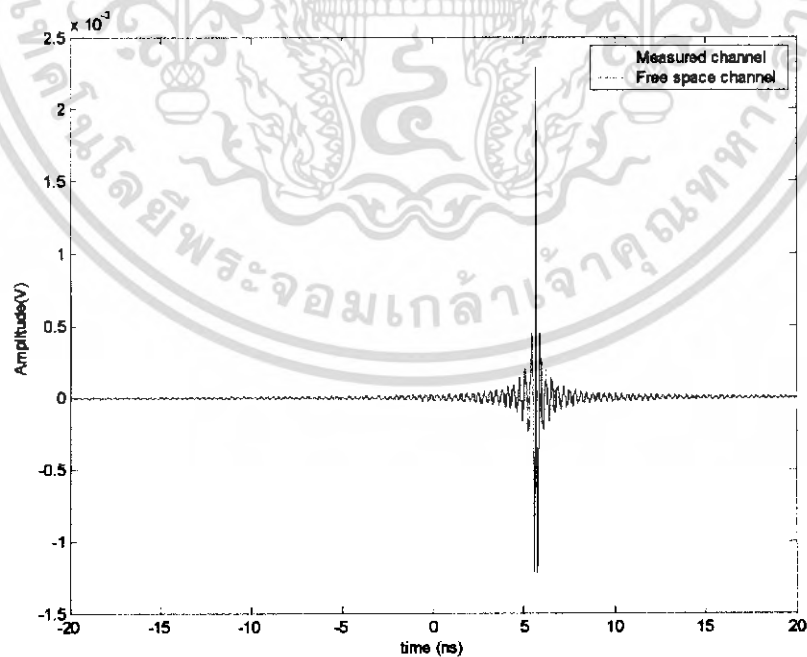
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimum matched filter



รูปที่ 4.86 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 1
แบบมีแผ่น ไร้การสะท้อนกลับ

Comparison of Received signal

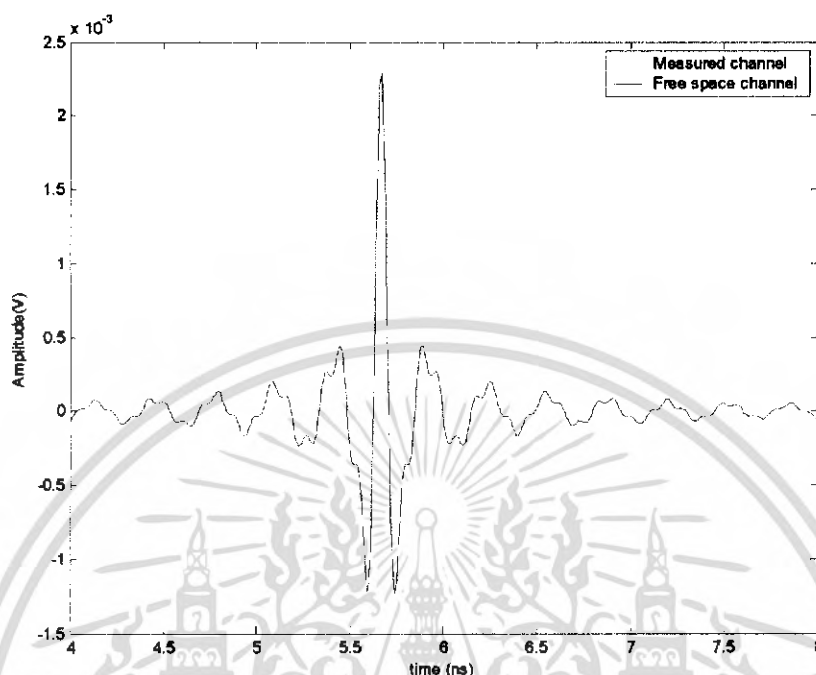


รูปที่ 4.87 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal

ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่น ไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.88 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform

ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากการผ่าน matched filter ของการทดลองแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ สัญญาณมีลักษณะที่คึกซ์และเรียบขึ้นกว่าตอนที่ไม่ได้ผ่าน matched filter และเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบสัญญาณกันแต่ละองศาจะพบว่า โลหะข้าง (side lobe) ของที่มุม 0 องศา มีค่าต่ำที่สุดในขณะที่มุม 90 องศาจะมีค่าใกล้เคียงกับจุดสูงสุด (peak) มากที่สุด กรณีที่เกิดขึ้นกับมุม 90 องศาทำให้ทางด้านตัวรับสัญญาณอาจจะรับ (detect) สัญญาณผิดพลาดได้

เมื่อนำ Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลอง แบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ มาเปรียบเทียบกันจะพบว่า การรับสัญญาณที่ได้จากการทดลองจะช้ากว่าแบบใน Free space และระดับสัญญาณจะไม่เทียบเท่ากับใน Free space

ทั้งนี้เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากการผ่าน matched filter ของการทดลองแบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ พบว่าลักษณะของสัญญาณและ Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลอง แบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะคล้ายกับการทดลองแบบไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

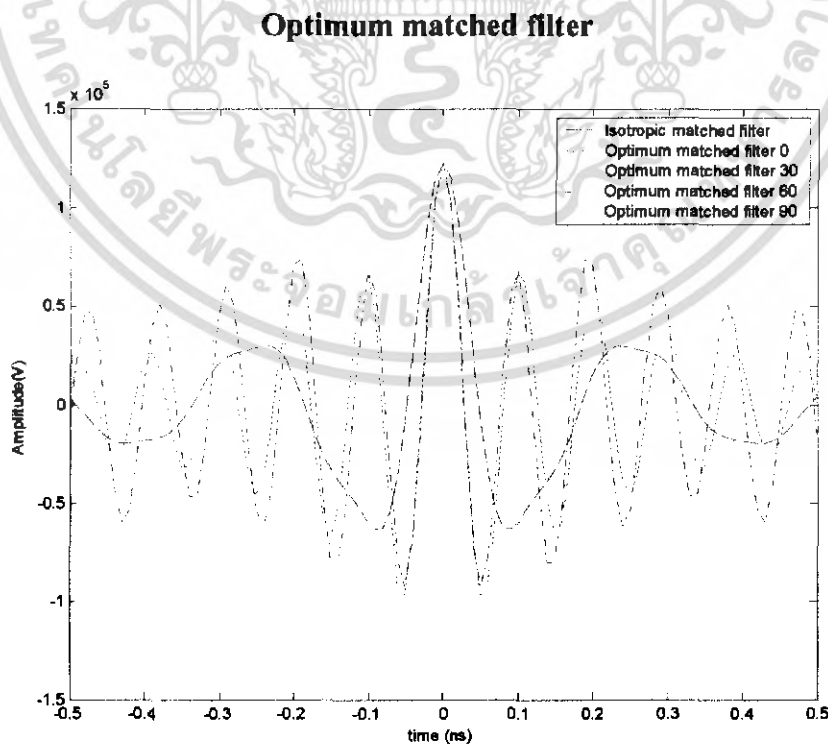
แต่เมื่อนำระดับสัญญาณของการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และ ไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ มาเปรียบเทียบกันจะพบว่าการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะมีระดับสัญญาณที่ดีกว่าเนื่องจากแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ช่วยลดการสะท้อนของสัญญาณ

4.5.3.2 การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศ ด้านรับและหมุนสายอากาศด้านรับครั้งละ 5 องศาทั้งหมด 360 องศา ทั้งเปิดเครื่องและไม่เปิดเครื่อง ได้ Received Waveform ดังในหัวข้อที่ 4.5.2 จากนั้นทำการคำนวณผ่านสมการ Matched filter เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด โดยมี SNR สูงที่สุด

จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแบบ Isotropic ที่ Simulate ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดและรูปร่างของพัลส์ได้ดังรูปที่ 4.89

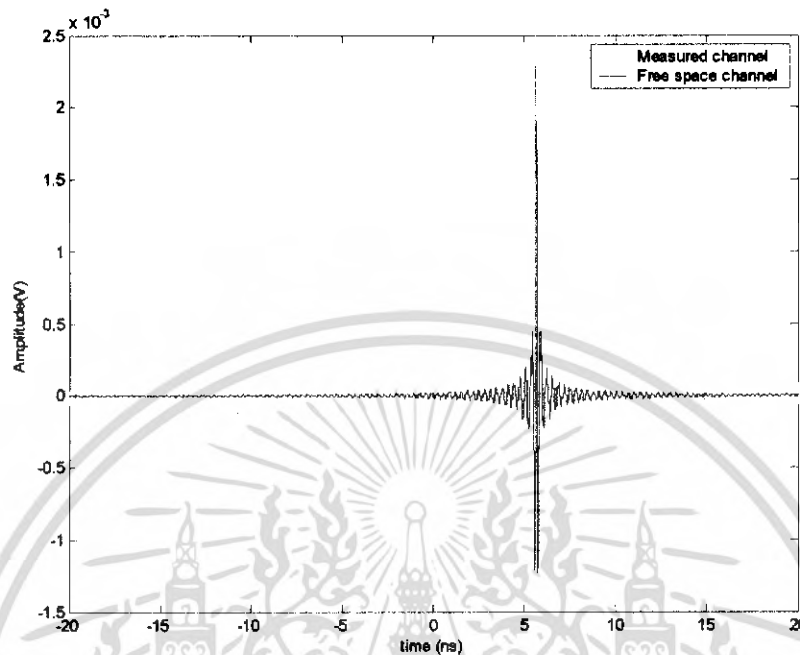
และในรูปที่ 4.90, 4.91 และรูปที่ 4.92, 4.93 แสดงเปรียบเทียบระหว่าง Received Signal และ Received Waveform ของ Free Space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองจริง



รูปที่ 4.89 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง

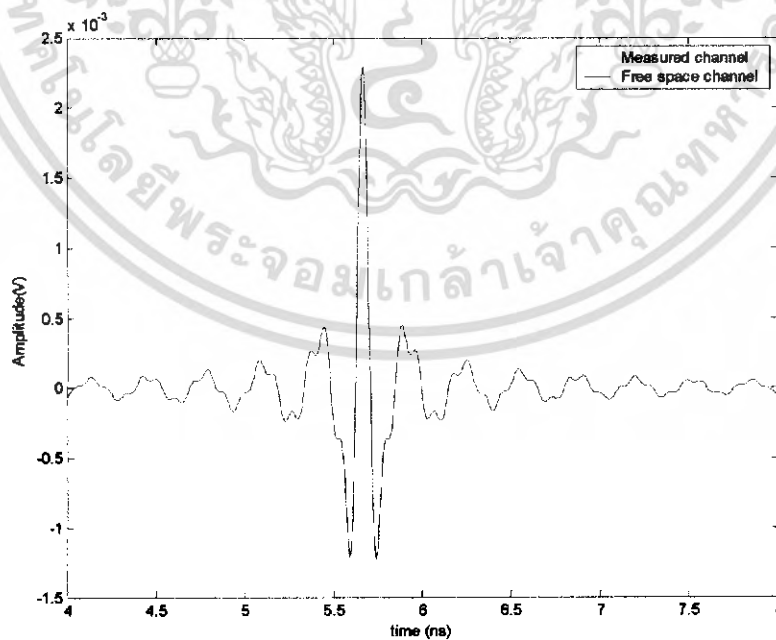
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Received signal



รูปที่ 4.90 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal
ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง

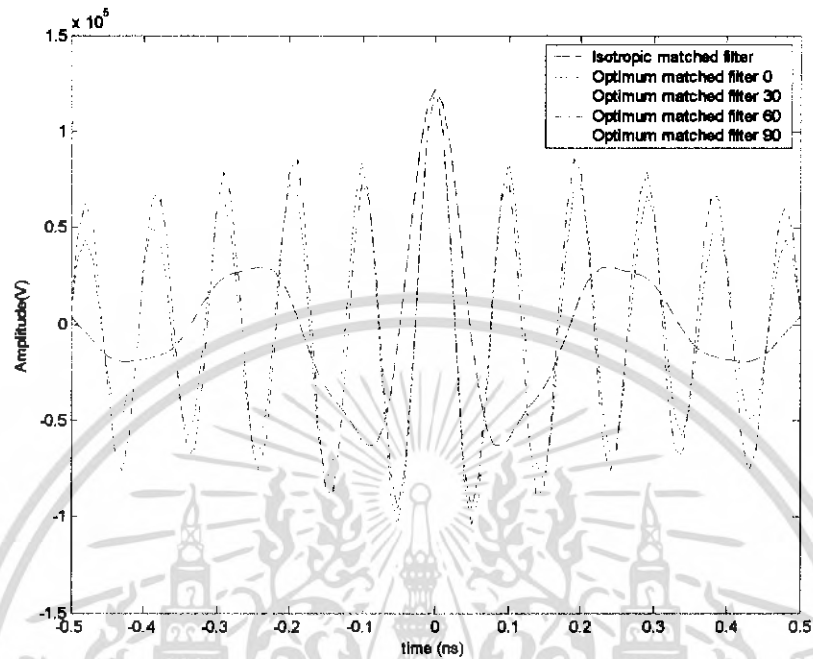
Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.91 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform
ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง

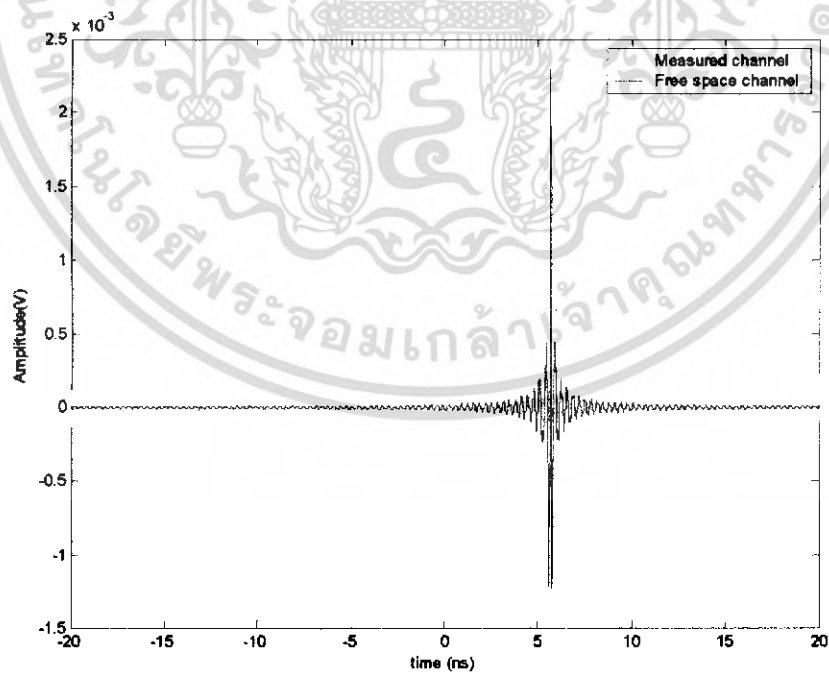
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimum matched filter



รูปที่ 4.92 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

Comparison of Received signal

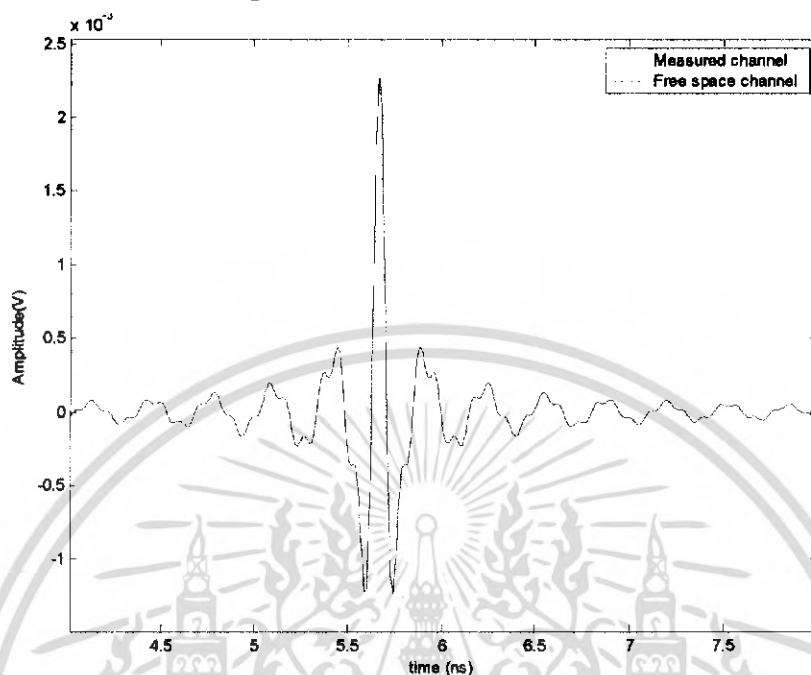


รูปที่ 4.93 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal

ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.94 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

เมื่อนำผลของคอมพิวเตอร์ไปติดเข้ากับสายอากาศทางด้านรับแล้วหมุนทีละ 5 องศาครบ 360 องศาทั้งแบบปิดเครื่องและเปิดเครื่องพบว่าเมื่อนำไปผ่าน matched filter แล้วระดับสัญญาณที่ได้จะดีขึ้นกว่าตอนที่ไม่ได้ผ่าน matched filter และเมื่อนำมาเทียบกันในแต่ละองศาจะสังเกตเห็นได้ว่าที่มุม 90 องศา โลฟข้างมีค่าแตกต่างจากจุดสูงสุดของกราฟน้อยมากซึ่งสัญญาณในลักษณะนี้อาจทำให้ตัวรับสัญญาณรับสัญญาณผิดพลาดได้ แต่ที่มุม 0 องศา ระดับสัญญาณของโลฟข้างจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกว่าทำให้ตัวรับสัญญาณรับสัญญาณได้ดีที่องศานี้

จากกราฟของ Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองผลที่ได้จะคล้ายกันคือ ระดับสัญญาณจะไม่เรียบและการรับสัญญาณจะรับได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับ Free space

เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับสัญญาณระหว่างปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น โดยรวมแล้วแทบจะไม่เห็นความแตกต่างของสัญญาณเลย

เมื่อนำสัญญาณของการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีเคสคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 2 ที่มีเคสคอมพิวเตอร์มาติดกับสายอากาศทางด้านรับ พบว่า สัญญาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

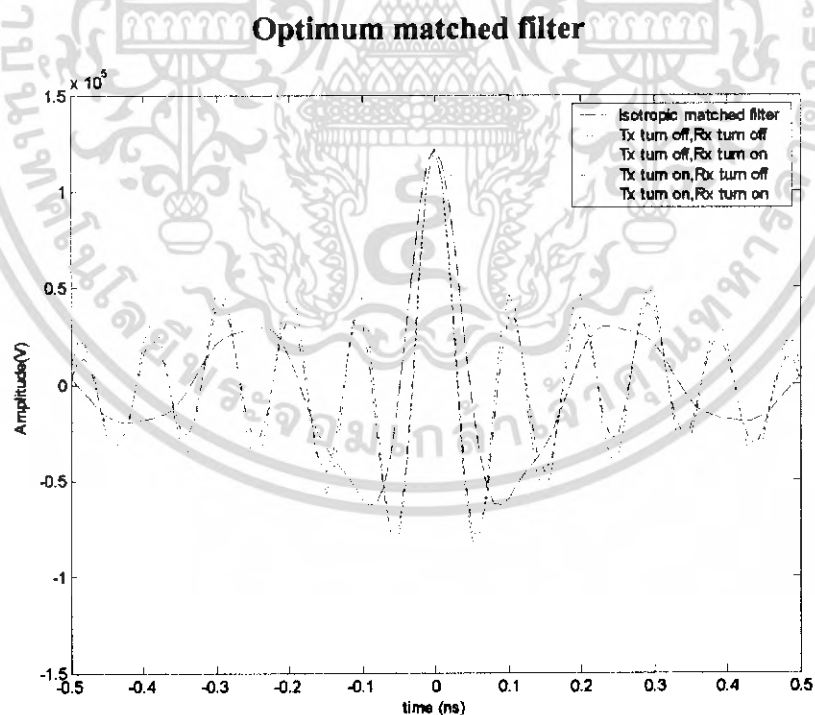
สายอากาศที่ติดกับเคสของคอมพิวเตอร์มีลักษณะแยกว่า เนื่องจาก โลหะข้างมีค่าต่างจาก จุดสูงสุดของกราฟน้อยกว่าสายอากาศที่ไม่ได้ติดกับเคสคอมพิวเตอร์

4.5.3.3 การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 ทำการทดลองนำเคสของเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศ ด้านรับและด้านส่ง ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง ได้ Received Waveform ดังรูปที่ 4.95 จากนั้นทำการคำนวณผ่านสมการ Matched filter เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด โดยมี SNR สูงที่สุด

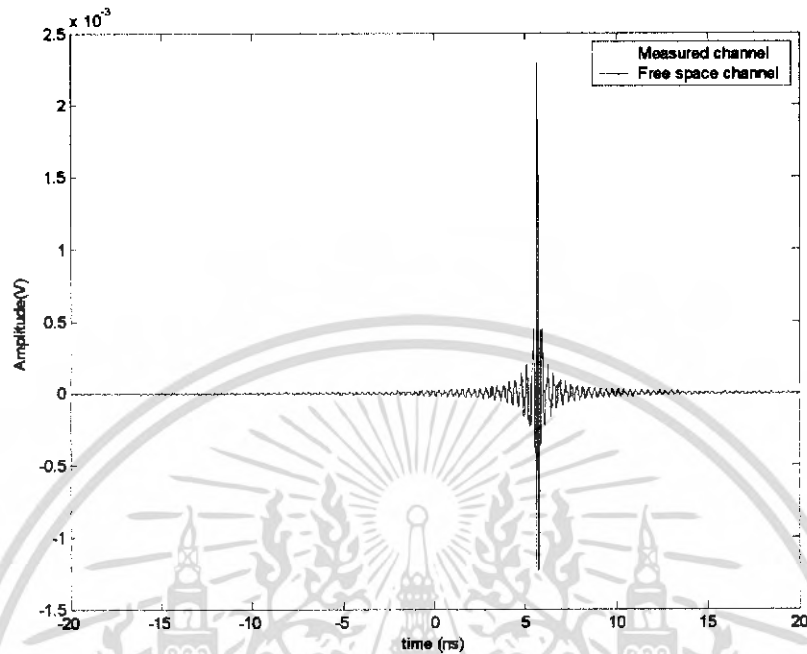
แล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแบบ Isotropic ที่ Simulate ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดและรูปร่างของพัลส์ได้ดังรูปที่ 4.96

และในรูปที่ 4.96 และรูปที่ 4.97 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal และ Received Waveform ของ Free Space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองจริง



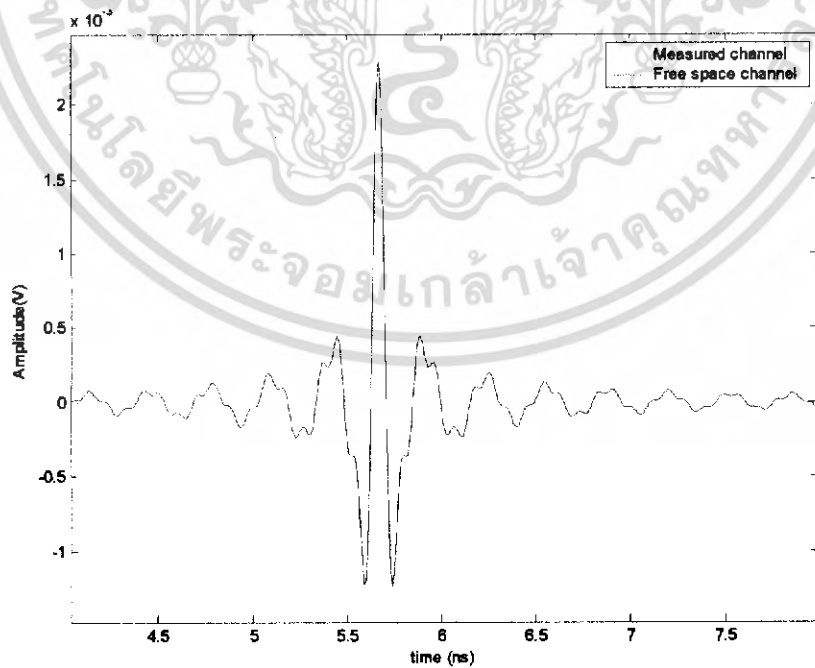
รูปที่ 4.95 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.96 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.97 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform

ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 3 แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟการทดลองที่ 3 จะพบว่าเมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน matched filter แล้ว สัญญาณที่ได้จะดีขึ้นกว่าตอนที่ไม่ได้ผ่าน match filter ทั้งแบบปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่ง, แบบเปิดเครื่องที่ด้านรับ, แบบเปิดเครื่องที่ด้านส่ง, และแบบเปิดเครื่องทั้งด้านรับและด้านส่งและเมื่อนำมาเทียบกับแต่ละแบบพบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันมาก

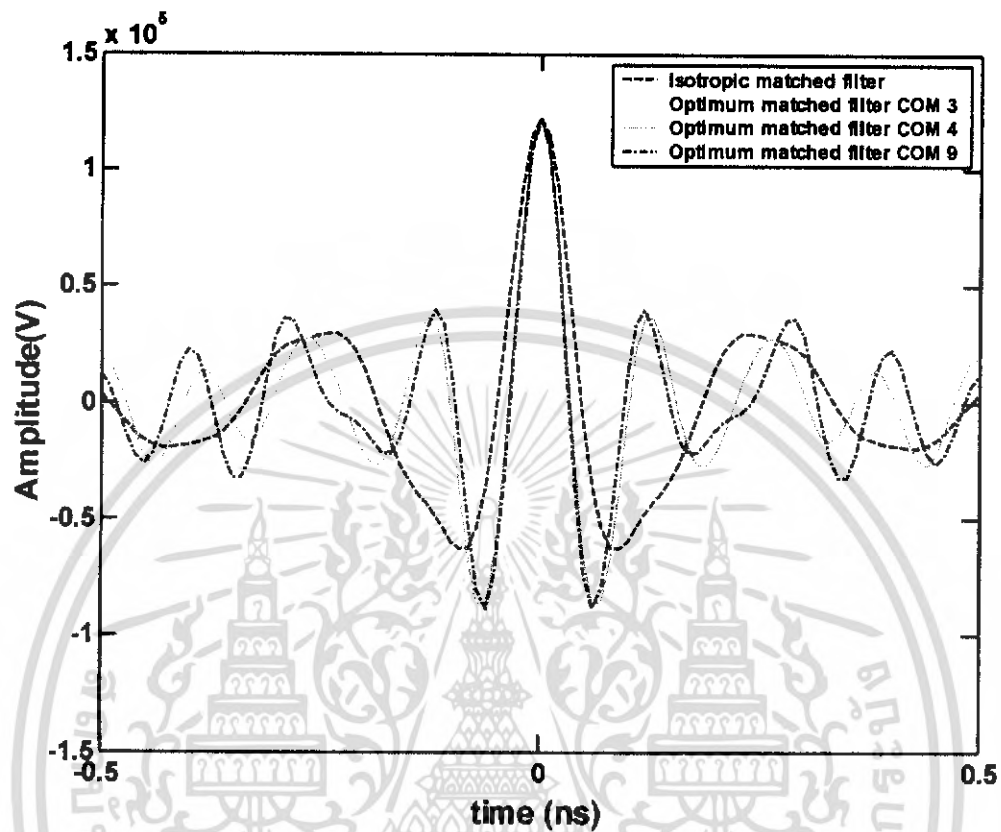
สำหรับกราฟของ Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับสัญญาณของ free space จะเรียกว่าและรับสัญญาณได้เร็วกว่าการทดลอง ซึ่งระดับของสัญญาณที่รับได้ของ free space จะสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด

4.5.3.4 การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองวางเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครือข่าย แล้วกำหนดให้เครื่องตรงกลางเป็นเครื่องที่ติดสายอากาศรับสัญญาณแบบ Omni-directional ส่วนเครื่องที่เหลือติดสายอากาศส่งสัญญาณคังรูปที่ 3.10 ได้ Received Waveform จากนั้นทำการคำนวณผ่านสมการ Matched filter เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 เพื่อให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด โดยมี SNR สูงที่สุด แสดงในกราฟรูปที่ 4.98 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และรูปที่ 4.101 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

แล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแบบ Isotropic ที่ Simulate ขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างทางขนาดและรูปร่างของพัลส์ รูปที่ 4.99 - 4.100 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และรูปที่ 4.102 - 4.103 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงเปรียบเทียบระหว่าง Received Signal และ Received Waveform ของ Free Space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองจริง

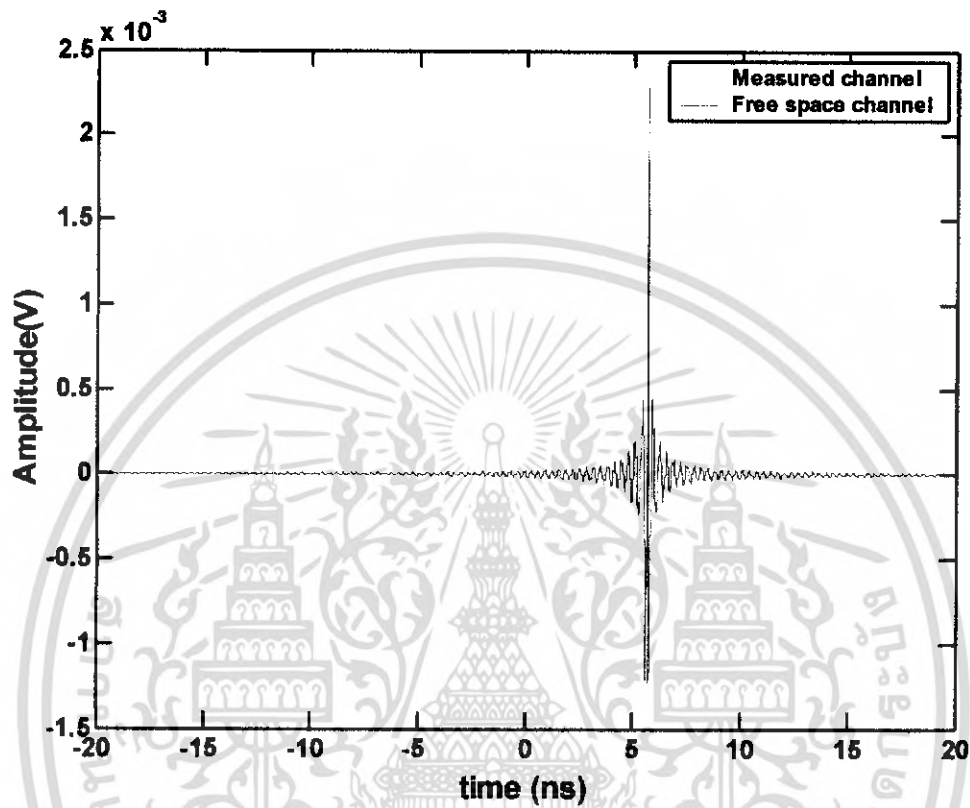
Optimum matched filter



รูปที่ 4.98 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 4
ของเครื่องหมายเลข 3, 4, 9 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

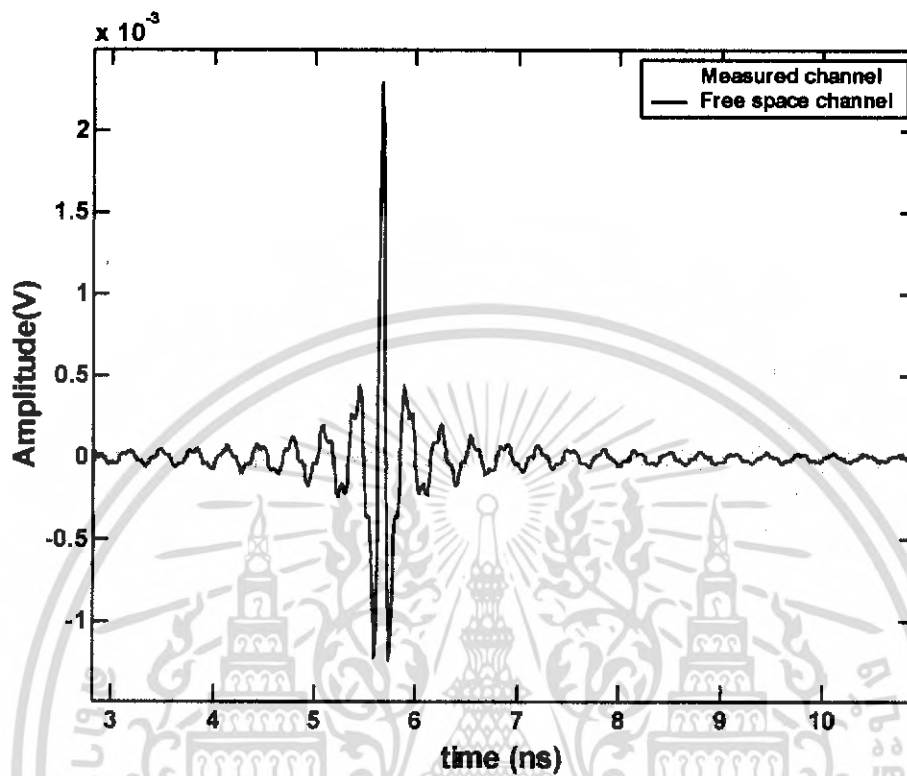
Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.99 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

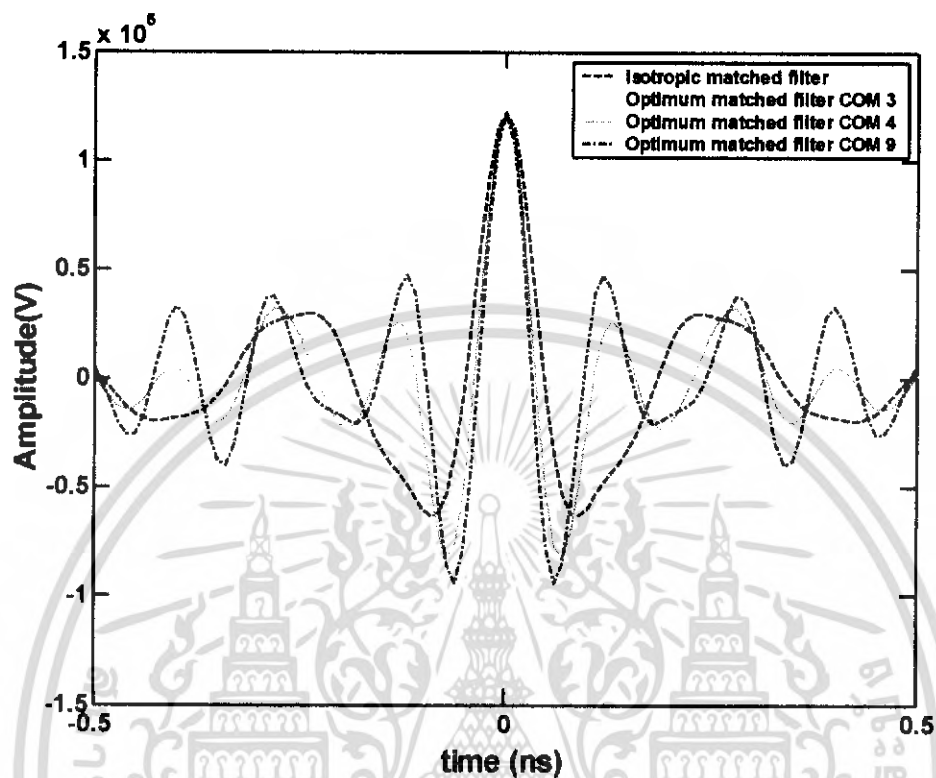
Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.100 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

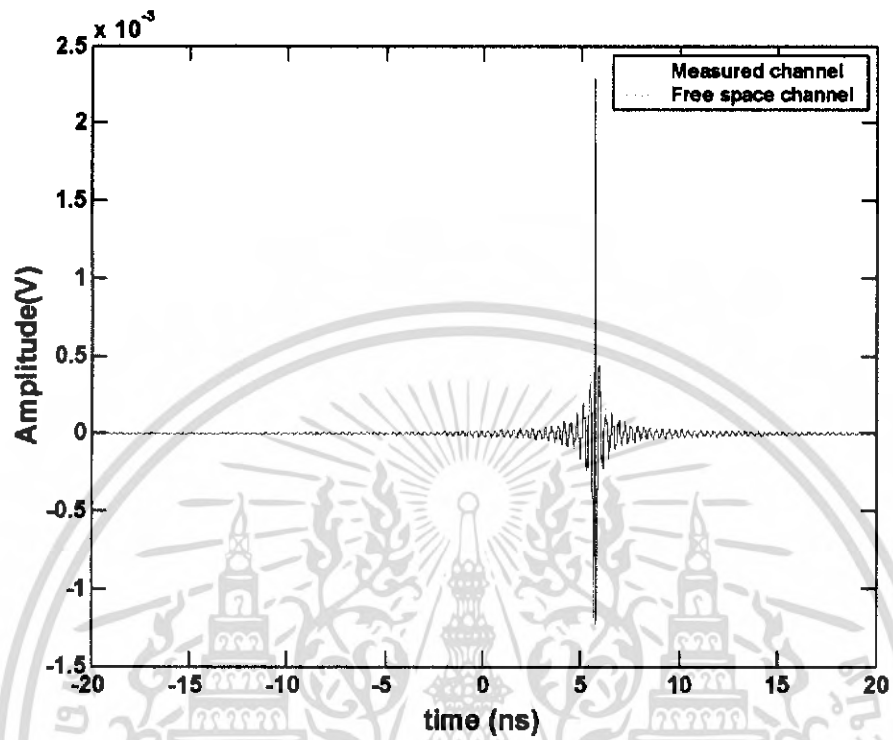
Optimum matched filter



รูปที่ 4.101 Optimum Received Waveform จากการทดลองที่ 4
ของเครื่องหมายเลข 3, 4, 9 แบบเบ็ดคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

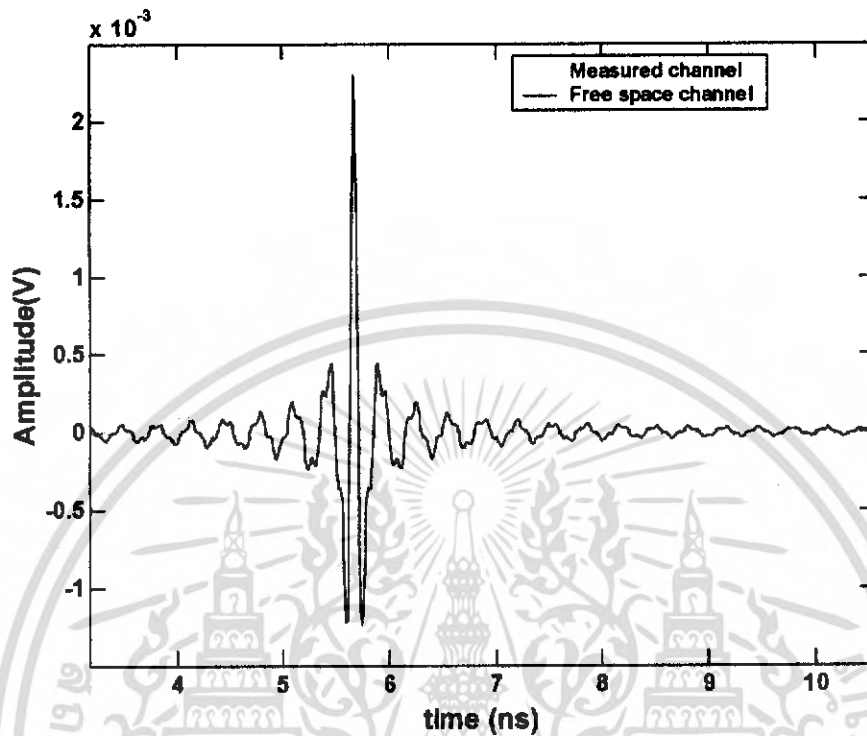
Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.102 เปรียบเทียบระหว่าง Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Comparison of Received Waveform



รูปที่ 4.103 เปรียบเทียบระหว่าง Received Waveform ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองที่ 4 แบบเปิดคอมพิวเตอร์

จากกราฟการทดลองที่ 4 จะพบว่าเมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปผ่าน matched filter แล้ว สัญญาณที่ได้จะดีขึ้นกว่าตอนที่ไม่ได้ผ่าน match filter ทั้งแบบปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเมื่อนำมาเทียบกันทั้งสองแบบมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก

สำหรับกราฟของ Received Signal ของ Free space Channel และ Channel ที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับสัญญาณของ free space จะเรียกว่าและรับสัญญาณได้เร็วกว่าการทดลอง ซึ่งระดับของสัญญาณที่รับได้ของ free space จะสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 5

บทสรุปและแนวทางวิจัยในอนาคต

5.1 สรุปผล

หลังจากที่ทำการประมวลผลการทดลองด้วยโปรแกรม Matlab จนได้กราฟในรูปแบบต่างๆ พร้อมทั้งผลการวิเคราะห์การทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่า

การส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศในแนวระดับสายตา (LOS) กับการทดลองการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศโดยมี คอมพิวเตอร์ พบว่า เกล็ดของคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น อาจเป็นเพราะเกิดจากการที่สัญญาณถูกบดบังจากวัตถุ (Shadowing) และเกิดการสูญเสียจากการที่สัญญาณเดินทางสะท้อนหลายทิศทาง (Multipath) ทำให้ได้รับสัญญาณได้ไม่ดีเท่ากับการที่ไม่มีวัตถุบดบัง ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเมื่อทำการทดลองหมุนเสาคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งสายอากาศด้านรับไปทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุมในช่วง 180 องศา ถึง 360 องศา (มุมที่เสาคอมพิวเตอร์บดบังสัญญาณ) แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังสามารถรับสัญญาณได้

ในการประยุกต์ใช้จริงเราสามารถติดตั้งสายอากาศในลักษณะ Omni-directional ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจะมีการสูญเสียน้อยกว่าแบบ Directional เนื่องจากสัญญาณแบบ Omni-directional นี้จะแพร่กระจายได้รอบทิศทางด้วยระดับสัญญาณคลื่นที่เท่า ๆ กัน ไม่ใช่แค่ทิศทางใดทิศทางหนึ่งเหมือนการส่งสัญญาณแบบ Directional

จากสัญญาณที่ได้รับซึ่งมีการสูญเสียเกิดขึ้นนั้น ไม่ว่าจะด้วยปัจจัยใดๆ ก็ตาม เราสามารถนำเทคนิคของแมทช์ฟิลเตอร์ (Matched Filter) เข้ามาใช้ปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้น โดยแมทช์ฟิลเตอร์สามารถช่วยให้ SNR (Signal-to-Noise Ratio) มาค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงสัญญาณทางด้านเข้าที่พหุคูณขึ้นนั่นเอง

5.2 แนวทางการพัฒนาโครงการ

สำหรับในการทดลองที่ 4 ซึ่งจะทำการศึกษาในทอม 2 นั้น สามารถนำมาตัดแปลงและพัฒนาต่อได้สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายได้ใน ระยะทางใกล้ ๆ โดยใช้อัลตราไวด์แบนด์ในการส่งข้อมูลเพื่อทดแทนการวางระบบแบบเดิมที่มีความส่งข้อมูลต่ำ

บรรณานุกรม

- [1] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications principles and practice*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [2] Simon R. Saunders, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] M. Ghavami, L.B. Michael, R. Kohno, *Ultra Wideband Signals and System in Communication Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [4] Kazimierz Siwiak, Debra Mckeown, *Ultra-Wideband Radio Technology*, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [5] Lan Oppermann, Matti Hamalainen, Jari Linatti, *UWB Theory and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [6] รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, คู่มือการใช้งาน *MATLAB ฉบับสมบูรณ์*, กรุงเทพฯ, อินโฟเพรส, 2543.

เว็บไซต์อ้างอิง

- http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_wideband
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Pathloss>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Friis'_formula
- http://en.wikipedia.org/wiki/Matched_filter
- <http://www.mobile-connect.de/rt/manual/node34.html>
- <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/aperture.html>
- <http://www.merl.com/publications/TR2004-016/>
- http://www.wireless.ece.ufl.edu/public_html/eel6535/studysheet2/node3.html
- <http://www.intel.com/technology/ultrawideband/>
- <http://www.nari.ee.ethz.ch/commth/pubs/p/ComLet-jh>
- <http://www.turbowave.com/documents/Wireless%20Networking.pdf>
- http://engnet.anu.edu.au/DEcourses/ engn4520/2._Friis_Fomula.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้