

คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างซึ่งที่ประกอบเข้าด้วย
แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

CHARACTERISTICS OF UWB RADIO CHANNEL
WITH THE LAPTOP COMPUTER

ภาณพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา
PHANUPONG SIRIPORN NA RACHSEEMA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งที่ประกอบเข้าด้วย
แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

CHARACTERISTICS OF UWB RADIO CHANNEL
WITH THE LAPTOP COMPUTER

ภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา

PHANUPONG SIRIPORN NA RACHSEEMA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**71574**
วัน,เดือน,ปี.....**22 พ.ค. 2550**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

**CHARACTERISTICS OF UWB RADIO CHANNEL
WITH THE LAPTOP COMPUTER**

PHANUPONG SIRIPORN NA RACHSEEMA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งที่ประกอบ เข้าด้วยแลปท็อปคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา
รหัสประจำตัว	46064612
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาผลกระทบและการบดบังจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณและสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานข้อมูลจากการวัดและได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งได้พิจารณาถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถี, อัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง, แสดงภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานและประสิทธิภาพของช่องสัญญาณซึ่งพิจารณาจากอัตราความผิดพลาดบิตซึ่งได้ทำการวัดภายในอาคาร โดยในการวัดได้จำลองและกำหนดลักษณะวิธีการวัดประกอบกับการใช้แลปท็อปคอมพิวเตอร์จริงเพื่อตรวจสอบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด โดยผลที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะแสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งอันเนื่องมาจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยได้กำหนดแบบจำลองขึ้นมาสองรูปแบบจำลองคือแบบจำลองผลจากการหมุนแลปท็อปคอมพิวเตอร์ทางด้านรับในสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน และผลกระทบจากการเปิดและปิดเครื่องแลปท็อปคอมพิวเตอร์ในลักษณะสภาพแวดล้อมแบบห้องประชุม จากหลักการและแบบแผนการประเมินค่าผลการทดลองวิจัยวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ ออกแบบระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเฉพาะประสิทธิภาพการส่งผ่านข้อมูลข่าวสารและการผิดเพี้ยนของสัญญาณ

Thesis Title	Characteristics of UWB Radio Channel with the Laptop computer
Student	Mr. Phanupong Siriporn na rachseema
Student ID.	46064612
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis studies the characterizations of ultra-wideband radio channel with the laptop computer to investigate the effects based on the data measurement. In the analysis by used the Friis' transmission formula to considerate about path loss, transmission gain, power delay profile and bit error rate. The measurement performed in an indoor environment is conducted. The measurement of model defines the method of measurement with using the real laptop computer to investigate the effects of shadowing which occur in the channel. The vector network analyzer (VNA) which is the main equipment for the measurement. From the measured results are taken to analyze other parameters which show the effect of ultra-wideband channel due to the laptop computer. In the simulated environment two models have been proposed. In the first model in simulated environment takes place in class room and the second model comes from opening and closing laptop computer in meeting room. Moreover, this technique can evaluate the ultra-wideband impulse radio and develop input signal to analysis and UWB system desing to considerate the performance and the distortion.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้นำแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์นี้จาก อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศและหัวหน้ากลุ่มงานวิจัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำแนวทางในการวัดผลและอนุเคราะห์ผลการวัดจากห้องปฏิบัติการของสถาบันเทคโนโลยีแห่งโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น รวมทั้งคอยสั่งสอนให้มีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วย รศ.นิกร สุขุมตันติ, ผศ.คชชัย สุขเจริญผล, ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์และรศ.ดร.ประบุษ อัครเอกผาติน ที่ให้ความกรุณาในการตรวจทานอีกทั้งข้อเสนอแนะต่างเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความสำคัญในการเรียนมาโดยตลอดจนทำมีวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง.....	6
2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	7
2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.4 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา.....	9
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป.....	10
2.5 การนำเอาระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน.....	12
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์.....	12
2.5.2 ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ.....	13
2.5.3 เรดาร์.....	14
2.6 สรุป.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง	16
3.1 กล่าวนำ	16
3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง	16
3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ	17
3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิธีในระบบแถบกว้างยิ่ง	19
3.4 การสูญเสียเชิงวิถี	20
3.5 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของพรีเส	22
3.6 แมตซ์ฟิลเตอร์	23
3.7 ค่าการสูญเสียกำลังงาน	24
3.8 อัตราขยายของแถบกว้างยิ่ง	24
3.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP).....	25
3.10 การกระจายทางเวลา	26
3.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	27
3.12 อัตราความผิดพลาดบิต	27
3.13 สรุป	28
บทที่ 4 แบบการจำลองและการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	29
4.1 กล่าวนำ	29
4.2 แบบแผนการจำลอง.....	29
4.3 รูปแบบจำลองการวัด.....	31
4.3.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 1.....	31
4.3.2 รูปแบบจำลองการวัดที่ 2.....	32
4.4 แบบแผนการวัด.....	33
4.5 ระบบการวัด	34
4.5.1 รูปแบบสัญญาณส่งของแบบแถบกว้างยิ่ง	34
4.5.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัด.....	35
4.5.3 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง	35
4.5.3.1 สายอากาศแบบกรวยคู่.....	36
4.5.3.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	39
4.6.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 1	39
4.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 2	40
4.7 สรุป	40
บทที่ 5 ผลการวัดและการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่ง	42
5.1 กล่าวนำ	42
5.2 ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์	42
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 1	42
5.2.1.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ.....	42
5.2.1.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ.....	43
5.2.1.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ	44
5.2.1.4 อัตราการขยายของสัญญาณในแถบความถี่กว้างยิ่ง.....	44
5.2.1.5 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน	45
5.2.1.6 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน	46
5.2.1.7 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากห้องไร้การสะท้อน	47
5.2.1.8 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่งในสภาพห้องไร้การสะท้อน	47
5.2.1.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ(Power Delay Profile)	48
5.2.1.10 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ	49
5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดภายในห้องแบบที่ 2	51
5.2.2.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ	51
5.2.2.2 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ	53
5.2.2.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	56
5.2.2.4 อัตราความผิดพลาดบิต	58
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	61
6.1 กล่าวนำ.....	61
6.2 ผลการวิจัยบนพื้นฐานข้อมูลการวัด.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 1.....	61
6.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 2.....	62
6.3 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	10
2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองที่ 1	39
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองแบบที่ 2.....	40
5.1 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี.....	52
5.2 เปรียบเทียบค่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิง.....	54
5.3 เปรียบเทียบค่าการแผ่ประวิง.....	56
5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	58
6.1 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 2	62

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การสื่อสารแถบกว้างยิ่งในอากาศว่าง	2
1.2 ขั้นตอนในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์	5
2.1 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบ กว้างยิ่ง ...	8
2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายในอาคาร	11
2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่ง ภายนอกอาคาร	12
2.4 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานการติดต่อสื่อสารระยะสั้น	13
2.5 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง	14
3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	17
3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น	17
3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่	18
3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนเวลา	19
3.5 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร	20
3.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง	22
3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	25
4.1 แบบจำลอง	30
4.2 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการหาค่าสัญญาณ	31
4.3 รูปแบบจำลองของการวัดทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องที่ 2	32
4.4 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัย	33
4.5 รูปแบบสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง	34
4.6 สเปกตรัมของสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง	35
4.7 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่	36
4.8 สายอากาศแบบกรวยคู่	37
4.9 คุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่	37
4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่	38
4.11 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	38
4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศสภาพแวดล้อมภายในอาคาร	43
5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร	43
5.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร	44
5.4 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่ง	45
5.5 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน	46
5.6 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน	46
5.7 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากห้องไร้การสะท้อน	47
5.8 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่งในสภาพห้องไร้การสะท้อน	48
5.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ	49
5.10 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง โดยมีผลกระทบจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	50
5.11 ค่าการแผ่ประวิง โดยมีผลกระทบจากแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	50
5.12 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	51
5.13 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	52
5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง โดยเมื่อเปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	53
5.15 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง โดยเมื่อปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	54
5.16 ค่าการแผ่ประวิง โดยเมื่อเปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	55
5.17 ค่าการแผ่ประวิง โดยปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	55
5.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	57
5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยเปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	57
5.20 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีเปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	59
5.21 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	60
5.21 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีปิดแถบที่ออฟคอมพิวเตอร์	60

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude-Shift Keying)	ASK
อัตราความผิดพลาดบิต	BER
หน่วยงานวิจัยขั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency).....	DARPA
ออสซิลโลสโคปสุ่มตัวอย่างแบบดิจิทัล (Digital Sampling Oscilloscope)	DSO
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
องค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration)	FAA
คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission).....	FCC
โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	FD
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus).....	GPIO
ระบบดาวบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
ฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union).....	ITU
ระดับแนวสายตา (Line of Sight).....	LOS
สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง (Meander Line Antenna)	MLA
การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation).....	PAM
คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer).....	PC
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile).....	PDP
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss).....	PL
การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์ (Pulse Position Modulation)	PPM
โดเมนเวลา (Time Domain).....	TD
ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band)	UWB
กลุ่มทำงานเกี่ยวกับระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band Working Group)	UWBWG
เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่าย (Vector Network Analyzer).....	VNA
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network)	WPAN
แอมแปร์ (Ampere).....	A
เดซิเบล (Decibel)	dB

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

เฮิรตซ์ (Hertz).....	<i>Hz</i>
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz).....	<i>GHz</i>
เมตร (meter).....	<i>m</i>
วินาที (Second).....	<i>s</i>
นาโนวินาที (Nanosecond).....	<i>ns</i>
วัตต์ (Watt).....	<i>W</i>
มิลลิวัตต์ (Milliwatt).....	<i>mW</i>
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth).....	<i>B_f</i>
ความเร็วแสง (Velocity of light).....	<i>c</i>
ระยะทาง (distance),m.....	<i>d</i>
ความถี่ (Frequency),Hz.....	<i>f</i>
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร.....	<i>f_H</i>
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร.....	<i>f_L</i>
อัตราขยายของสายอากาศรับ (Receiver gain), dB.....	<i>G_R</i>
อัตราขยายของสายอากาศส่ง (transmitter gain), dB.....	<i>G_t</i>
ฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function).....	<i>H(ω)</i>
จำนวนจุดความถี่ (Sampling number).....	<i>N_{smp}</i>
กำลังงานที่รับได้ (Receive power), W.....	<i>P_R</i>
กำลังงานที่ส่ง (Transmitt power), W.....	<i>P_T</i>
เครื่องรับ (Receiver).....	<i>Rx</i>
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient).....	<i>S₂₁</i>
เวลา (Time), s.....	<i>t</i>
เครื่องส่ง (Transmitter).....	<i>Tx</i>
ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation constant).....	<i>α</i>
ฟังก์ชัน Dirac delta.....	<i>δ(t)</i>
ความยาวคลื่น (Wavelength), m.....	<i>λ</i>

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

อิมพีแดนซ์อินทรินซิก (Intrinsic impedance).....	η
สภาพยอม (Permittivity)	ϵ
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	ϵ_r
สภาพยอมของอวกาศว่าง (Permittivity of free space)	ϵ_0
ความซึมซาบได้ (Permeability).....	μ
ความซึมซาบได้ของอวกาศว่าง (Permeability of free space).....	μ_0
ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability).....	μ_r
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s.....	τ
ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread), s.....	σ_τ
ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient).....	$\rho(d)$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

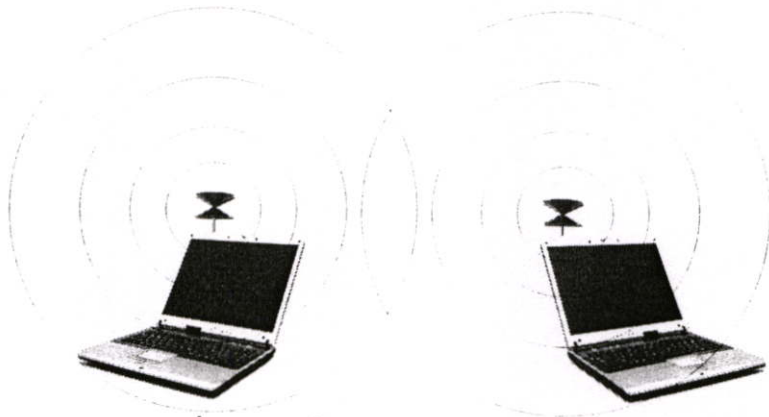
วิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wide band :UWB) คือเทคโนโลยีไร้สายที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ และระบบการสื่อสารในระยะสั้น ซึ่งในระบบสื่อสารเป็นมาตรฐานใหม่ IEEE 802.15.3a สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless personal area network : WPAN) ด้วยคุณสมบัติเด่นของเทคโนโลยี UWB ที่มีแบนด์วิดท์กว้าง, สามารถส่งผ่านข้อมูลได้สูง, มีค่าความจุของช่องสัญญาณสูง, ใช้กำลังงานส่งต่ำ และมีราคาถูก ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้และเป็นไปตามแนวคิดที่จะนำประยุกต์ใช้ในสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้าน จึงมีความจำเป็นสำคัญยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพสูงสุด และความเหมาะสมของระบบการสื่อสารระยะสั้นภายในอาคาร

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของการส่งผ่านช่องสัญญาณ และสายอากาศแบบกว้างยิ่ง ภายในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร บนพื้นฐานข้อมูลจากการวัดจริง ซึ่งได้ทำการทดลองวิจัยที่ห้องประชุมของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้พิจารณาใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นเครื่องมือวัดและบันทึก ส่วนสายอากาศส่งและรับได้พิจารณาใช้สายอากาศแบบแถบกว้างมีสองชนิดด้วยกันคือสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical) เป็นสายอากาศทางด้านส่งสัญญาณ และสายอากาศแบบมีนเคอร์ไลน์ (Meander line antenna) เป็นสายอากาศทางด้านรับสัญญาณ

กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด การหาค่าการแพร่กระจายของสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีการใช้แถบความถี่กว้างยิ่งประกอบกับใช้กำลังงานในการส่งต่ำ และในการใช้งานจริงของระบบนี้จะมีลักษณะการนำไปใช้ภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผงัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือแถบที่อปคอมพิวเตอร์ (Laptop computer) เพราะมีความเป็นไปได้ที่จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาว่าแถบที่อปคอมพิวเตอร์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องด้วยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง นี้ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารซึ่งในการใช้งานจริงนั้นสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงจึงทำให้เกิดการแพร่กระจายของช่องสัญญาณหลายวิถี (Multipath channel) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 อันเนื่องมาจากผลกระทบในสภาวะแวดล้อมต่างๆ รอบข้างส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง [3] เป็นต้นทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้แต่ยังมีปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญและน่าสนใจนั่นก็คือ ผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลถึงคุณภาพของช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน ดังนั้นในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในประเด็นของการถูกบดบังโดยแลปท็อปคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นในเชิงตัวเลขได้ว่าเมื่อเกิดการบดบังจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์แล้วนั้นส่งผลอย่างไรต่อระดับกำลังงานที่รับได้เป็นจำนวนเท่าไรอีกทั้งยังสามารถแสดงให้เห็นถึงค่าการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ของช่องสัญญาณเมื่อเกิดการบดบังขึ้น



รูปที่ 1.1 การสื่อสารแถบกว้างยิ่งในอากาศว่าง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การสมมติฐานของงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในอาคารนั้นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบให้คงที่เพื่อวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ในสภาพการใช้งานจริงอีกทั้งยังทำการจัดตำแหน่งของสายอากาศทางด้านส่งให้อยู่ในแนวนอน

(Horizontal) ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่มีทิศทางซึ่งเป็นลำคลื่นหลัก (Main beam) ไปยังแถบที่อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ช่วยลดผลการสะท้อนของวัตถุในทิศทางที่ไม่ต้องการพิจารณาได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามยังมีผลของการสูญเสียที่เกิดจากสายส่งสัญญาณและคอนเนคเตอร์ที่ใช้ในการทดลองอยู่บ้าง แต่ก็ได้ถูกชดเชยโดยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบเวกเตอร์ทำให้ผลที่เกิดขึ้นไม่กระทบต่อผลการวัดมากนัก และผลของสายอากาศจะรวมอยู่ในผลการวัดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ในลักษณะของการวัดภายในอาคารยังได้ทำการทดสอบในมุมต่างๆ ด้วยว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะใดและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณอย่างไร โดยในเบื้องต้นคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

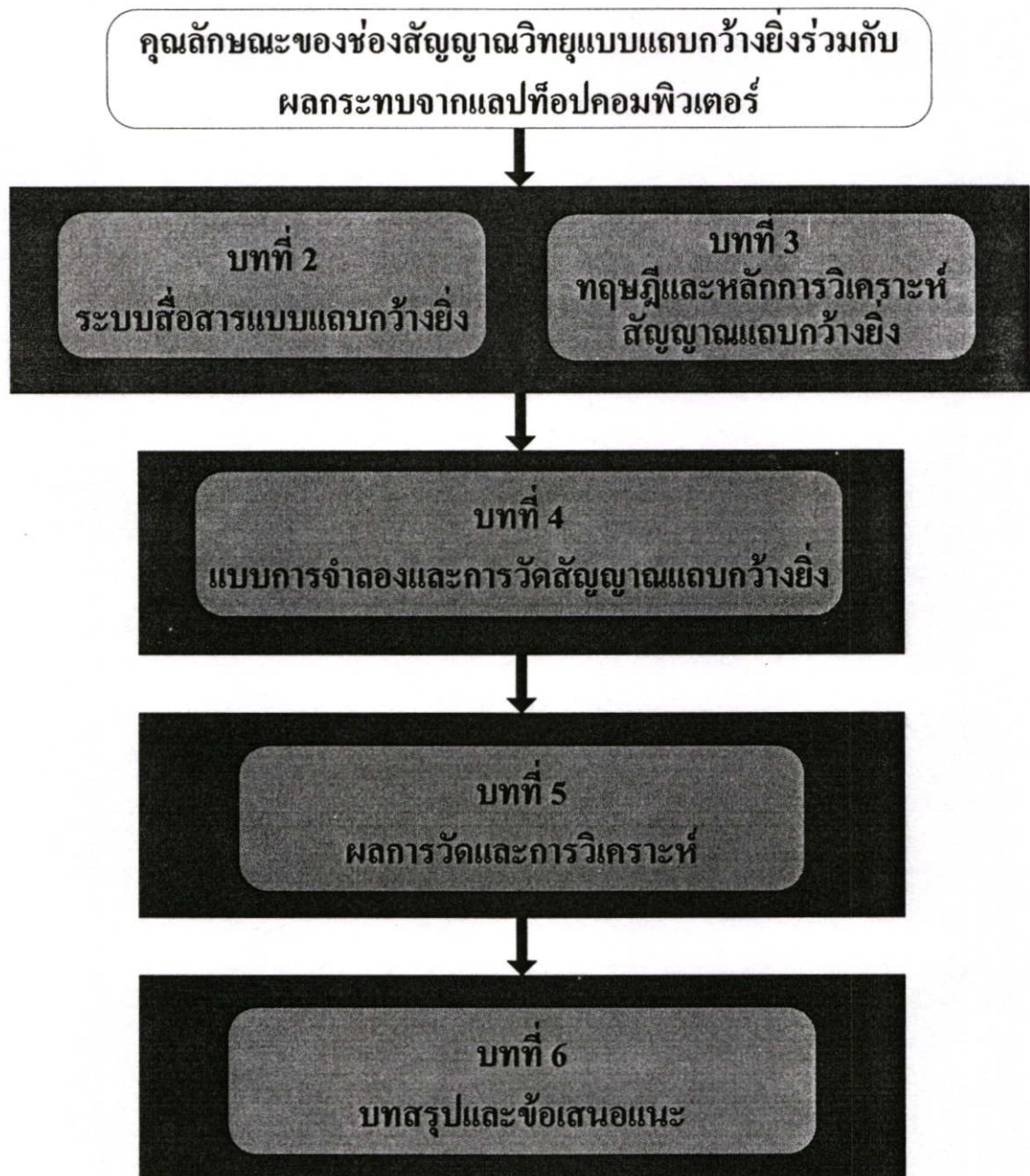
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุและสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบเวกเตอร์โดยใช้สายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omni-directional) ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสาร คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งในขั้นตอนของการวัดนั้นได้ทำการวัดภายในอาคารเพื่อวิเคราะห์ ถึงผลกระทบที่มีต่อช่องสัญญาณและคุณสมบัติของสายอากาศ ผลที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยหลักการส่งผ่านของฟรีส โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินค่าของผลการลดทอนของกำลังงานที่รับได้ในกรณีเกิดการบดบังของแถบที่อปคอมพิวเตอร์ในแต่ละมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา โดยทำการหมุนแถบที่อปคอมพิวเตอร์ทางด้านรับครั้งละ 5 องศา นอกจากนี้ยังได้พิจารณาการกระจายทางเวลาของช่องสัญญาณคือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay) และค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread) ซึ่งค่าทั้งสองนี้จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางเวลาของสัญญาณที่เข้ามาถึงยังสายอากาศด้านรับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าการแผ่ประวิงนั้นจะแสดงให้เห็นถึงปัญหาการทับซ้อนกันของสัญญาณระหว่างบิตหรือสัญลักษณ์ (Intersymbol interference : ISI) นอกจากนี้ยังได้ทำการหาค่าความสัมพันธ์ของอัตราขยาย (Relative gain) ของเกณฑ์การส่งผ่าน โดยได้พิจารณาในแต่ละมุมที่หมุนสายอากาศว่ามีผลกระทบจากแถบที่อปคอมพิวเตอร์มีมากน้อยเพียงใด และจะทำให้อัตราขยายของการส่งผ่านลดลงเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณและคุณสมบัติของสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ บนพื้นฐานข้อมูลจากผลการวัดในสถานะภายในอาคาร ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ตามที่ต้องการทราบซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าการกระจายกระจายกำลังงานในโดเมนของเวลา, ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ, ค่าอัตราการใช้สัมพันธ์ของสัญญาณการส่งผ่าน, และค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณ และได้ทำการเปรียบเทียบผลจากการวัดจริงที่เกิดจากการหมุนแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในมุมต่างๆกับไอโซโทปิก และผลกระทบจากอีกสองกรณีเมื่อมีการเปิดและเมื่อปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ ที่มีรูปแบบการจัดวางบนโต๊ะประชุมในสถานะภายในอาคารจริง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เริ่มจากศึกษาถึงขั้นตอนในการวัดเก็บค่าช่องสัญญาณ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามลักษณะการนำไปใช้งานจริง จากนั้นจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ อันประกอบไปด้วย พารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายทางเวลาของสัญญาณ ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณและค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณที่ได้รับ ได้ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิจัยและแบ่งเนื้อหาออกเป็นขั้นตอนได้ 7 บทดังต่อไปนี้ ในบทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา ในบทที่ 2 จะทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ลักษณะเฉพาะและกฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการศึกษาวิจัย ในบทที่ 3 จะทำการศึกษาทฤษฎีการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองและวัดสัญญาณ เช่น ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ รวมถึงพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการพิจารณาการผลกระทบ ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการจำลองช่องสัญญาณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และขั้นตอนการเตรียมการอุปกรณ์สำหรับการวัดสัญญาณ ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการจำลองช่องสัญญาณ ในบทที่ 6 กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการวัดสัญญาณและทำการเปรียบเทียบและประเมินค่าของผลการจำลองให้ใกล้เคียงกับผลของการวัดและแสดงให้เห็นว่าวิธีที่เสนอได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณภาพของสัญญาณได้จริง และบทสุดท้ายบทที่ 7 จะกล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband :UWB) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network : WPAN) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ด้วยคุณสมบัติที่เด่นและมีความเหมาะสมหลายด้าน ดังเช่น ใช้ในระยะทางใกล้ๆ สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงโดยเชื่อมต่อด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร ต้องการกำลังงานในการส่งต่ำซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดย FCC (Part 15 limit) ได้กำหนดให้ใช้แถบความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a [2] โดยเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง นั้นคาดว่าจะถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ภายในสำนักงาน และ โครงข่ายภายในบ้าน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC), เครื่องพิมพ์ (Printer), เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner), กล้องดิจิทัล (Digital Camera), คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลขนาดพกพา (Pocket PC), วีดีโอโปรเจกเตอร์ (Projector) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายต่างๆ

ในการใช้งานจริงของระบบนี้จะมีลักษณะการนำไปใช้ภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือ แลปท็อปคอมพิวเตอร์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาว่าแลปท็อปคอมพิวเตอร์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้น ได้ถูก คิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ. 1962 โดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟ ในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟสซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์

ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ $h(t)$ ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย $y(t)$ และกำหนดให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเป็น $x(t)$ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นได้ใช้เครื่อง ออสซิลอสโคปในการวัดค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลอสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

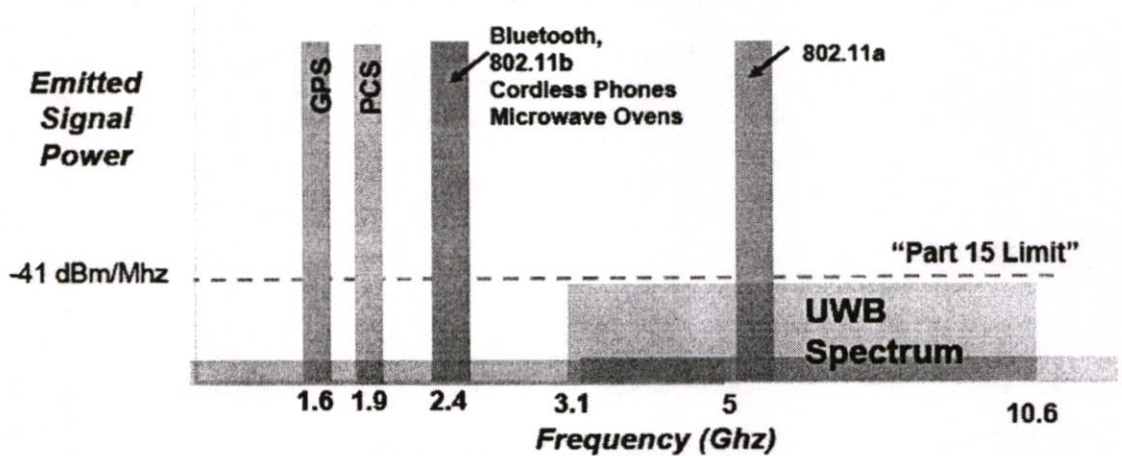
ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่าง เช่น ในปี ค.ศ. 1989 สเปนอร์รี่ ได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์การป้องกันกชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และ ตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio Frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด ประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้

เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบกว้างยิ่ง

2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารในหลายๆประการเช่น

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาหะและไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่วงจรรวมผลผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้เสมือนเป็นสัญญาณรบกวน

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยั้งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร

2.4 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยั้ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยั้งนั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยั้งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกับกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยั้งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยั้งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจจับสัญญาณหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยั้งด้วยเช่นกัน

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยั้งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยั้ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยั้งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.25 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

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

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้ในงานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

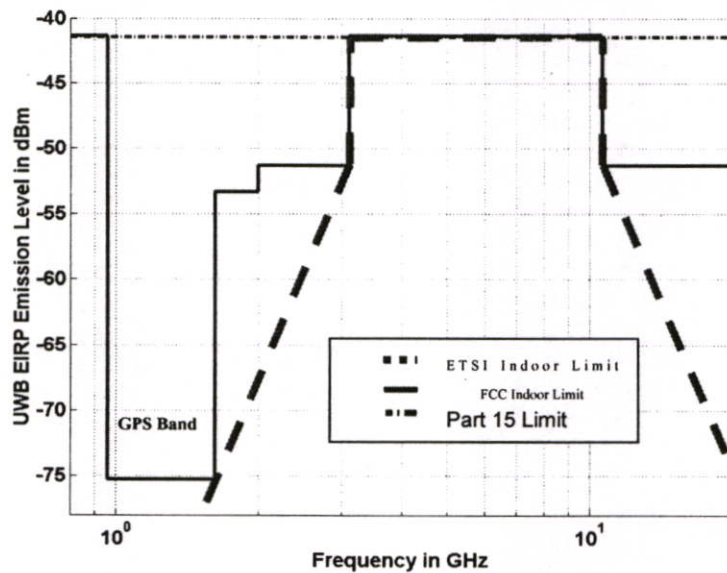
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

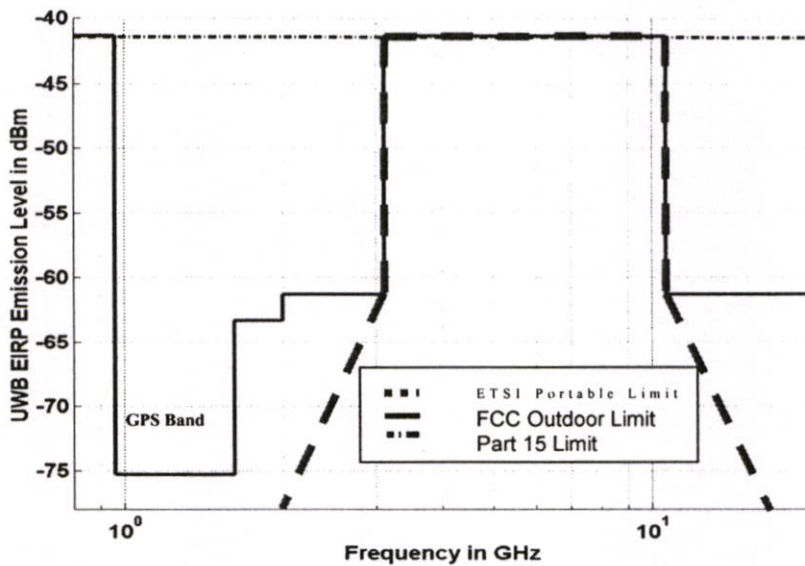
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

	ช่วงความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายในอาคาร	$-51.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87\log(10.6 / f)$
ภายนอกอาคาร	$-61.3 + 87\log(f / 3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87\log(10.6 / f)$

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

2.5 การนำเอาระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบเนื่องโดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักได้แก่

- ใช้ในการติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ
- ใช้ระบบเรดาร์

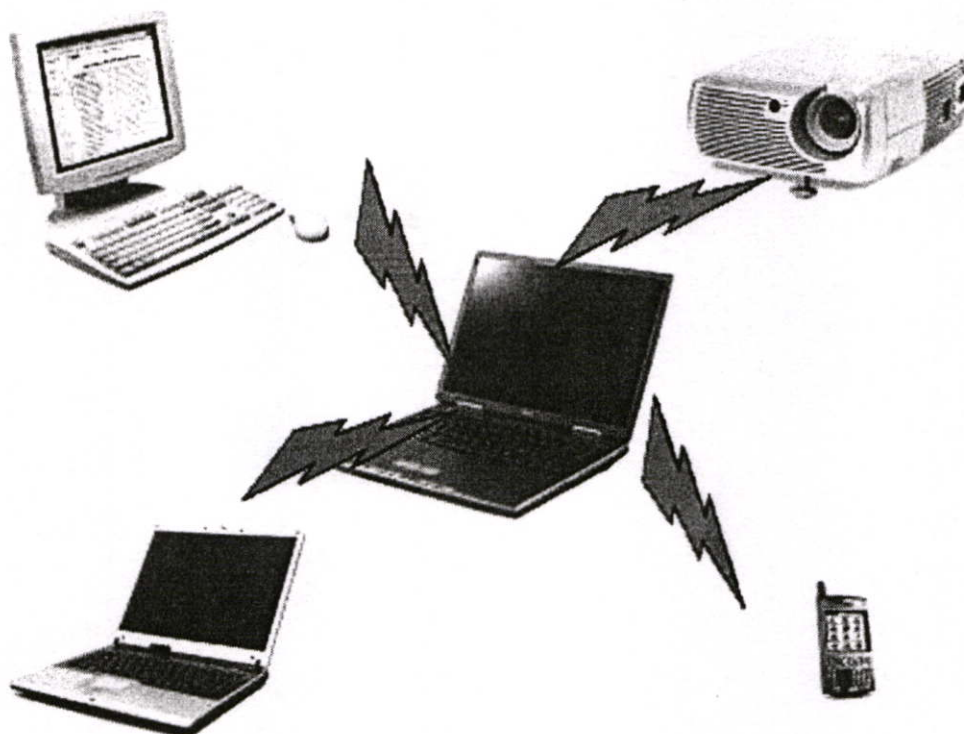
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์

ในอนาคตนั้นมีแนวโน้มว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ภายในบ้านชนิดต่าง ๆ นั้นจะ ต้องมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันมากขึ้นซึ่งหากแบ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ไป เช่น โทรทัศน์, วิทยุ, วิดีโอเกมส์, กล้องดิจิทัล, เครื่องขยายเสียง, ลำโพง และ เครื่องเล่น ดีวีดี

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ, พีดีเอ, เครื่องเล่นเอ็มพีสาม

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องพิมพ์, เครื่องสแกนเนอร์, อุปกรณ์เก็บข้อมูล, เครสที่อปคอมพิวเตอร์ และที่ขาดไม่ได้คือ แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์



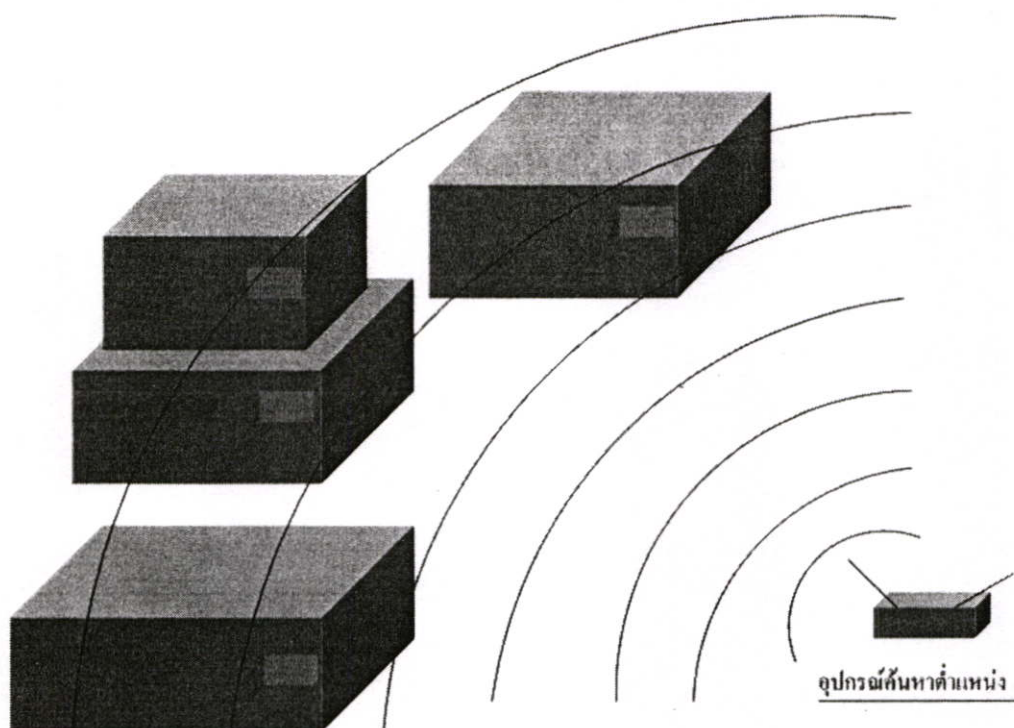
รูปที่ 2.4 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานการติดต่อสื่อสารระยะสั้น

ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นล้วนสามารถนำ UWB มาประยุกต์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารและส่งผ่านข้อมูล เช่น มีการส่งสัญญาณภาพจากเครื่องเล่น ดีวีดี ไปยัง โปรเจกเตอร์ เพื่อทำการฉายภาพ หรืออาจทำการส่งข้อมูลวีดีโอจากกล้องถ่ายวีดีโอ ไปยังแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

นอกจากจะนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์กับเซนเซอร์ต่าง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำกรวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำแนวความคิดกว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายต่างๆหมดไปและเนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำจึงทำให้ไม่ผลกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

2.5.2 ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ

ในปัจจุบันนี้มีระบบจีพีเอสที่ใช้ในการบอกพิกัดซึ่งยังเป็นหน่วยที่สามารถบอกพิกัดได้เพียงในระดับเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อในมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารนั้นเป็นการต้องการรู้ว่าคุณเจออยู่ที่ไหนหรือแม้แต่อาจนำไปประยุกต์ในการตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้าแล้วเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจึงที่ความเหมาะสมมากกว่าเพราะสามารถบอกตำแหน่งได้ในระดับเซนติเมตร



รูปที่ 2.5 การนำแถบกว้างไปยังประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง

2.5.3 เรดาร์

สัญญาณแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับเรดาร์ อุปกรณ์เรดาร์ในอนาคตนั้นยังเป็นที่ต้องการของตลาดอีกมาก อุปกรณ์เรดาร์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุ, ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน, การตรวจจับความเร็วบนถนน, ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงอย่างทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการเฝ้าระวังสูงหรืออาจนำมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาการทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้, อิฐ, อิฐบล็อก, ไฟเบอร์, พลาสติกและคอนกรีต ซึ่งแต่เดิมนั้น เรดาร์ได้ถูกพัฒนาและใช้เพื่อการทหารแต่ในอนาคตอันใกล้นี้ก็ได้นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้าง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมถึงข้อกำหนดในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิธของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น FCC และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น รวมถึงการนำ

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์, การค้นหาตำแหน่งของวัตถุ และระบบเรดาร์ ซึ่งเป็นหลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

สถานะแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่นนั้นการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวข้องไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์นั้นได้มีทฤษฎีและเทคนิคในการวัดสำหรับการจำลองแบบการแพร่กระจายของสัญญาณไว้แล้ว ส่วนในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งทั้งสถานะแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญด้วยผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นการประเมินค่าความสำเร็จของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่คิดแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสมในงานวิจัยที่ได้พิจารณาใช้หลักการวิเคราะห์แบบฟรีส โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการพิจารณาถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสถานะแวดล้อมที่ชัดเจน

ในการจำลองแบบช่องสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้นมีหลักเกณฑ์จำนวนมากที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนของลักษณะการเกิดของช่องสัญญาณ โดยความแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งและเทคนิคการจำลองช่องสัญญาณเนื่องด้วยสภาพความเป็นจริงในการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งหรือผลที่ขึ้นอยู่กับความถี่ที่เปลี่ยนไปนั้นไม่สามารถที่จะละเลยได้ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ การผ่านทะลุ การสะท้อน การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณและผลอื่นๆ ควรที่จะนำมาพิจารณาตามความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นในการจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยทั่วไปเนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่งเนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุตส่งผ่านไปยังสายอากาศด้าน

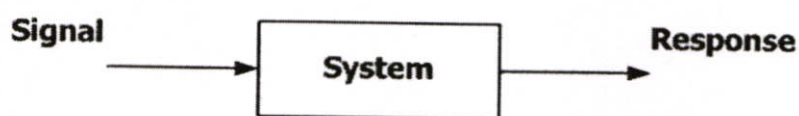
ส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับ แล้วจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์โดยผ่านแมตซ์ฟิลเตอร์เพื่อให้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการพิจารณาสัญญาณที่ได้ว่าที่ค่าเป็นบิต 0 หรือ บิต 1 และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดช่องสัญญาณ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย นั้นสิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 3.2 ซึ่งผลตอบสนอง ดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(f)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 3.1 [6] และแสดงดังรูปที่ 3.2



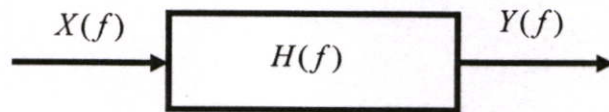
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (3.1)$$

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุทของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

3.2.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณ

การแสดงความสัมพันธ์ของช่องสัญญาณนั้นสามารถทำได้หลายวิธีโดยหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ก็คือ การแสดงด้วยค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse response) ของระบบโดยเริ่มต้นนั้นจะขอกล่าวถึงคำนิยามของฟังก์ชันอิมพัลส์ (Impulse function) ก่อนดังนี้

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

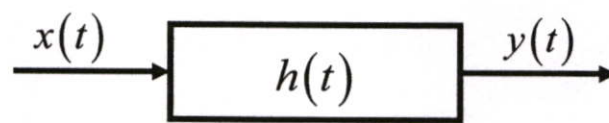
$$\int_a^b f(t) \delta(t - t_0) dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (3.2) เมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) dt = 1 \quad (3.3)$$

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ (3.3) จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t - t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่า

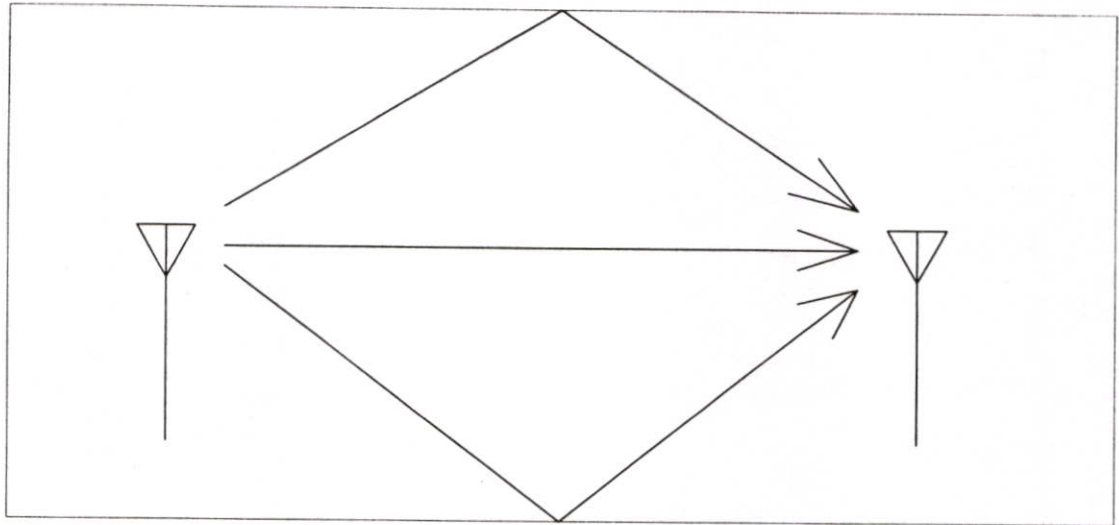
น้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริง ในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอก คุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนอง อิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้ และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใด ๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเทคนิคการจำลองแบบช่องสัญญาณนั้นจะทำการพิจารณาแบบจำลองโดยไม่ได้มี ลักษณะตรงกันกับระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ได้พิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปซึ่งเหมาะสมที่จะนำมา อธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการจำลองแบบช่องสัญญาณอีกด้วยด้วยความสะดวกและง่ายใน แบบจำลองสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งอาทิเช่น แบบจำลองความ ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time) แบบจำลองหลายวิถี (Multipath) หรือแบบจำลองผลตอบ สอนอิมพัลส์ เหตุเพราะว่า ตำแหน่งของเพดาน, กำแพง, ประตู, เฟอร์นิเจอร์และคนที่อยู่ภายใน อาคารจะส่งผลถึงการส่งผ่านสัญญาณที่เกิดขึ้นหลายเส้นทางจากเครื่องส่ง ไปยังเครื่องรับดังรูปที่ 3.5 [5]



รูปที่ 3.5 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร

เพราะฉะนั้นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่เข้ามาถึงยังเครื่องรับนั้นจะมีขนาด เฟส และเวลา ประวิง (time delay) ที่แตกต่างกันโดยแบบจำลองนี้ในแกนของเวลาประวิงจะถูกแบ่งออกเป็น ช่วงเวลาเล็กๆที่เรียกว่า “bins” ซึ่งในแต่ละ bin นั้นได้ถูกสมมติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ ในแต่ละส่วนของสัญญาณแบบหลายวิถี โดยความเป็นไปได้ของเส้นทางของสัญญาณที่มากกว่า หนึ่งเส้นทางภายใน bin นั้นจะถูกแยกออกไปซึ่งความกว้างที่เหมาะสมของ bin นั้นจะขึ้นอยู่กับ ความละเอียดของลักษณะจำเพาะในการวัดนั้น ๆ โดยปรากฏการณ์ของการเกิดการแพร่กระจาย คลื่นแบบหลายวิถีนั้นสามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นไปตาม ผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่ต่อเนื่องของช่องสัญญาณดังสมการที่ (3.4)

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l \delta(t - lT_m) \quad (3.4)$$

- โดยที่ α_l คือ เฟคเตอร์การลดทอนทางแอมพลิจูดในเส้นทางที่ l และเป็นฟังก์ชันของเวลา และระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ
- T_m คือ ความละเอียดทางเวลาที่น้อยที่สุดของพัลส์
- L คือ จำนวนขององค์ประกอบหลายวิถี
- $\delta(t)$ คือ ฟังก์ชัน Dirac delta

3.4 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่าง ภาควงและภาควิธีโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทาง

ระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [6] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่กำเนิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสู่สายอากาศเพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแพร่สัญญาณแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.6 โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (3.5) โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission equation)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.5)$$

โดยที่

P_R	คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้
P_T	คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา
G_R	คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
G_T	คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
λ	คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$
c	คือ ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
f	คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)
d	คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (m)

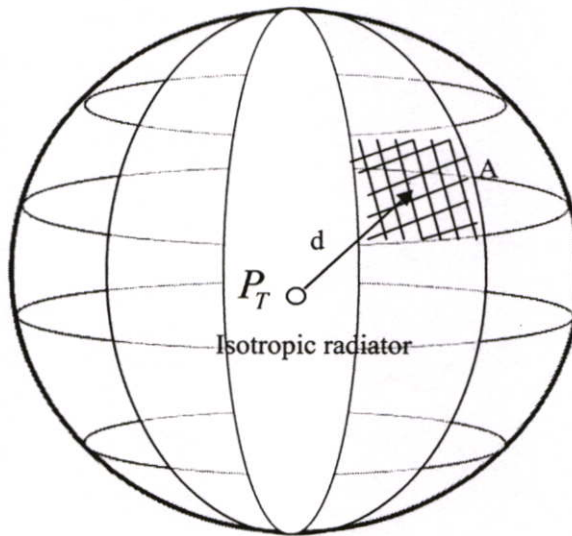
ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log(P_T) - 10 \log(P_R) \\ &= 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(G_T) - 10 \log(G_R) \end{aligned} \quad (3.6)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น km และ f มีหน่วยเป็น MHz จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ จากรูปที่ 3.6 ถ้า P_T จุดกำเนิดกำลังงาน (Point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2} \quad \text{วัตต์/ตารางเมตร} \quad (3.7)$$

โดยที่ $4\pi d^2$ คือ พื้นผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ d



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง

3.5 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของพริส

ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบ UWB โดยในระบบแถบแคบ (Narrowband) โดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้สูตรของพริส แต่ว่ามันไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสูตรนั้นมันมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจาก คุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุงสมการของพริส เพื่อวิเคราะห์ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณอินพุทแทนด้วย $v_i(t)$ และทำการคอนโวลูชันสัญญาณอินพุทด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทนด้วย $h_f(t)$ ดังนี้

$$v_r(t) = E_r \delta(t) * h_f(t) , \quad (3.8)$$

ซึ่ง

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \quad (3.9)$$

การปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลเป็น จะได้เป็นดังนี้

$$H_{Friis}(f) = H_f \cdot H_T \cdot H_R \quad (3.10)$$

$$H_{e-Friis}(f) = H_f H_t \cdot H_T \cdot H_R \quad (3.11)$$

โดยที่

H_f = ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ

H_R = ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ

H_T = ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวส่ง

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก

$$H_{e-Friis, Iso}(f) = H_f H_t \quad (3.12)$$

3.6 แมตซ์ฟิลเตอร์

โดยเป็นการกรองความถี่โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นการกรองความถี่แบบนิเนียร์ (Linear filter) จำนวนในโดเมนของความถี่ซึ่งส่วนของการกรองความถี่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อค่าสัญญาณรบกวนมีค่าสูงนั้นจะช่วยให้คุณภาพของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ดีขึ้น ดังสมการ

$$H_{MF}(f) = \frac{H_{e-Friis}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}} \quad (3.13)$$

และสำหรับสมการ Isotropic

$$H_{MF, iso}(f) = \frac{H_{e-Friis, Iso}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis, Iso}(f)|^2 df}} \quad (3.14)$$

ซึ่งจาก สมการที่ได้ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ ดัง สมการดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1 \quad (3.15)$$

3.7 ค่าการสูญเสียกำลังงาน

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณ โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ (3.16)

$$PL[dB] = 20 \log \left[\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right] \quad (3.16)$$

โดยที่

$v_t(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

$v_r(t)$ คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t,d)|} \right] \quad (3.17)$$

โดยในสมการที่ (3.15) ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

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

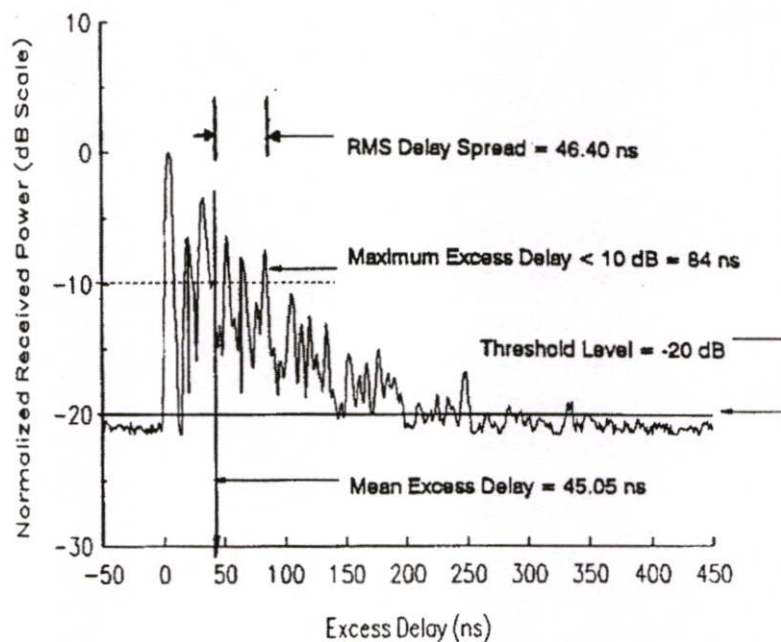
3.8 อัตราขยายของแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณที่ใช้ในการส่งซึ่งนำมาปรับปรุงอัตราขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ (3.19) สำหรับกรณีโดยทั่วไปที่มีการใช้ สายอากาศแบบไอโซโทรปิก นั้นจะประกอบด้วย $H_{iso}(f) = 1$ อัตราขยายในการส่งในย่านแถบความถี่กว้างยิ่ง สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \frac{\max_t (v_{MF}(t))}{\max_t (v_{MF,iso}(t))} \quad (3.19)$$

3.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP)

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (Rms delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

สำหรับค่าการแจกแจงกำลังงานนั้นจะนิยามคือ

$$P(\tau) = \frac{|h(t, \tau)|^2}{2} \quad (3.20)$$

โดยที่ $P(\tau)$ = การแจกแจงกำลังงาน

$h(t, \tau)$ = ผลตอบสนองพัลส์

3.10 การกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมิได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ (Line of sight : LOS) สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัตถุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay: τ_m) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (Rms delay spread: τ_{rms}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ (3.21) และ (3.22) ตามลำดับ

$$\tau_m = \frac{\int \tau \cdot |h_{(\tau)}|^2 d\tau}{\int |h_{(\tau)}|^2 d\tau} \quad (3.21)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \tau_m &= \text{ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง} \\ \tau &= \text{ค่าเวลาในช่วงที่พิจารณา} \\ h_{(\tau)} &= \text{ผลตอบสนองอิมพัลส์} \end{aligned}$$

สำหรับค่าการแผ่ของเวลาประวิงนั้นจะนิยามคือ

$$\tau_{rms} = \frac{\int (\tau - \tau_m)^2 \cdot |h_{(\tau)}|^2 d\tau}{\int |h_{(\tau)}|^2 d\tau} \quad (3.22)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \tau_{rms} &= \text{ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง} \\ \tau &= \text{ค่าเวลาที่แสงใช้ในการเดินทาง} \\ \tau_m &= \text{ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง} \\ h_{(\tau)} &= \text{ผลตอบสนองอิมพัลส์} \end{aligned}$$

3.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการพิจารณาหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงนิยามตามสมการที่ (3.23) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสมบรูณ์รากที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ (3.23) ถึงสมการที่ (3.26) ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}} \quad (3.23)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.24)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(\tau)v_i(t+\tau)dt \quad (3.25)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau)dt \quad (3.26)$$

โดยที่

$v_i(t)$ คือ สัญญาณด้านส่ง

$v_r(t)$ คือ สัญญาณด้านรับ

3.12 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง [10] อัตราส่วนของ ดังแสดงในสมการที่ (3.24)

$$C_c = \frac{\int |V_c(f, d)| df}{\int |V_r(f, d)|^2 df \cdot \int |H_c(f, d)|^2 df} \quad (3.27)$$

$$BER_m = Q \left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{br}} \right] \quad (3.28)$$

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \quad (3.29)$$

โดยที่

E_b/N_0 = energy = อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน

C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

br = อัตราในการส่งข้อมูลระดับบิตต่อวินาที

f_b = ความกว้างของแถบความถี่

3.13 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณ รวมไปถึงระบบการวัดที่มีอยู่ 2 แบบหลัก ๆ คือการวัดในโดเมนเวลาและในโดเมนความถี่ ซึ่งระบบการวัดแบบที่ 2 นั้นจะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาถึงผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในบทต่อไป จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ผลการลดทอนของกำลังงาน การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ อันเนื่องด้วยผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น

บทที่ 4

แบบการจำลองและการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

4.1 กล่าวนำ

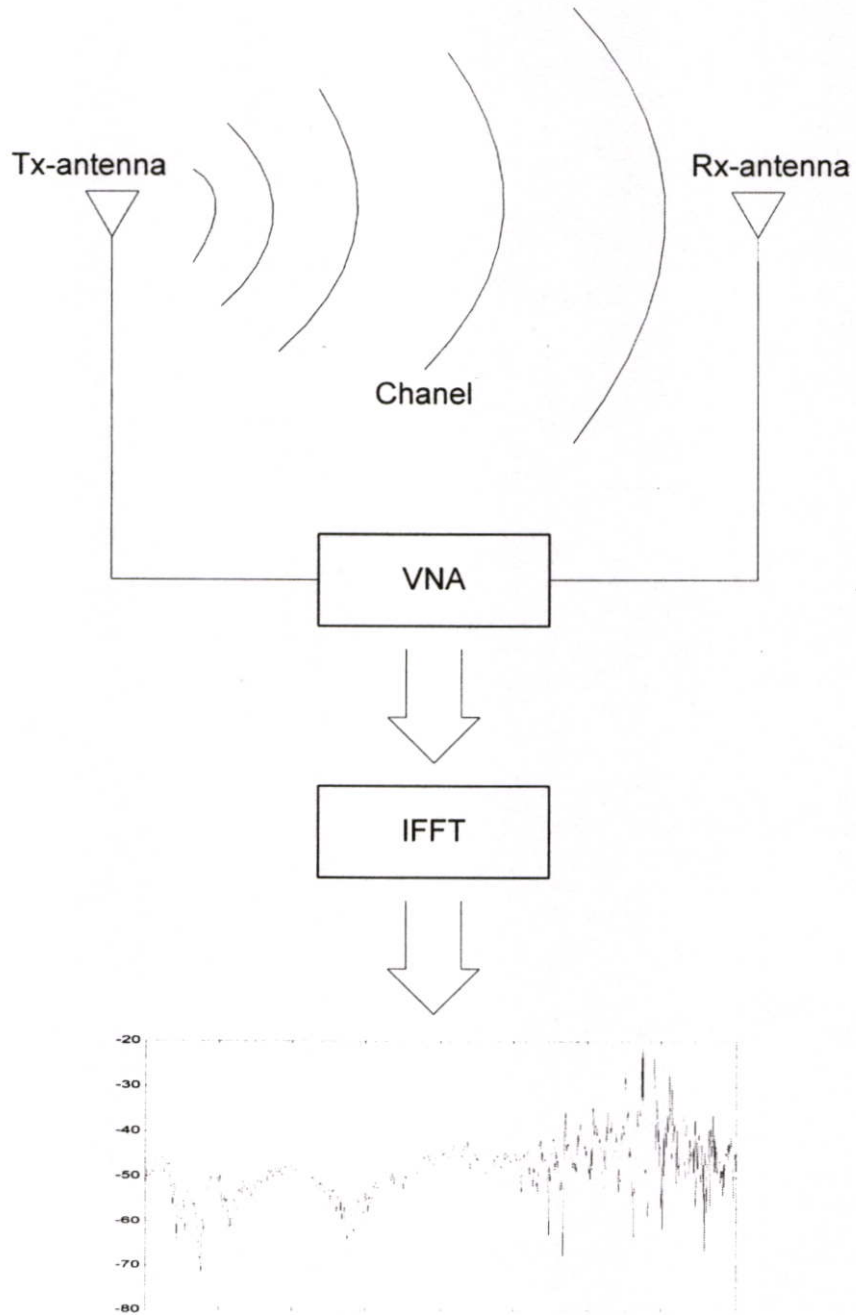
ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งในการทดลองซึ่งเป็นการพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ พิจารณาจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ บน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และพิจารณาจากการวัด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์ช่วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ซึ่งเป็นการพิจารณาบนโดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลัก สำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหัวข้อต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการพิจารณาโดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบของแลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยได้กำหนดการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือผลกระทบจากการหมุนแลปท็อปคอมพิวเตอร์และผลกระทบจากการเปิดและปิดเครื่องแลปท็อปคอมพิวเตอร์เมื่อมีการวางในลักษณะห้องประชุม

หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ผลการกระจายทางเวลาอันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง และค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งผลที่แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนของสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ได้ทำการวัดในสภาพแวดล้อมภายในอาคารกับผลที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมภายในห้องไร้การสะท้อน เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว

4.2 แบบแผนการจำลอง

แบบแผนการจำลองในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ช่วงจรข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านการ์ด GPIB (General

purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายแบบหนึ่งพอร์ตและแบบสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 แบบจำลอง

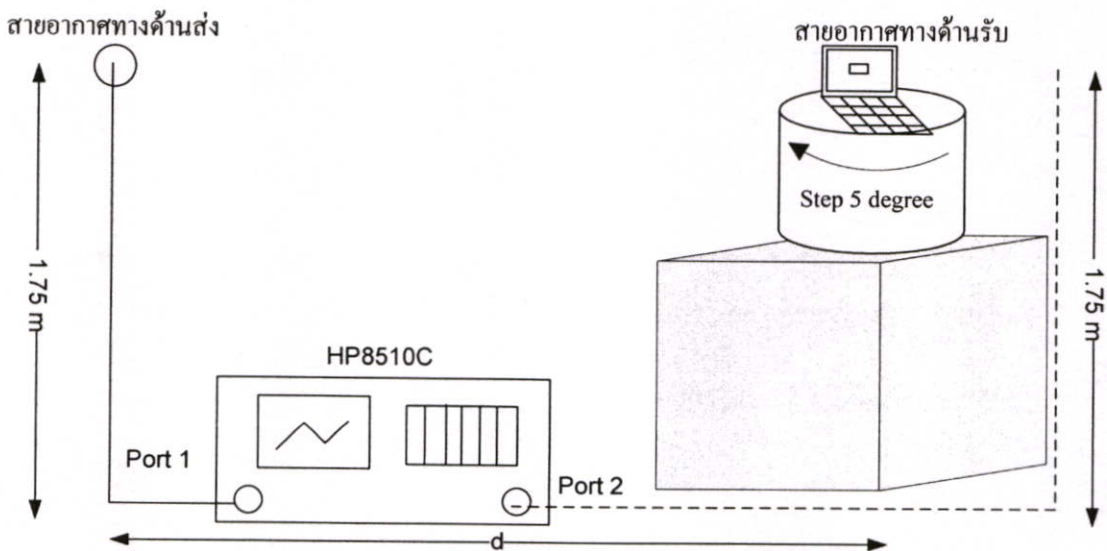
รูปแบบที่ใช้จำลองการวัดเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อการส่งผ่านสัญญาณในแถบกว้างยิ่งเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งต่อไปในอนาคต โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการพิจารณาถึงผลกระทบใน 2 รูปแบบจำลองดังได้กล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

4.3 รูปแบบจำลองการวัด

ในการจำลองการวัดนั้นได้ทำการวิเคราะห์ 2 รูปแบบคือแบบที่ 1 วิเคราะห์ผลกระทบจากการบดบังของแลปที่อปคอมพิวเตอร์ โดยทำการหมุนเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา และในแบบจำลองที่ 2 นั้นเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ในลักษณะเมื่อมีการจัดวางในลักษณะโต๊ะประชุม โดยได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.3.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 1

ได้ใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ เป็นตัววัดผลการตอบสนองของสัญญาณ โดยได้ใช้ พอร์ตที่ 1 เป็นพอร์ตในทางด้านส่งสัญญาณ และใช้ พอร์ตที่ 2 เป็นพอร์ตในทางด้านรับสัญญาณ ตามลำดับ แบบจำลองนี้ได้ทำการวัดค่าการตอบสนองของสัญญาณในสภาพห้องภายในอาคาร โดยกำหนดให้ทั้งสายอากาศที่ตัวส่งและตัวรับนั้น มีความสูงจากพื้น 1.75 เมตร และได้กำหนดให้สายอากาศตัวส่งและตัวรับนี้อยู่ห่างกันในระดับสายตา เป็นระยะทาง 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1

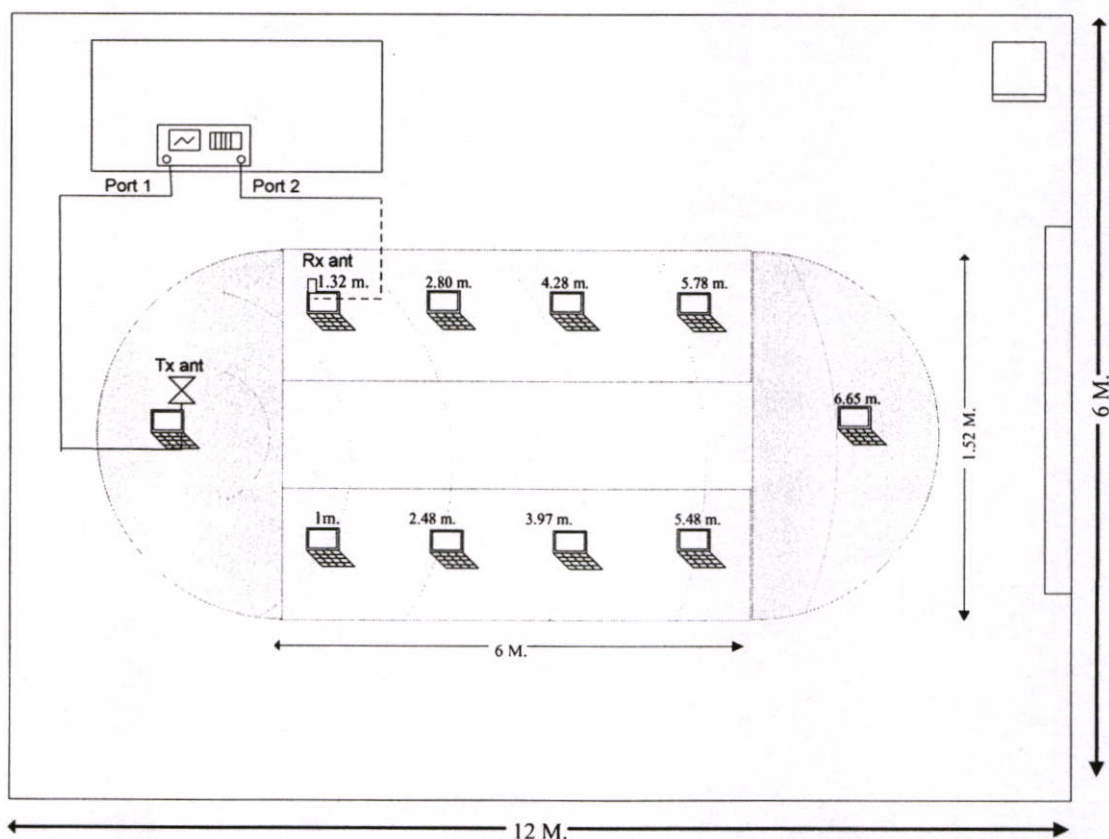


รูปที่ 4.2 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการหาค่าสัญญาณ

ที่สายอากาศตัวส่งนั้นได้ใช้สายอากาศกรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65.3 มิลลิเมตร และมีความยาว 37 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นมาตรฐานของสายอากาศ [3] และสายอากาศด้านรับเป็นสายอากาศแบบมินิเคอร์ไลน์ โมเดล SMT- 3T010M ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งมีขนาดเล็ก เป็นสายอากาศที่กำลังงานการส่งต่ำ ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดลองโดยติดตั้งอยู่ที่พอร์ต ที่ 2 ซึ่ง ยึดติดกับจอภาพของแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

4.3.2 รูปแบบจำลองการวัดที่ 2

ในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องแบบที่ 2 นี้ยังคงใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการซึ่งต่างจากการวัดในหัวข้อที่ผ่านมาโดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโดยสายอากาศทางด้านรับแบบเส้นตัวนำกลางจะติดกับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์สายอากาศทั้งคู่อยู่สูงจากพื้น 1.4 เมตร และในส่วนของสายอากาศที่ติดอยู่กับแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์นั้นได้จัดวางในลักษณะโต๊ะประชุมโดยได้ทำการทดลอง 2 แบบคือ ทำการวัดโดยมีผลกระทบจากการเปิดและการปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.3 แสดงภาพจำลองลักษณะห้องและอุปกรณ์ในการทดลอง

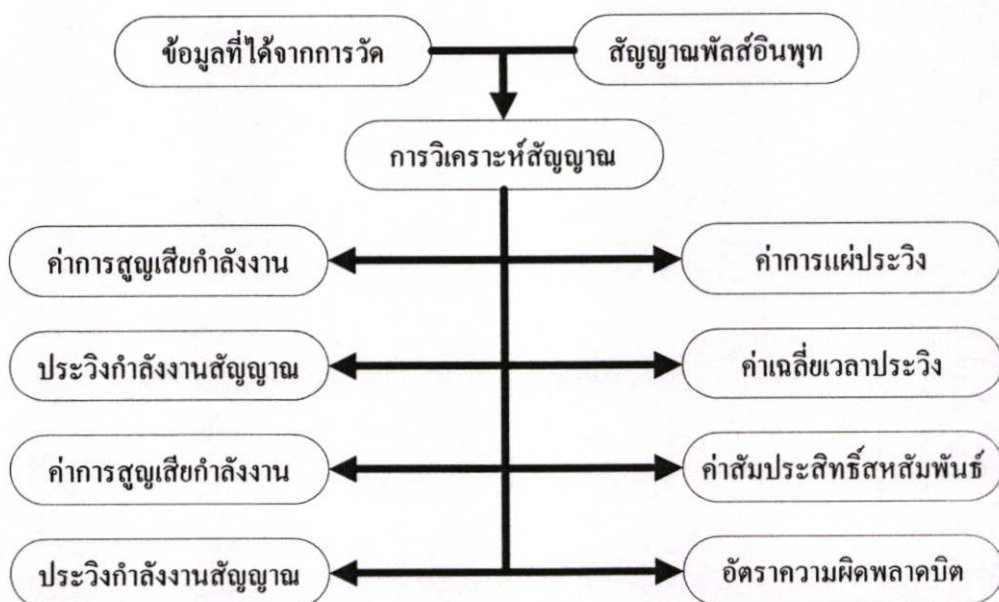


รูปที่ 4.3 รูปแบบจำลองของการวัดทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณภายในห้องที่ 2

ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายแบบหนึ่งพอร์ตและแบบสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

4.4 แบบแผนการวัด

รูปแบบการจำลองการวัดในแต่ละแบบที่ได้กล่าวในข้างต้นเป็นการพิจารณาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้น โดยในการทดลองนี้ต้องการที่จะพิจารณาถึงผลกระทบจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งสิ่งที่ได้จากการทดลองนั้นคือฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่รวมผลของสายอากาศเข้าไปด้วย จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยแสดงในพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป โดยในรูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดของแต่ละการทดลอง



รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัย

4.5 ระบบการวัด

4.5.1 รูปแบบสัญญาณส่งของแบบแถบกว้างยิ่ง

ในขั้นตอนของการพิจารณาความเพี้ยนของพัลส์นั้นรูปแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular passband) ซึ่งสามารถ คำนวณได้จากสมการดังนี้

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

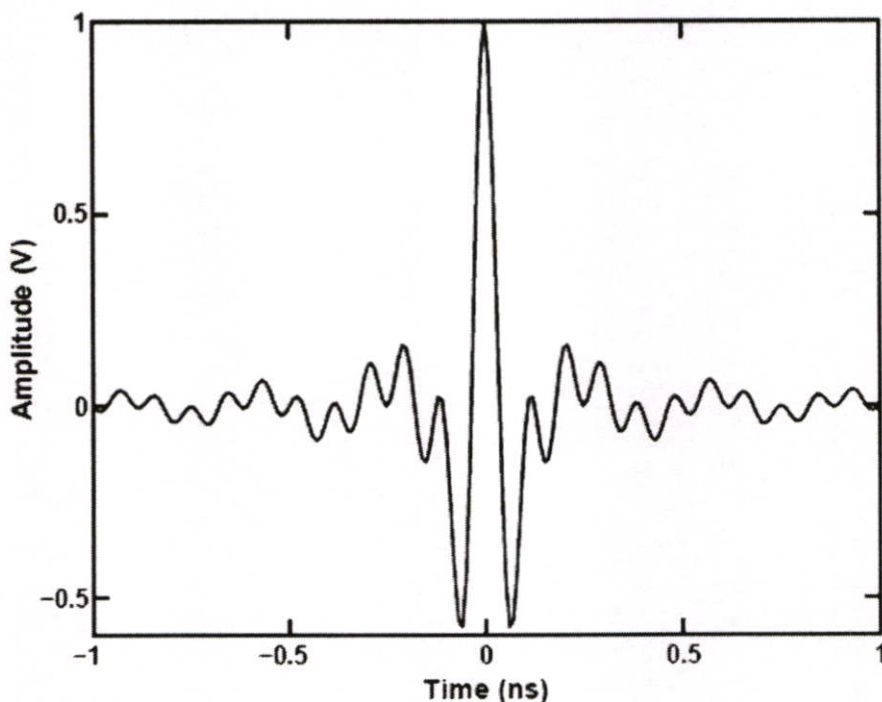
$$\text{โดยที่ } \text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{(\pi x)}$$

$$f_{\max} = 10.6 \text{ GHz}$$

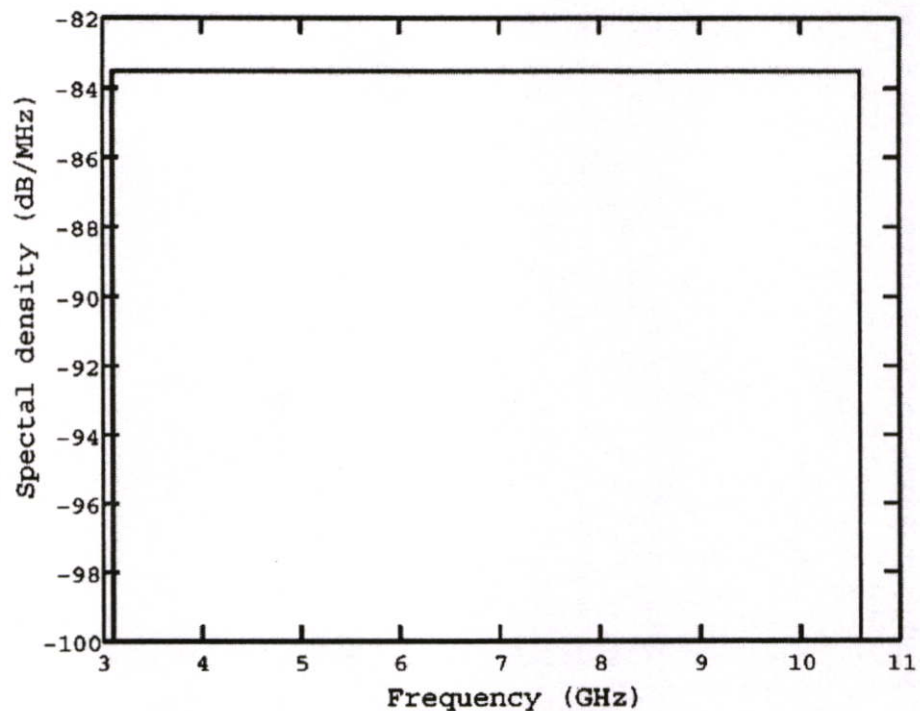
$$f_{\min} = 6.85 \text{ GHz}$$

$$f_b = f_{\max} - f_{\min} = 7.5 \text{ GHz}$$

ในการวิเคราะห์ ซึ่งในรูปที่ 4.5 แสดงรูปแบบของพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์



รูปที่ 4.5 รูปแบบสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง

4.5.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์การวัด

ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วยเครื่องวิเคราะห์ช่วงจรข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดสัญญาณซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

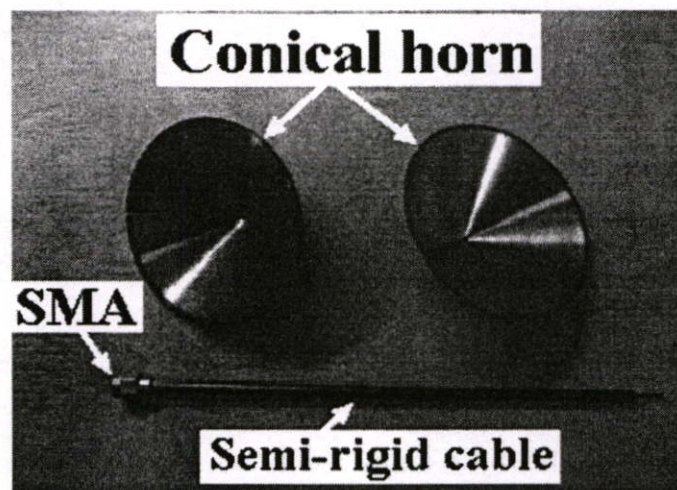
4.5.3 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งเรียกว่าสายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศอยู่ 2 ชนิดแต่ละชนิดจะใช้สายอากาศอยู่สองชุดคือ สายอากาศทางด้านส่ง และสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) แบบรอบตัว (Omni-directional) และเป็นสายอากาศที่

ตอบสนองความถี่ได้กว้าง (wideband) ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งของ FCC โดยสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดดังนี้

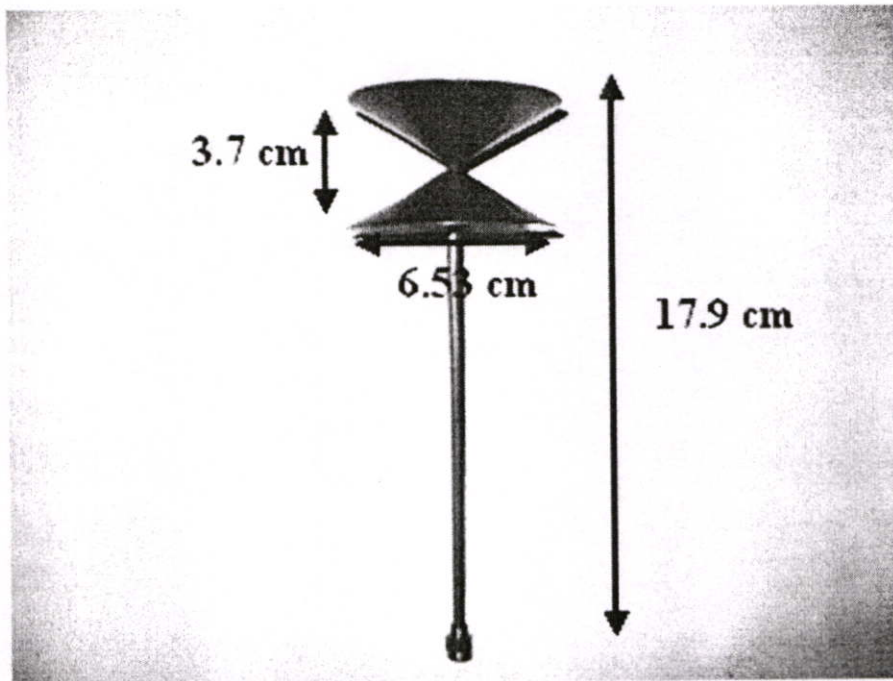
4.5.3.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นหนึ่งในสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราขยาย (Gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 dBi รูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.8 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้ [3, 11]

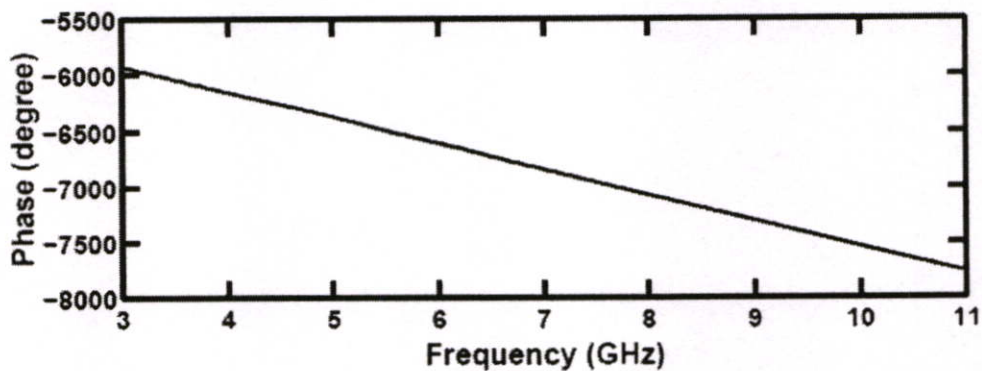
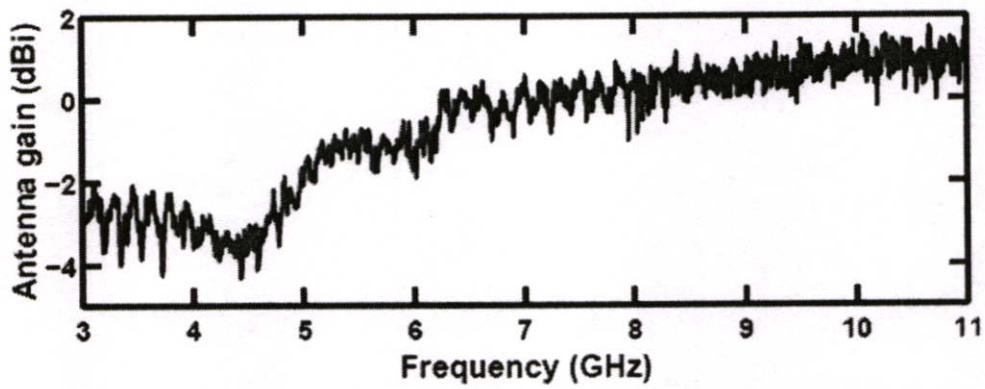


รูปที่ 4.7 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่นั้นส่วนที่เป็นสายอากาศจะมีลักษณะทรงกรวย 2 อันมาประกอบกันมีแท่งตัวนำสัญญาณที่มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซึ่งจะมีหัวเชื่อมต่อกับสายส่งสัญญาณ ส่วนในรูปที่ 4.8 นั้นได้แสดงขนาดโดยรวมของสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งมีความยาวโดยรวมเท่ากับ 17.9 เซนติเมตร กว้างเท่ากับ 6.53 เซนติเมตร และมีความสูงของกรวยทั้งสองรวมกับเท่ากับ 3.7 เซนติเมตร รูปที่ 4.9 ได้แสดงคุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอัตราขยายในช่วงความถี่ที่ทำการทดลองใกล้เคียงกับสายอากาศแบบไอโซโทริกทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งสัญญาณน้อยมาก

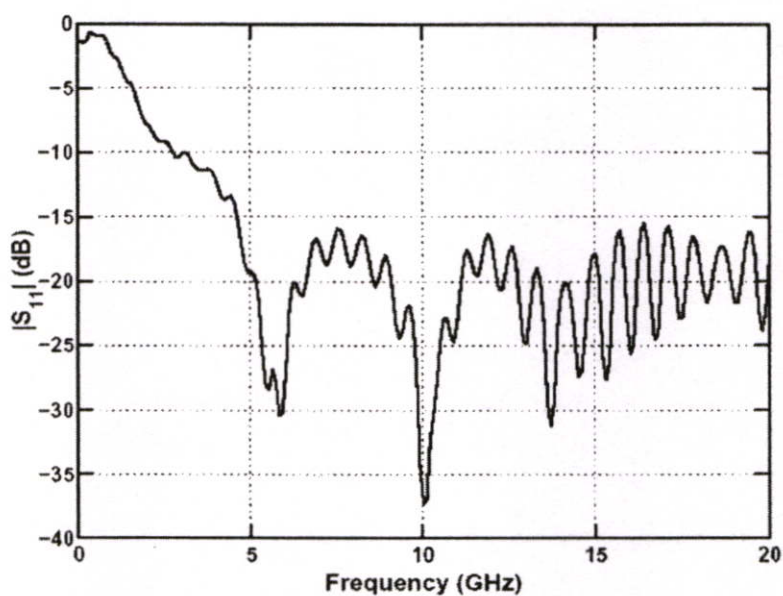


รูปที่ 4.8 สายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.9 คุณลักษณะของสายอากาศแบบกรวยคู่

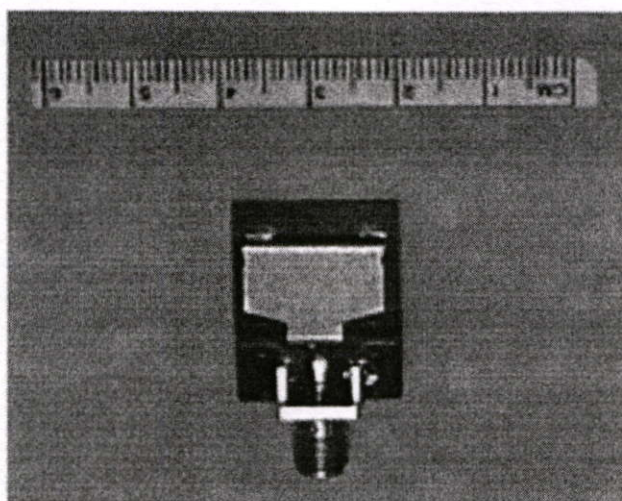
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบกรวยคู่ได้ถูกแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นว่าสายอากาศแบบกรวยคู่นี้มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในช่วงความถี่ ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz มีค่าน้อยกว่า -10 dB ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากและเหมาะสมในการนำมาใช้ในการทดลอง



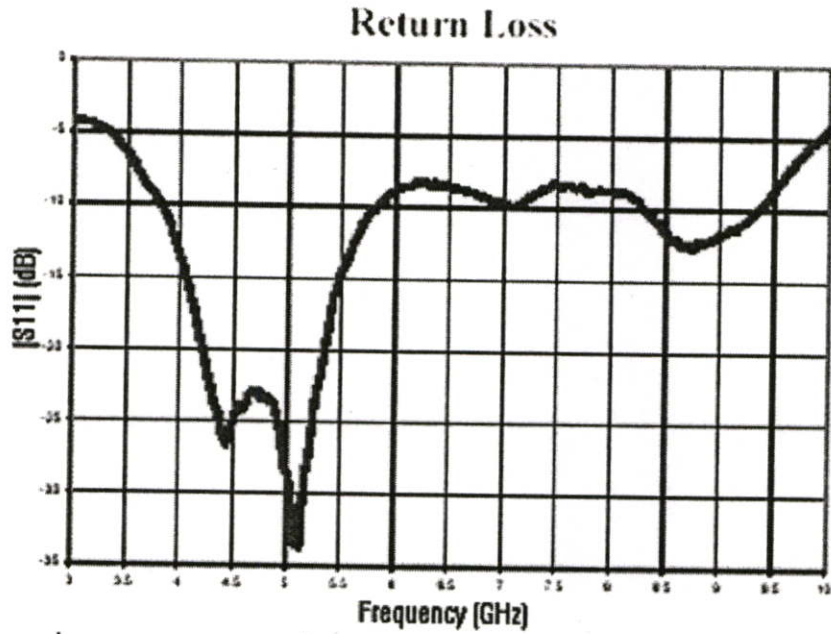
รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบกรวยคู่

4.5.3.2 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง (Meander line antenna ; MLA) เป็นสายอากาศที่ออกแบบโดยบริษัทสกายครอส [12] (Skycross company) ประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อนำมาใช้งานในช่วงความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งด้วยคุณสมบัติของสายอากาศที่มีขนาดเล็กและเฟสมีความเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงความถี่ เป็นสายอากาศที่สามารถตอบสนองความถี่ได้กว้างคือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบรอบตัวตามแนวตั้ง (Vertical) ของสายอากาศโดยรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้าง และรูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศตามลำดับ



รูปที่ 4.11 สายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง



รูปที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลาง

4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบจำลองในการวิเคราะห์ซึ่งได้แสดงค่าต่างๆดังต่อไปนี้

4.6.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 1

พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองที่ 1

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ~ 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1.0 เมตร
มุมที่ทำกรวัด	0-360 องศา
การหมุน	5 องศา / ครั้ง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวนอน

ในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องรูปแบบจำลองที่ 1 นี้ได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด โดยสายอากาศทางด้านส่งได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศทางด้านรับที่ติดอยู่กับแลปที่อปคอมพิวเตอร์นั้นได้ใช้สายอากาศแบบตัวนำกลางและจัดวางในลักษณะห้องเรียน [13]

4.6.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 2

ในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องรูปแบบจำลองที่ 2 นี้ยังคงใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด ในส่วนของสายอากาศที่ติดอยู่กับแลปที่อปคอมพิวเตอร์นั้นได้จัดวางในลักษณะห้องประชุมโดยได้ทำการทดลอง 2 กรณีคือทำการวัดโดยมีผลกระทบเมื่อมีการเปิดและในกรณีเมื่อทำการปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ในตารางที่ 4.2 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองรูปแบบที่ 2 [14]

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองแบบที่ 2

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3.0 GHz ~ 11.0 GHz
จำนวนจุดของความถี่	801 จุด
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.40 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.40 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง

4.7 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงรูปแบบจำลองการวัดและทดสอบสัญญาณแถบกว้างยิ่งภายในสภาพแวดล้อมภายในอาคารโดยได้ทำการกำหนดแบบจำลองขึ้นมา 2 รูปแบบคือ ในแบบจำลองแบบที่หนึ่งคือสภาพแวดล้อมในลักษณะห้องเรียนซึ่งได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการหมุนแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งสายอากาศทางด้านรับและแบบจำลองแบบที่สองเพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดการเปิดและปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ในสภาพแวดล้อมในลักษณะห้องประชุมโดยได้ใช้สายอากาศที่ตอบสนองช่วงความถี่ที่ทำการวิเคราะห์ได้ดี 2 ชนิด คือสายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางเป็นสายอากาศทางด้านรับและได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดและบันทึกข้อมูลในโดเมนทางความถี่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดไปวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีต่างๆที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้า

มาพิจารณาถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณและสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่ง
ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งความผิดเพี้ยนของสัญญาณในรูปแบบจำลองที่ 1 และ
นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดการเปิดและปิดเครื่องแถบที่ออปคอมพิวเตอร์จากการวาง
ในลักษณะห้องประชุมโดยนำผลการวัดที่ได้นำไปวิเคราะห์และแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้
อธิบายไว้ข้างต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ โดยจะแสดงในบทถัดไป

บทที่ 5

ผลการวัดและการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่ง

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมภายในอาคารแบบจำลองทั้ง 2 แบบ โดยแสดงในพารามิเตอร์หลักทั้งหมด คือ การลดทอนของระดับกำลังของสัญญาณและค่าความเพี้ยนของสัญญาณ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ และอัตราความผิดพลาดบิตโดยมีการบดบังจากแถบที่อุปคอมพิวเตอรืในรูปแบบจำลองที่ 1 และผลกระทบจากการเปิดและปิดเครื่องแถบที่อุปคอมพิวเตอรืโดยมีการจัดวางในลักษณะห้องประชุมในรูปแบบจำลองที่ 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างในการนำเสนอเทคนิคในการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่งในวิทยานิพนธ์นี้ โดยแบ่งตามลักษณะแบบต่างๆ ดังนี้

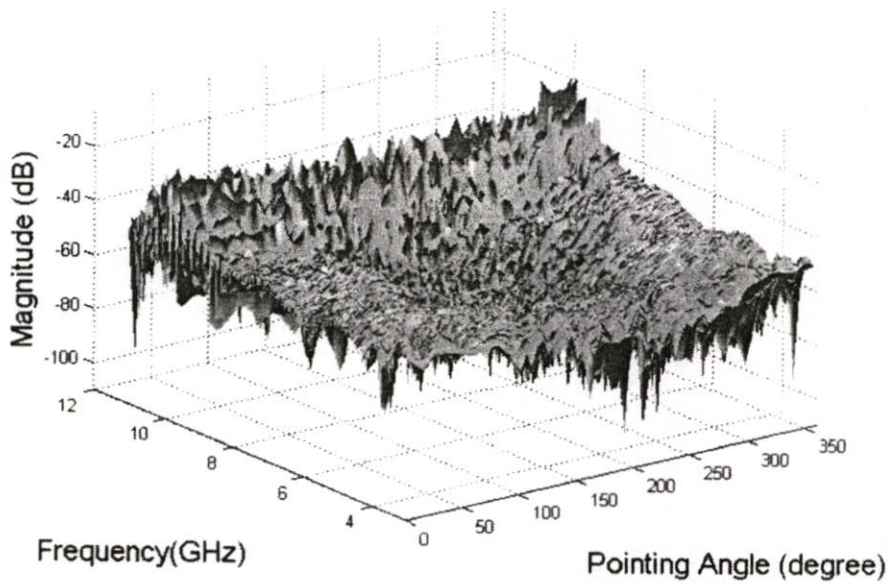
5.2 ผลที่ได้จากการวัดและการวิเคราะห์

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดแบบที่ 1

ลักษณะการวัดในรูปแบบจำลองที่ 1 นี้ได้ทำการวัดผลการทดลองในห้องภายในอาคารโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเส้นตัวนำกลางและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ ซึ่งมีลักษณะและขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยทำการวัดค่าของสัญญาณตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยทำการหมุนแถบที่อุปคอมพิวเตอรืซึ่งได้ติดตั้งสายอากาศตัวรับในแนวระดับสายคารั้งละ 5 องศา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอรืจะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

5.2.1.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ

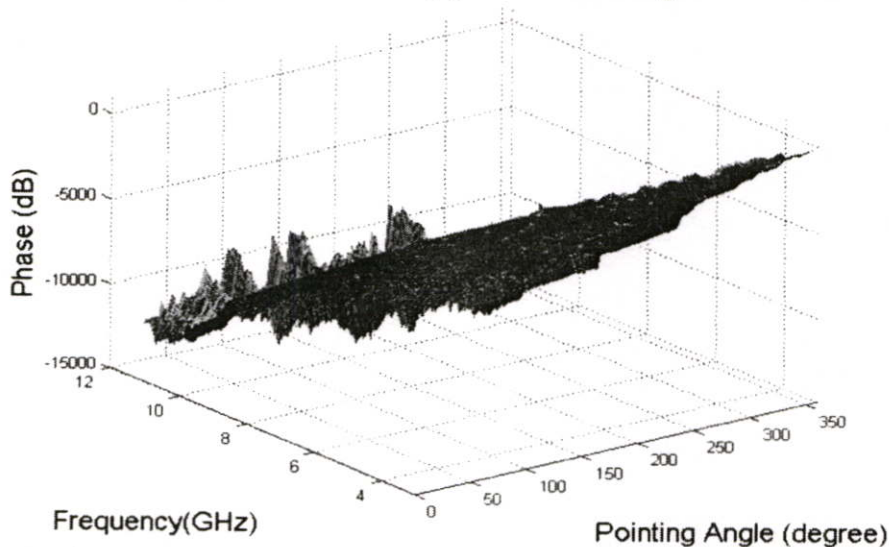
ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำการวัดจากการวิเคราะห์ผลการวัดช่องสัญญาณ โดยมีการบดบังจากแถบที่อุปคอมพิวเตอรื ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าที่มุม 150 องศา ถึง 200 องศา ซึ่งเป็นมุมที่เกิดการบดบังจากแถบที่อุปคอมพิวเตอรื โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา นั้นจะเกิดการบดบังอย่างสมบูรณ์จะเห็นถึงความแตกต่างของสัญญาณที่เข้ามาถึง ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านรับ



รูปที่ 5.1 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

5.2.1.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศ

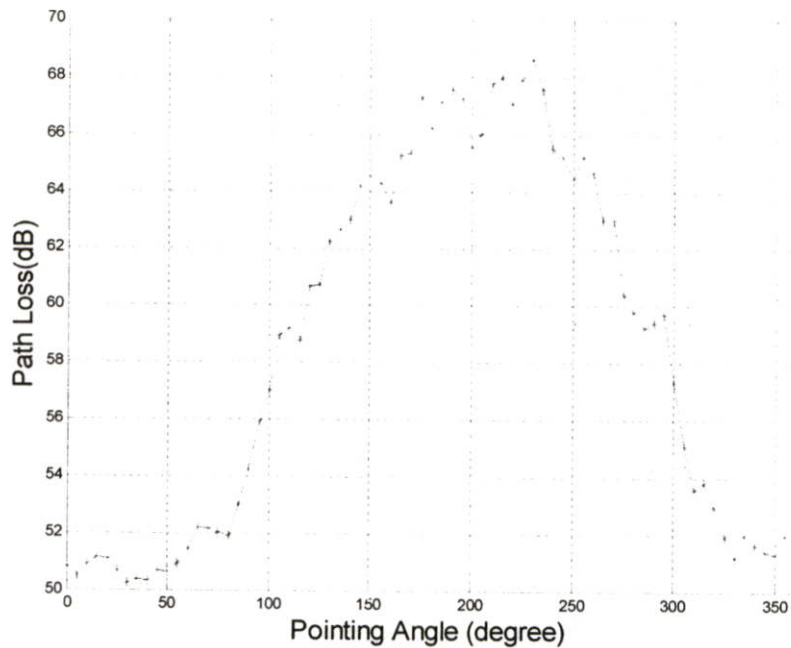
เฟสของสัญญาณซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณว่าสัญญาณที่ส่งผ่านสายอากาศในย่านความถี่ที่กำหนดในมุมที่ทำการวัดตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา เฟสนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ระดับของเฟสที่รับได้และมุมที่ทำการวัดจากการวิเคราะห์ผลการวัดช่องสัญญาณ โดยมีการบดบังจากแถบที่อุปคอมพิวเตอร์ แสดงถึงคุณลักษณะของความถี่ในแต่ละมุม สายอากาศด้านรับที่ใช้ในการทดลองนั้นได้ใช้สายอากาศแบบเฟสตรงและมีความน่าเชื่อถือ จากรูปจะเห็นได้ว่าเฟสจะมีความเที่ยงตรงในช่วง 3.1 GHz ถึงประมาณ 8 GHz แต่จะเกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณในช่วงความถี่สูงตั้งแต่ 8 GHz ถึง 10.6 GHz



รูปที่ 5.2 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

5.2.1.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

ผลของการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 2 แกน โดยแกนอนแสดงค่ามุมที่เกิดจากการหมุนของเครื่องรับและแนวตั้งการสูญเสียเชิงวิถี โดยแสดงดังรูปที่ 5.3

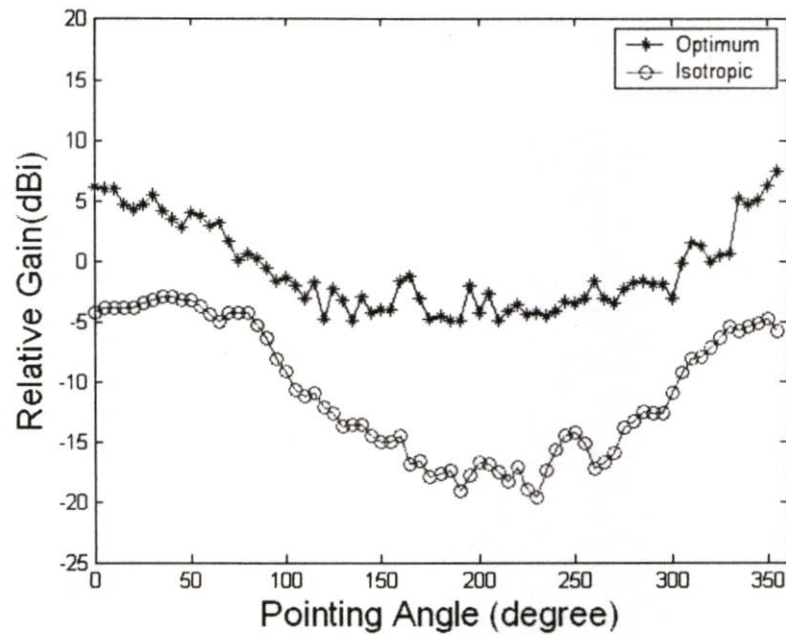


รูปที่ 5.3 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

จากรูปการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยจะเห็นว่าที่มุม 230 องศา นั้นจะมีค่าอัตราการลดทอนสัญญาณสูงสุดที่ 68.6 dB เนื่องจากการหมุนแปลที่ออปคอมพิวเตอร်สายอากาศด้านรับที่เป็นแบบมินเคอร์ไลน์ซึ่งถูกติดตั้งในลักษณะแนวอน ทำให้ทิศทางในการรับสัญญาณไม่ตรงกับสายอากาศทางด้านส่งทำให้เกิดการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าสูงสุดในขณะที่ยังมีมุมประมาณ 30 องศา นั้นมีการสูญเสียเชิงวิถีต่ำสุดที่ประมาณ 50.2 dB

5.2.1.4 อัตราการขยายของสัญญาณในแถบความถี่กว้าง

รูปภาพที่ 5.4 แสดงอัตราการขยายของสัญญาณในแถบความถี่กว้างที่วัดได้จากการหมุนเป็นมุมมองศาต่างๆ และได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุด (Optimum matched filter) กับค่าอัตราการขยายของสายอากาศแบบไอโซโทรปิก

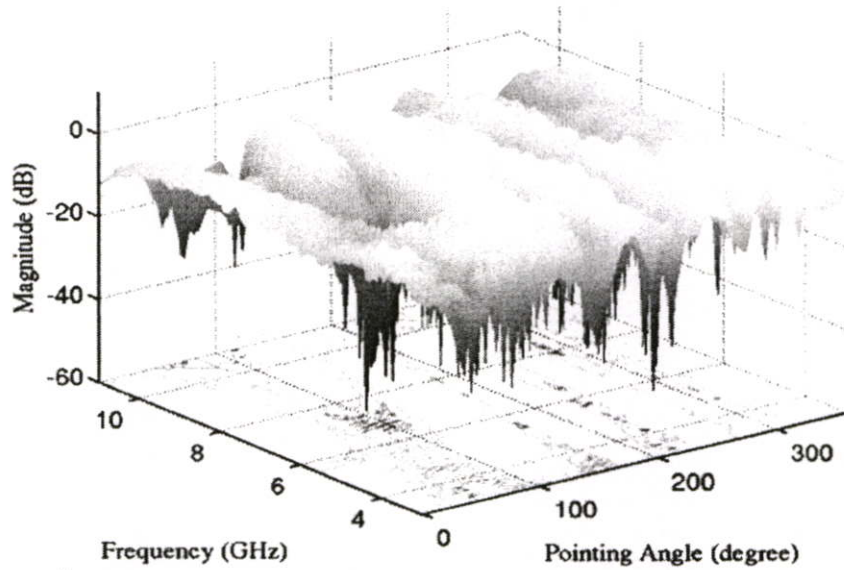


รูปที่ 5.4 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่ง

เห็นได้ว่าค่าออปติมัลนั้นมีอัตราการขยายที่สูงกว่าค่าของไอโซโทรปิกเนื่องจากการวัดค่าสัญญาณในสภาพห้องภายในอาคารนั้นได้มีการสะท้อนของสัญญาณจากวัสดุต่างๆ โดยเมื่อมุมในการหมุนมีค่าประมาณ 180 องศา นั้นจะมีอัตราการขยายสูงกว่าในแบบไอโซโทรปิก มาก เพราะมีการสะท้อนจากจอภาพของแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

5.2.1.5 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน

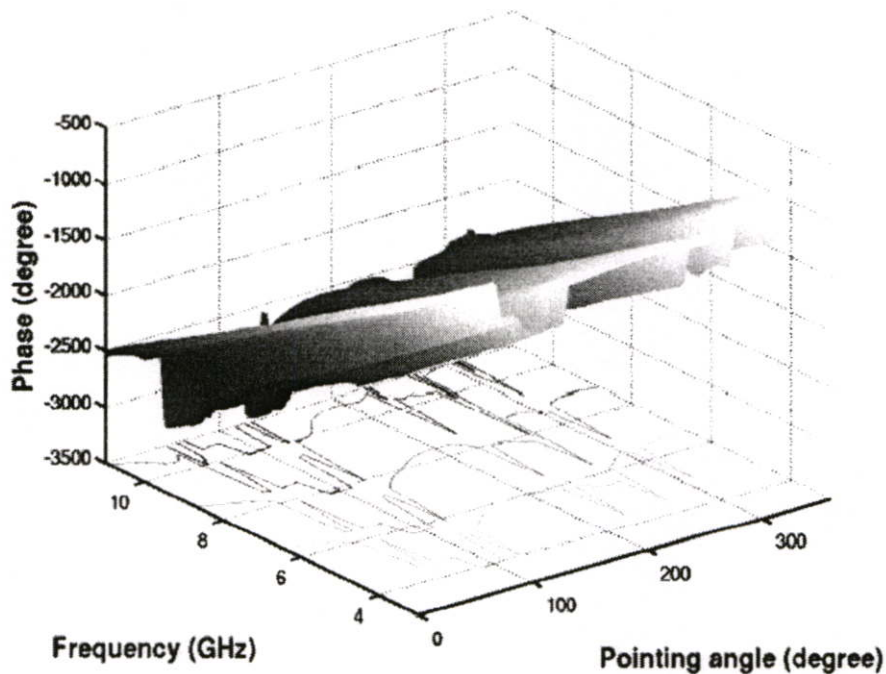
รูปที่ 5.5 ได้แสดงค่าขนาดของสัญญาณที่วัดได้จากในห้องไร้การสะท้อนโดยใช้ความถี่ในย่าน 3 GHz ถึง 11 GHz และทำการวัดค่าในในทุกๆ 5 องศา ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา [1] เพื่อนำมาอ้างอิงกับผลการวัดภายในอาคาร จะเห็นได้ว่าค่าขนาดที่วัดได้จากในสภาพห้องไร้การสะท้อนนั้นจะมีค่าสูงกว่าที่วัดได้จากในสภาพห้องภายในอาคาร



รูปที่ 5.5 ขนาดของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน

5.2.1.6 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน

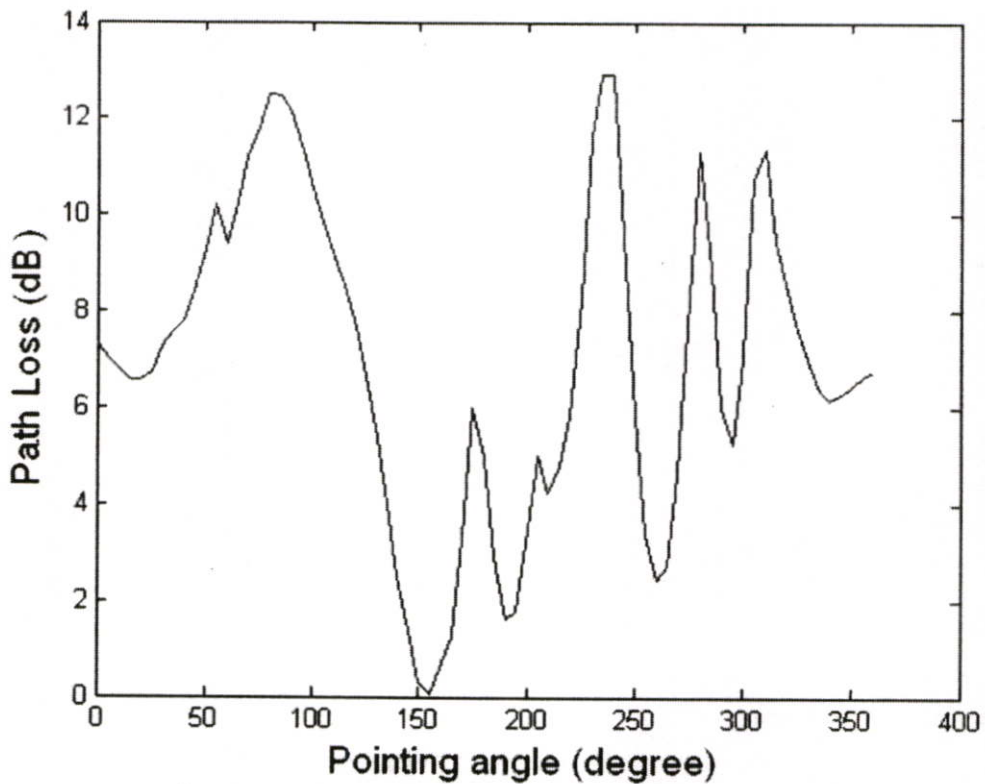
รูปที่ 5.6 ได้แสดงเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อนซึ่งเมื่อนำมาอ้างอิงกับผลที่ได้ในในสภาพห้องภายในอาคารแล้วก็จะเป็นที่ได้ว่าเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อนนั้นมีความผิดเพี้ยนน้อยกว่าในสภาพห้องภายในอาคาร



รูปที่ 5.6 เฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศในสภาพห้องไร้การสะท้อน

5.2.1.7 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากห้องไร้การสะท้อน

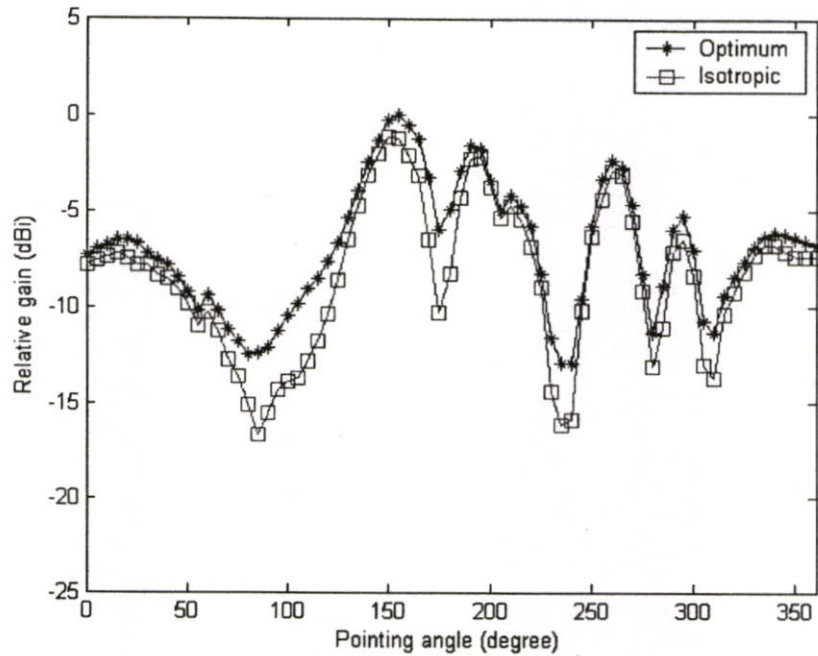
จากรูปที่ 5.7 แสดงการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากห้องไร้การสะท้อนซึ่งมีค่าอัตราการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุดที่มุม 235 องศา มีค่าประมาณ 13 เดซิเบล และสุดที่มุม 155 องศา มีค่าประมาณ 0 เดซิเบล และเมื่อนำมาอ้างอิงกับผลที่วัดได้ในสภาพห้องภายในอาคารแล้วเห็นได้ว่ามีลักษณะแตกต่างกันมากเนื่องจากการติดตั้งสายอากาศด้านรับตำแหน่งแตกต่างกัน



รูปที่ 5.7 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่วัดได้จากห้องไร้การสะท้อน

5.2.1.8 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่งในสภาพห้องไร้การสะท้อน

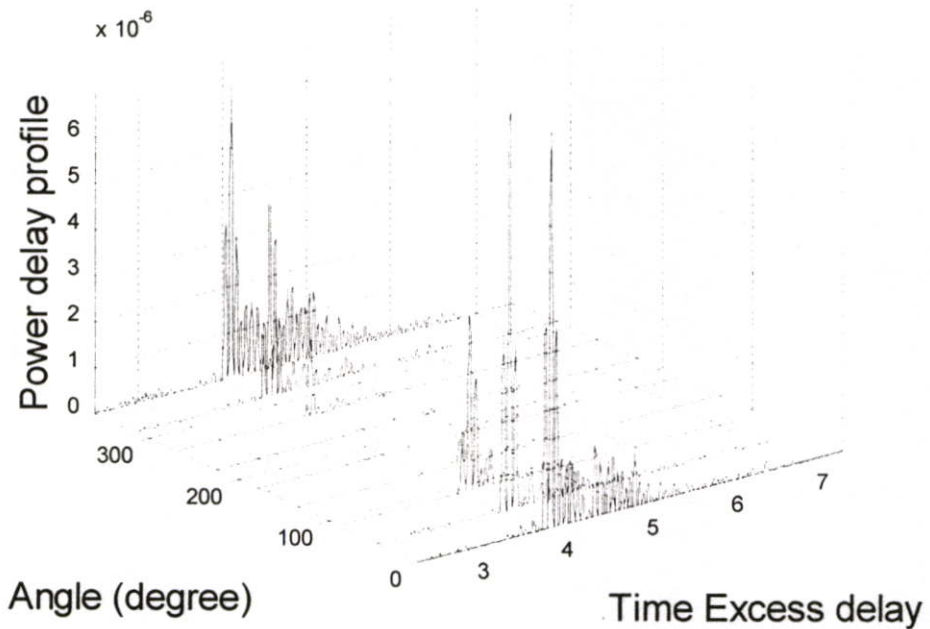
จากรูปที่ 5.8 ได้แสดงอัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่งในสภาพห้องไร้การสะท้อนซึ่งเห็นได้ว่ามีอัตราการบิดเบือนของสัญญาณน้อยมากเมื่อเทียบกับในสภาพห้องภายในอาคารแต่มีอัตราการขยายน้อยกว่าในสภาพห้องภายในอาคารเนื่องจากในสภาพแวดล้อมในอาคารนั้นมีการสะท้อนของสัญญาณสูงเกินไป



รูปที่ 5.8 อัตราการขยายของการส่งผ่านแถบความถี่กว้างยิ่งในสภาพห้องไร้การสะท้อน

5.2.1.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ (Power Delay Profile)

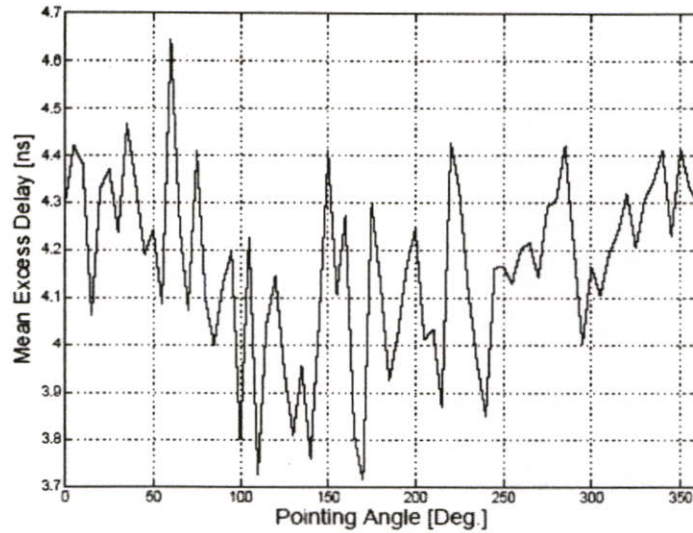
ในการแสดงผลของภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 3 แกนคือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้และมุมที่ทำกรวัดจากการวิเคราะห์ผลการวัดของสัญญาณ โดยมีการบดบังจากแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 สังเกตเห็นว่าที่มุม 135 องศา ถึง 270 องศา ซึ่งเป็นมุมที่เกิดการบดบังจากแถบที่ออปคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุม 180 องศา นั้นจะเกิดการบดบังอย่างสมบูรณ์จะเห็นถึงความแตกต่างของสัญญาณที่เข้ามาถึง ณ ตำแหน่งสายอากาศด้านรับ คือไม่ปรากฏสัญญาณอาจกล่าวได้ว่าที่มุม 180 องศา นั้นเกิดการลทอนของสัญญาณที่เข้ามายังสายอากาศด้านรับมากกว่ามุมอื่น ๆ



รูปที่ 5.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ

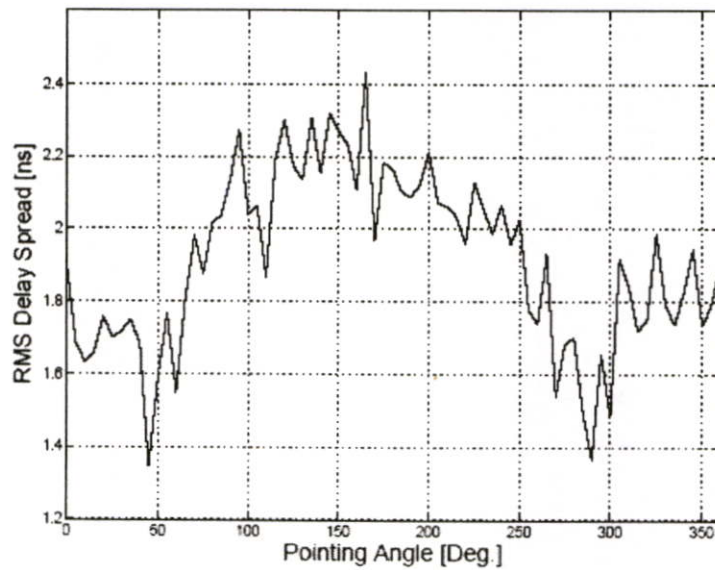
5.2.1.10 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ

การวิเคราะห์เพื่อหาผลของการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ของสัญญาณนั้นจะพิจารณาใน 2 ส่วนหลักๆ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิง โดยจะแสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยของเวลาที่เข้ามาถึงของสัญญาณและเวลาของสัญญาณที่กระจายออกไปจากค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง (Multipath) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงสามารถประมาณได้จากภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังของสัญญาณ ในรูปที่ 5.10 ผลจากการวิเคราะห์เราสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ว่า ในกรณีที่มีผลการบดบังจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งมุมที่ 60 องศา เกิดการกระจายทางเวลาของช่องสัญญาณมาก ซึ่งหมายความว่า สัญญาณที่เข้ามายังสายอากาศด้านรับนั้น เข้ามาในเวลาที่แตกต่างกันมาก อันเนื่องมาจากการสะท้อนจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์และสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง



รูปที่ 5.10 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงโดยมีผลกระทบจากแลปที่ออปคอมพิวเตอรื

จากรูปจะเห็นได้ว่า โดยภาพรวมในกรณีการวัดที่มีผลการบดบังจากแลปที่ออปคอมพิวเตอรืนั้นเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้นในทุกๆมุมและค่าการแผ่ของเวลาประวิง ในรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าที่มุม 160 องศา จะมีค่าการแผ่ของเวลาประวิงสูงสุดถึง 2.4×10^{-9} วินาที ในขณะที่มุม 45 องศา จะมีค่าการแผ่ของเวลาประวิงต่ำสุดที่ 1.35×10^{-9} วินาที



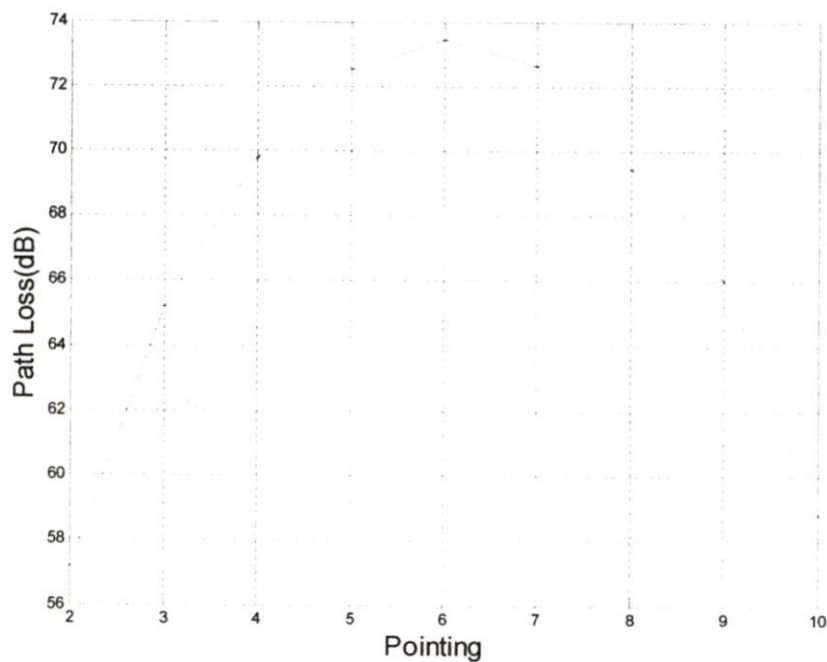
รูปที่ 5.11 ค่าการแผ่ประวิงโดยมีผลกระทบจากแลปที่ออปคอมพิวเตอรื

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดภายในห้องแบบที่ 2

ลักษณะการวัดในแบบที่ 2 นี้ได้ทำการวัดผลการทดลองในห้องภายในอาคารโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบเสันำกลางและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบกรวยคู่ ซึ่งมีลักษณะตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับวางในลักษณะโต๊ะประชุม ขั้นตอนการวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยทำการวัดค่าของสัญญาณเปรียบเทียบกับขณะเปิดแลปที่ออปคอมพิวเตอรืกับเมื่อปิดแลปที่ออปคอมพิวเตอรืซึ่งติดสายอากาศตัวรับในแนวระดับสายตา ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บน โปรแกรมคอมพิวเตอรืจะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

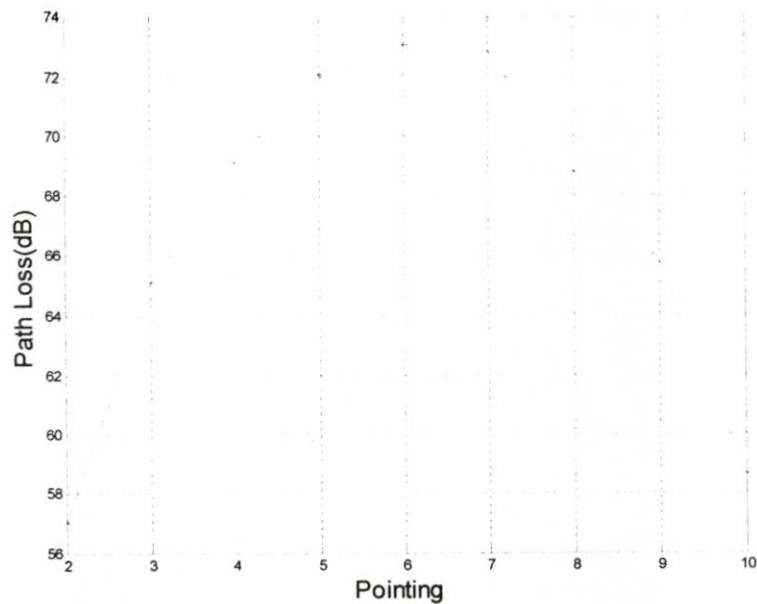
5.2.2.1 การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าผลของการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณนั้นจะแสดงในรูปแบบของกราฟ 2 แกน โดยแนวนอนแสดงตำแหน่งของเครื่องรับและแนวตั้งการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งจะพิจารณาในสองกรณีคือ กรณีที่มีผลจากการเปิดและปิดแลปที่ออปคอมพิวเตอรื ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 ตามลำดับจากรูปจะเห็นได้



รูปที่ 5.12 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อเปิดแลปที่ออปคอมพิวเตอรื

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าจุดที่ 6 ที่มีระยะไกลสุด 6.65 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุดเท่ากับ 73.46 dB และจุดที่ 2 ซึ่งมีระยะใกล้สุด ที่ 1 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถีต่ำสุดเท่ากับ 57.15 dB



รูปที่ 5.13 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเมื่อปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าจุดที่ 6 ที่มีระยะไกลสุด 6.65 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถีสูงสุดเท่ากับ 73.062 dB และจุดที่ 2 ซึ่งมีระยะใกล้สุดที่ 1 เมตร มีการสูญเสียเชิงวิถีต่ำสุดเท่ากับ 57.03 dB

ซึ่งเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบเป็นตัวเลขในลักษณะตารางเพื่อให้เห็นค่าโดยละเอียดจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์นั้นทำสัญญาณที่รับได้นั้นมีการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่าเมื่อปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ในทุกๆจุด ดังแสดงในตาราง

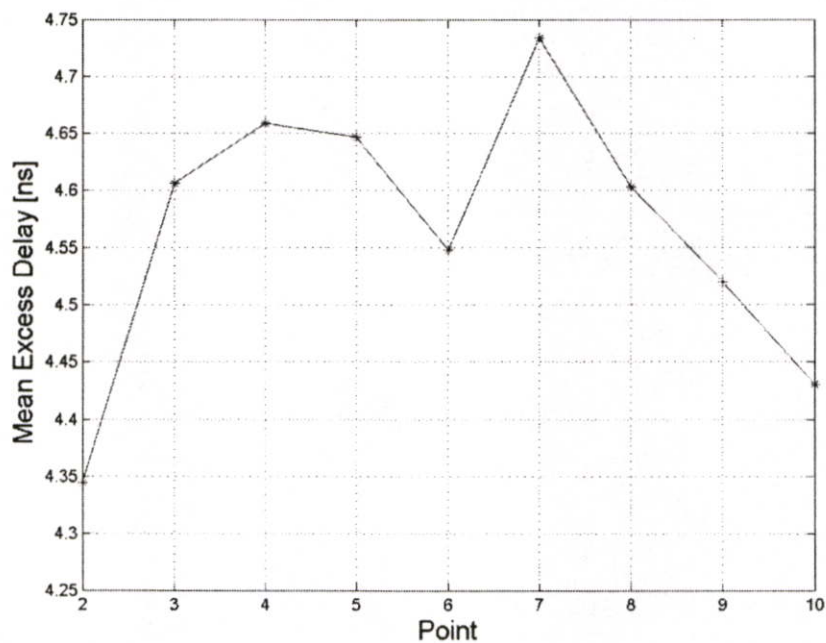
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเชิงวิถี

ตำแหน่งที่	ระยะทาง(m)	เปิดPL(dB)	ปิดPL(dB)
2	1.00	57.157	57.037
3	2.48	65.218	65.109
4	3.97	69.760	69.120
5	5.48	72.514	72.058
6	6.65	73.462	73.062
7	5.78	72.628	72.836
8	4.28	69.453	68.784
9	2.80	66.024	65.760
10	1.32	58.823	58.637

5.2.2.2 ลักษณะการกระจายทางเวลาของสัญญาณ

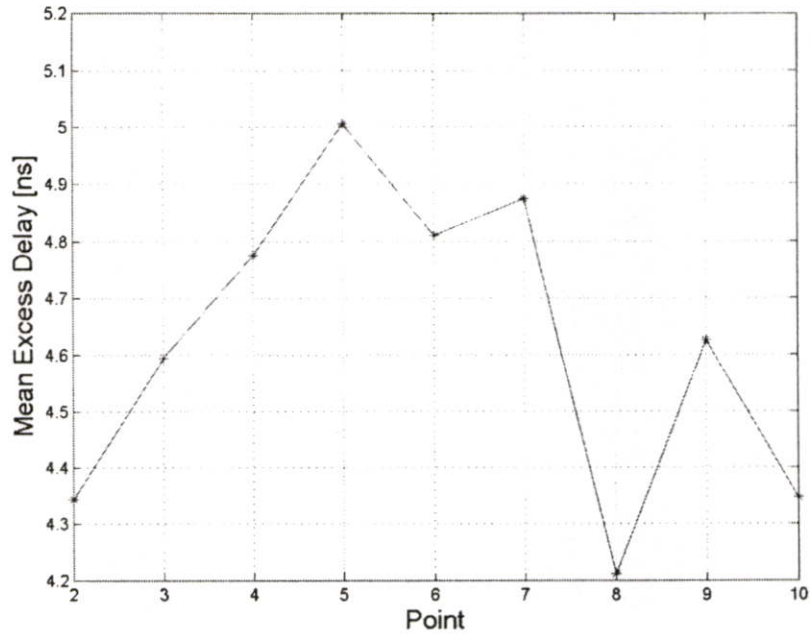
การวิเคราะห์เพื่อหาผลของการกระจายทางเวลา (time dispersion) ของสัญญาณนั้นจะพิจารณาใน 2 ส่วนหลักๆ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิง โดยจะแสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยของเวลาที่เข้ามาถึงของสัญญาณและเวลาของสัญญาณที่กระจายออกไปจากค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงการเกิดสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง (multipath) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงสามารถประมาณได้จากภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังของสัญญาณ ผลจากการวิเคราะห์สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ว่า ในกรณีที่มีการเปิดและปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์นั้นเกิดผลกระทบโดยตรงกับการส่งผ่านสัญญาณ

ผลจากการวิเคราะห์ในกรณีเมื่อเปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 7 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.733×10^{-9} วินาที และที่ตำแหน่งที่ 2 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.344×10^{-9} วินาที อันเนื่องมาจากการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง



รูปที่ 5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงโดยเมื่อเปิดแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

ในกรณีเมื่อปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 5 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 5×10^{-9} วินาที และที่ตำแหน่งที่ 8 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.21×10^{-9} วินาที อันเนื่องมาจากการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง



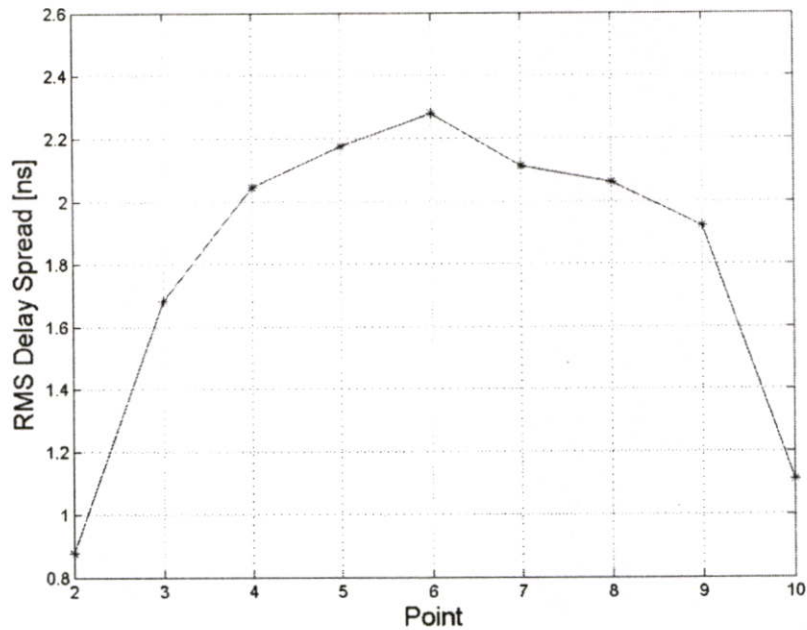
รูปที่ 5.15 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง โดยเมื่อปิดแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

ซึ่งเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบเป็นตัวเลขในลักษณะตารางเพื่อให้เห็นค่าโดยละเอียดจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปิดหรือปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์นั้นเพียงระยะทางของตำแหน่งที่วิเคราะห์แต่ละจุดนั้นไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าการเปิดหรือปิดแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์มีผลให้ค่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิงใดมีค่ามากกว่ากันซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละจุดที่ทำการวิเคราะห์

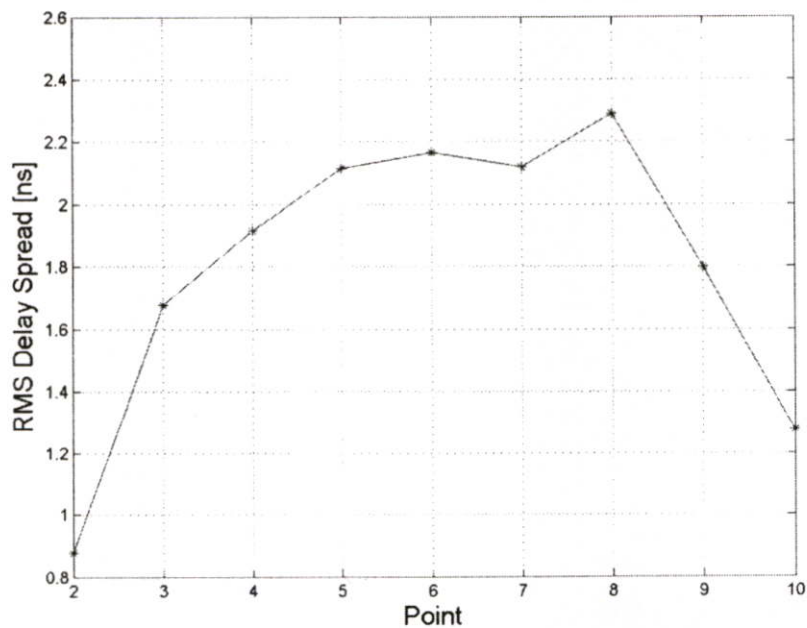
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิง

ตำแหน่งที่	ระยะทาง(m)	เปิด(ns)	ปิด(ns)
2	1.00	4.3444	4.3433
3	2.48	4.6061	4.5956
4	3.97	4.6588	4.7755
5	5.48	4.6466	5.0053
6	6.65	4.5476	4.8099
7	5.78	4.7339	4.875
8	4.28	4.6027	4.2113
9	2.80	4.5197	4.6262
10	1.32	4.4305	4.3472

จากผลการวิเคราะห์ในกรณีเมื่อเปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 6 นั้น มีค่าการแผ่ประวิงของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.27×10^{-9} วินาที และที่ตำแหน่งที่ 2 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.87×10^{-9} วินาที อันเนื่องมาจากระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับและการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง



รูปที่ 5.16 ค่าการแผ่ประวิงโดยเมื่อเปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.17 ค่าการแผ่ประวิงโดยปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์

จากผลการวิเคราะห์ในกรณีเมื่อปิดเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 8 นั้น มีค่าการแผ่ประวิงของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 2.29×10^{-9} วินาที และที่ตำแหน่งที่ 2 นั้น มีค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.877×10^{-9} วินาที อันเนื่องมาจากระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับและการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง

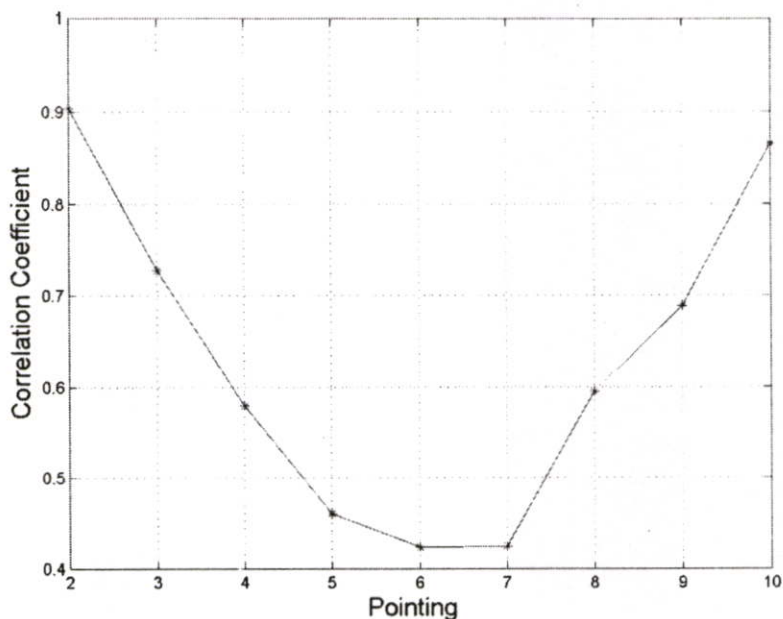
ซึ่งเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบเป็นตัวเลขในลักษณะตารางเพื่อให้เห็นค่าโดยละเอียดจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปิดหรือปิดเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์นั้นเพียงระยะทางของตำแหน่งที่วิเคราะห์แต่ละจุดนั้น ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าการเปิดหรือปิดแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์มีผลให้ค่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิงใดมีค่ามากกว่ากันซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละจุดที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าการแผ่ประวิง

ตำแหน่งที่	ระยะทาง(m)	เปิด (ns)	ปิด(ns)
2	1.00	0.8774	0.8776
3	2.48	1.6836	1.6782
4	3.97	2.0469	1.9152
5	5.48	2.1762	2.1158
6	6.65	2.2785	2.167
7	5.78	2.1136	2.12
8	4.28	2.0599	2.2906
9	2.80	1.92	1.7979
10	1.32	1.1115	1.2753

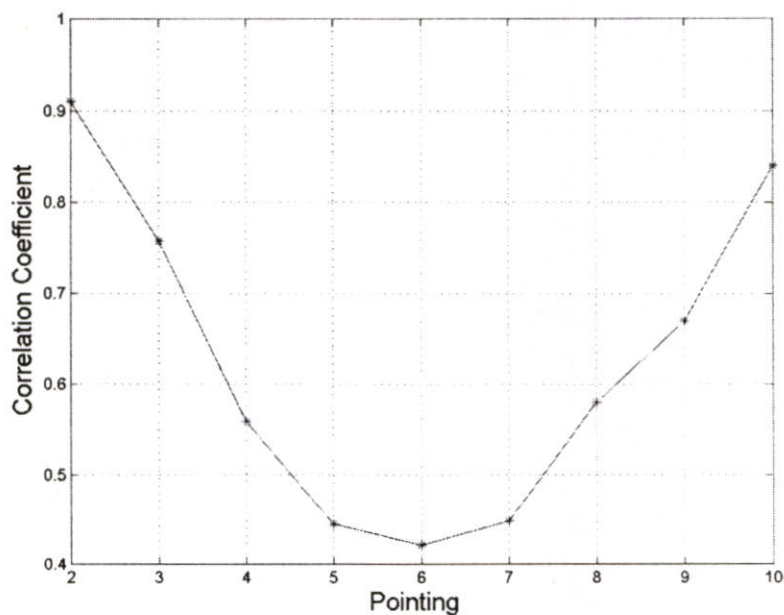
5.2.2.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงความสัมพันธ์ของรูปสัญญาณทางด้านรับว่ามีอัตราส่วนในการผิดเพี้ยนเกิดขึ้นมากน้อยแตกต่างกันอย่างไรในแต่ละจุดที่ทำการวิเคราะห์ดังรูป



รูปที่ 5.18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยปิดแลปที่อปกอมพิวเตอร์

ในกรณีเมื่อปิดเครื่องแลปที่อปกอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 1 นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.9 และที่ตำแหน่งที่ 6 นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.42 อันเนื่องมาจากการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง



รูปที่ 5.19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยเปิดแลปที่อปกอมพิวเตอร์

ในกรณีเมื่อเปิดเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งที่ 1 นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.91 และที่ตำแหน่งที่ 6 นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.42 อันเนื่องมาจากการสภาพแวดล้อมในห้องที่ทำการทดลอง

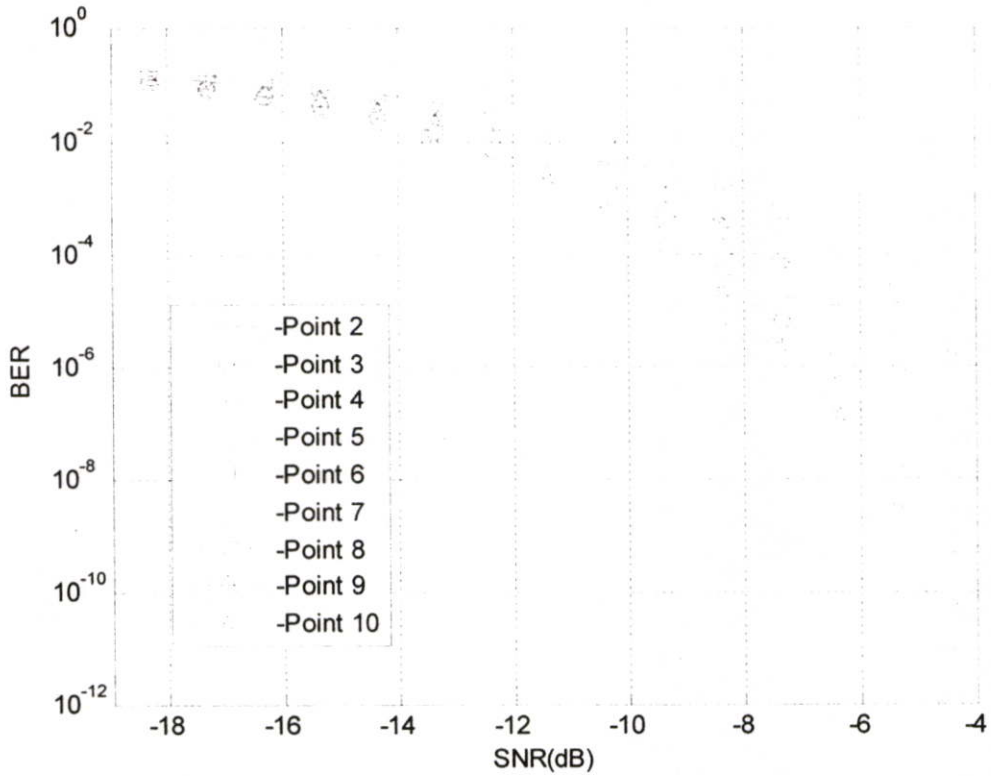
ซึ่งเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบเป็นตัวเลขในลักษณะตารางเพื่อให้เห็นค่าโดยละเอียดจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปิดหรือปิดเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์นั้นเพียงระยะทางของตำแหน่งที่วิเคราะห์แต่ละจุดนั้นไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าการเปิดหรือปิดแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์มีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าใดมีค่ามากกว่ากันซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในแต่ละจุดที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ตำแหน่งที่	ระยะทาง(m)	เปิด	ปิด
2	1.00	0.9104	0.9042
3	2.48	0.757	0.7281
4	3.97	0.559	0.5794
5	5.48	0.4454	0.4611
6	6.65	0.4219	0.4241
7	5.78	0.4486	0.4251
8	4.28	0.5803	0.5948
9	2.80	0.6701	0.6889
10	1.32	0.8398	0.8656

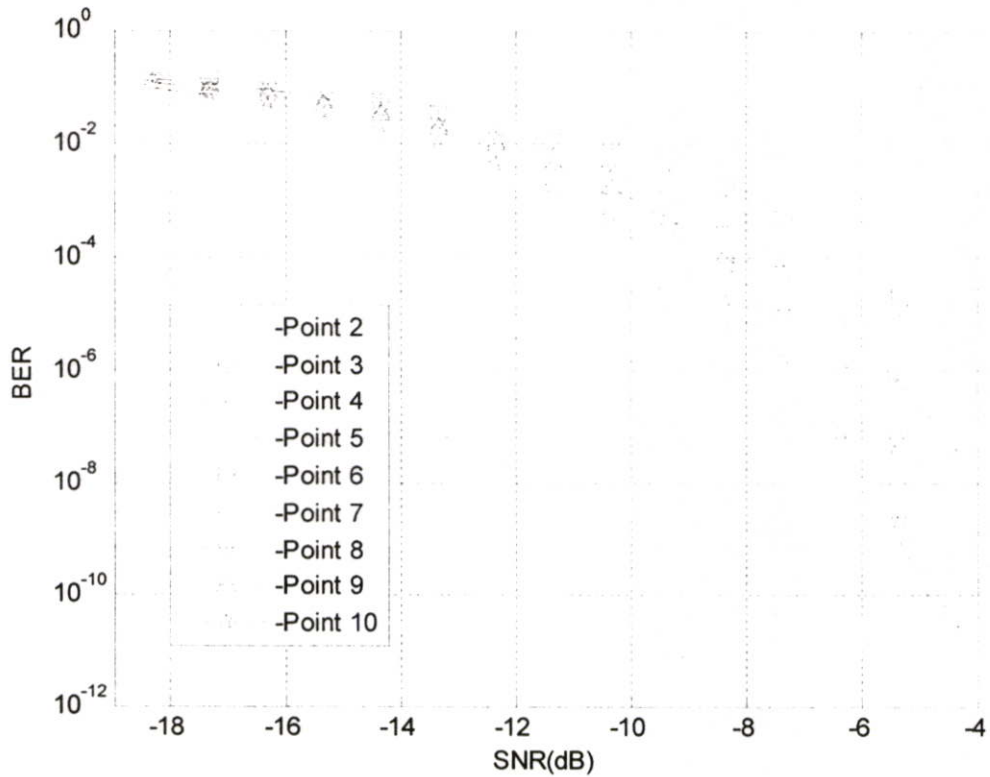
5.2.2.4 อัตราความผิดพลาดบิต

จากข้อมูลการวัดภายในห้องแบบที่ 2 นี้การวิเคราะห์เพื่อหาผลของอัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณนั้นจะพิจารณาใน 2 ส่วนคือ ผลกระทบเมื่อทำการเปิดและปิดเครื่องแลกเปลี่ยนที่อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงในลักษณะ โด๊อะประชุม ซึ่งในแกนตั้งจะเป็นค่า อัตราส่วนการส่งข้อมูลผิดพลาด แกนนอนเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณกับค่าของสัญญาณรบกวน แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีเปิดแถบที่อปคอมพิวเตอรื

จากผลการวิเคราะห์นั้น เห็นได้ว่าอัตราการส่งข้อมูลนั้นจะมีค่าบิตที่ผิดพลาดลดลงเมื่อค่าอัตราการของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกๆจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ และตำแหน่งที่ 2 นั้นมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตน้อยสุดเนื่องจากมีระยะทางที่ใกล้ที่สุด ที่ 1 เมตร แต่ตำแหน่งที่ 6 นั้นมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดเนื่องจากเป็นจุดที่สายอากาศด้านรับอยู่ไกลที่สุดคือ 6.65 เมตร ซึ่งเห็นได้ว่าค่าอัตราความผิดพลาดบิตนั้นจะแปรตามระยะทางระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับและตำแหน่งในการจัดวางก็มีผลเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.21 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์

จากผลการวิเคราะห์นั้น เห็นได้ว่าอัตราการส่งข้อมูลนั้นจะมีค่าบิตที่ผิดพลาดลดลงเมื่อค่าอัตราการของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเพิ่มมากขึ้นในทุกๆจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ และตำแหน่งที่ 2 นั้นมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตน้อยสุดเนื่องจากมีระยะทางที่ใกล้ที่สุด ที่ 1 เมตร แต่ตำแหน่งที่ 6 นั้นมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตมากที่สุดเนื่องจากเป็นจุดที่สายอากาศด้านรับอยู่ไกลที่สุดคือ 6.65 เมตร เช่นเดียวกับในกรณีที่มีการเปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์

ในการเปรียบเทียบระหว่างที่มีการเปิดและปิดแลปที่อปคอมพิวเตอร์นั้น เห็นได้ว่าในทุกจุดที่ทำการวิเคราะห์นั้นอัตราความผิดพลาดบิตในกรณีที่มีการเปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์จะมีค่าอัตราการส่งข้อมูลผิดพลาดมากกว่าในกรณีปิดเครื่องแลปที่อปคอมพิวเตอร์

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำศึกษาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งที่เกิดจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และอีกทั้งทำให้คุณสมบัติของสายอากาศเปลี่ยน โดยพิจารณาบนพื้นฐานการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจร โครงข่ายแบบเวกเตอร์ วัดการส่งผ่านสัญญาณซึ่งได้ทำจำลองการวัดที่มีลักษณะต่างๆ กัน 2 แบบคือ การวิเคราะห์ผลกระทบจากการบดบังโดยการหมุนแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์และได้พิจารณาถึงผลกระทบจากการเปิดและปิดเครื่องแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในการจัดวางลักษณะห้องประชุมโดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดในการวิเคราะห์คือ สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศแบบเส้นตัวนำกลางซึ่งเป็นสายอากาศที่ตอบสนองแถบความถี่สูงและมีขนาดเล็ก โดยทำการวิเคราะห์ผลการวัดด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้คือ ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณ ค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณ ค่าการกระจายตัวของกำลังงาน ค่าการสูญเสียกำลังงานของรูปสัญญาณ โดยแสดงผลการเปลี่ยนที่เกิดขึ้นทั้งในลักษณะเชิงมุมคือตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา และในลักษณะบนโต๊ะประชุม ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทั้งหมด

6.2 ผลการวิจัยบนพื้นฐานข้อมูลการวัด

6.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 1

ในการพิจารณาถึงคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในแบบจำลองการวัดภายในสภาพแวดล้อมแบบจำลองที่ 1 โดยใช้สายอากาศ 2 ชนิดด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดในส่วนต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงถึงผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในกรณีที่มีการหมุนแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดในลักษณะแบบจำลองที่ 1 สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณส่วนใหญ่เกิดจากระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสอง สภาพแวดล้อมภายในห้องและคุณสมบัติของสายอากาศ แต่เมื่อพิจารณาผลกระทบจากการบดบังจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในมุมต่าง ๆ พบว่าแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการบดบังจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์อย่างสมบูรณ์ จากการวัดจะเกิดผลการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงต่อช่องสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับของค่าเฉลี่ยเวลา

ประวิง ค่าการแผ่ประวิง ค่าการสูญเสียกำลัง โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณที่รับได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงด้วยเช่นกันและเมื่อมาอ้างอิงกับผลการวิเคราะห์ในห้องไร้การสะท้อนแล้วทำให้เห็นได้ว่า ผลที่วัดได้จากสภาพห้องภายในอาคารนั้นมีความผิดเพี้ยนสูงมากกว่าในสภาพห้องไร้การสะท้อน

6.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 2

จากผลสรุปข้างต้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณส่วนใหญ่เกิดจากระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองและสภาพแวดล้อมภายในห้อง คุณสมบัติของค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณจะแปรไปตามระยะห่างระหว่างสายอากาศ และลักษณะสภาพแวดล้อมภายในห้องนั้นคือถ้าห้องมีพื้นที่มากเอื้อให้เกิดการสะท้อนของสัญญาณก็จะทำให้เกิดสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง ส่งผลให้ค่าการแผ่ประวิงเพิ่มขึ้นไปด้วย และอีกปัจจัยหนึ่งคือระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับ เมื่อระยะห่างเพิ่มมากขึ้นค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อมของห้องนั้น ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของสัญญาณนั้นจะแปรไปตามระยะห่างระหว่างสายอากาศและค่าเวลาประวิงของสายอากาศ โดยเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยเวลาประวิงก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่าเวลาเวลาประวิงของสายอากาศขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศที่ใช้ ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในกรณีนี้จะขึ้นอยู่กับทฤษฎีที่ว่าด้วยการสูญเสียเชิงวิถีนั่นคือเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าการสูญเสียกำลังงานก็จะเพิ่มขึ้นตามนั่นเอง

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่ 2

ค่าพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยเปิด แลบที่ออปคอมพิวเตอร์	ค่าเฉลี่ย ปิด แลบที่ออปคอมพิวเตอร์
การสูญเสียเชิงวิถีสัญญาณ	มาก	น้อย
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ
ค่าการแผ่ประวิงเวลา	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	น้อย	มาก
อัตราความผิดพลาดบิต	มาก	น้อย

ผลวิเคราะห์จากการเปิดและปิดเครื่องแลบที่ออปคอมพิวเตอร์นั้น สรุปได้ว่ามีผลกระทบโดยตรงกับอัตราการสูญเสียกำลังงาน คือเมื่อทำการเปิดเครื่องจะทำให้เกิดค่าอัตราการสูญเสียกำลังงานมีค่าสูงกว่าเมื่อทำการปิดเครื่องแลบที่ออปคอมพิวเตอร์ส่วนค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิงของสัญญาณจะแปรไปตามระยะห่างระหว่างสายอากาศ และลักษณะสภาพแวดล้อมภายใน

ห้องซึ่งการเปิดหรือปิดเครื่องแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์นั้นไม่สามารถบ่งชี้เวลาในการประวิงว่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากแนวคิดที่ได้ทำการพิจารณาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งทั้งในกรณีที่มีผลกระทบจากแลกเปลี่ยนคอมพิวเตอร์ที่ได้แสดงไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากการวิเคราะห์พบว่าผลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดนั้นถูกรวมเข้ากับผลของคุณลักษณะของสายอากาศ ซึ่งเมื่อทำการเปลี่ยนสายอากาศเป็นชนิดอื่นๆ ค่าของช่องสัญญาณก็จะเปลี่ยนไปตามคุณสมบัติของสายอากาศสภาพแวดล้อมที่ทำการวัด โดยจากหลักการและแบบแผนการประเมินค่าผลการทดลองวิจัยวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ ออกแบบระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเฉพาะประสิทธิภาพการส่งผ่านข้อมูลข่าวสารและการผิดเพี้ยนของสัญญาณในแบบจำลองอื่นๆต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sathaporn Promwong, Jun-ichi Takada, Gilbert S. Ching, and Wataru Hachitani, "Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network", *EECON 27*
- [2] FCC, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems", FCC 02-48, Apr. 2002.
- [3] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, vol. 34, pp. 254-, May 1946.
- [4] Constantine A. Balanis. **Advanced Engineering Electromagnetics**. New York : John Wiley & Sons Ltd. 1989.
- [5] Simon R. Saunders. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**. England : John Wiley & Sons Ltd. 1999.
- [6] Ian O., Matti H. and Jari I. **UWB Theory and Applications**. England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [7] Kazimierz S. and Debra M. **Ultra-Wideband Radio Technology**. England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [8] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**. England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [9] Theodore S. Rappaport. **Wireless Communications Principles and Practice**. USA: Prentice Hall Inc. 1996.
- [10] Joseph H. **Microwave Engineering Passive Active and Non-Reciprocal Circuits**. USA : McGraw Hill Inc. 1992.
- [11] James D. Taylor. **Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems**. USA : CRC Press. 1995.
- [12] Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle and Stephen M. Kogon. **Statistical and Adaptive Signal Processing**. USA : McGraw Hill ,Inc. 2000.
- [13] J.G. Proakis, **Digital Communications, 4th edition**. USA : McGraw Hill ,Inc. 2001.
- [14] Apichit Pradabphon, Sathaporn Promwong, Monchai Chamchoy, Pichaya Supanakoon and Jun-ichi Takada. "Characterization of Body Shadowing Effects on Ultra-Wideband Propagation Channel" *ICCAS Conf.*, 2004. pp. 219-222.

- [15] Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong, Pichaya Supanakoon, Rangson Muanghlua and Nikorn Sukutamtanti. **“The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment”** ISCIT 12, Oct. 2005, pp. 943-946
- [16]. Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong, Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti. **“Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Area Network”** ICEMC 27, July. 2005.

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] **Phanupong Siriporn na rachseema**, Sathaporn Promwong, Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti. "Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Area Network" ICEMC, pp.5C-2, Phuket Thailand, 27-29 July 2005.
- [2] **Phanupong Siriporn na rachseema**, Sathaporn Promwong, Pichaya Supanakoon, Rangson Muanglua and Nikorn Sukutamtanti . "The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment" ISCIT, pp.943-946, Beijing China, 12-14 October 2005.



EMC
RoCCIT KMITL



KMITL

2005

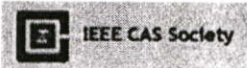
International
Conference on
Electromagnetic
Compatiblity
Phuket, Thailand



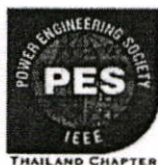
Proceeding



July 27-29, 2005
Kata Beach Resort,
Phuket, Thailand



◆ **IEEE THAILAND CHAPTER**



Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Aear Network

Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong,
Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail: s6064612@kmitl.ac.th

Abstract

This paper discusses the indoor measurement and modeling evaluation scheme of ultra wideband antenna with labtop computer for wireless personal communication. Friis' transmission formula is used to analysis a waveform distortion and transmission performance. The matched filter reception is considered to maximize the SNR at the receiver for the evaluation. Some experimental examples are shown.

Keywords: Ultra wideband (UWB), UWB radio, Friis' transmission formula, matched filter, WPAN

1. Introduction

Ultra wideband (UWB) radio technology has become one important topic for wireless communication. The UWB radio communications can be viewed as an extreme form of spread spectrum communication system. In order to minimize the interference with existent systems, the UWB is expected to be used mainly in wireless personal area networks (WPANs) and home networks.

In this paper, we discuss the experimental evaluation of UWB antenna performance with labtop computer. This scheme is based on the Friis' transmission formula. The transmission waveform and the matched filter reception are keys for the extension of the Friis' formula for UWB system. We carried out an experiment using the biconical antenna and meander line antenna for UWB operation in the anechoic chamber and in indoor environment.

2. UWB Analysis

In this study, we focus on the link budget evaluation in the free space. The Friis' transmission formula [?] has been widely used to evaluate the link budget for the narrowband LOS channels. Input signal $v_t(t)$ at the transmitter port is expressed as the convolution of an impulse and the pulse shaping filter as

$$v_t(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \quad (1)$$

Friis' formula is extended taking into account the transmission waveform as

$$H_{e-Friis}(f) = \frac{V_r(f)}{E_t} = H_t H_i H_r \cdot H_t, \quad (2)$$

where

is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna,

$$H_t = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd) \quad (3)$$

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

is the propagation constant.

The waveform of the output from the matched filter $v_{MF}(t)$ is

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t) dt}}, \end{aligned} \quad (5)$$

and $V_{MF}(f)$ (The spectrum of output from the matched filter)

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}. \end{aligned} \quad (6)$$

According to Eq.(??), Eq.(??) has a peak value takes its maximum as

$$\begin{aligned} \max_t v_{MF}(t) &= v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}. \end{aligned} \quad (7)$$

Equation (??) is the UWB extension of Friis' transmission formula. Equation (??) includes three elements, i.e., the frequency characteristics of the antennas, the frequency characteristics of free space propagation, and the spectrum of the transmit signal. The UWB transmission gain can be defined as

$$G_{UWB} = \max_t v_{MF}(t) / \max_t v_{MF, Iso}(t). \quad (8)$$

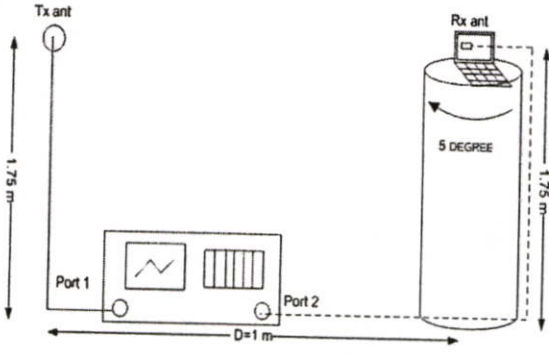


Fig. 1. The measurement setup: indoor environment.

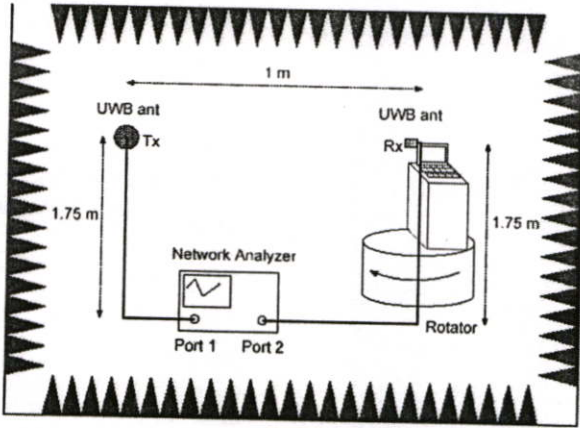


Fig. 2. The measurement setup: chamber room.

3. Transfer Function Measurement

3.1 Experimental Setup

By using the vector network analyzer (VNA), complex transfer functions can be measured. The transfer functions were measured as S_{21} in the frequency domain by using a vector network analyzer (VNA). The VNA was operated in the response measurement mode, where Port-1 was used as the transmitter port (Tx) and Port-2 was used as the receiver port (Rx), respectively. The measurement was done in an anechoic chamber to simulate free space. Both Tx and Rx antennas were fixed at the height of 1.75 m and separated by d . The setup are illustrated at Fig. ?? in an indoor environment and Fig. ?? in an anechoic chamber.

3.2 Antenna Under Test

The Tx antenna is a biconical antenna with maximum diameter of 65.3 mm and length of 37 mm used as the standard antenna [?] show in Figs. ?? and the Rx antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc.,(USA) [?] used

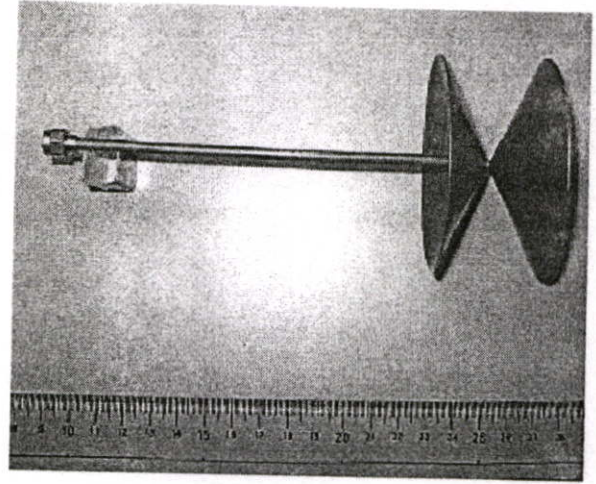


Fig. 3. Biconical line antenna

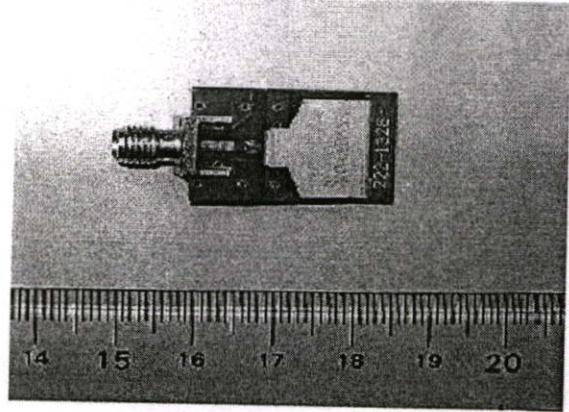


Fig. 4. Meander line antenna

as the AUT in Figs. ?? . S_{21} , measures the transfer function between Tx and Rx antennas.

The Tx antenna is fixed at pointing angle 0° and the Rx antenna is rotated from pointing angle 0° to 360° with each step at 5° .

3.3 Parameters of Measurements

The important parameters for the measurements are listed in Table 1.

3.4 Transmission Signal Model

The impulse radio signal that fully covers the FCC band [?], i.e., 3.1 ~ 10.6 GHz. The center frequency and the bandwidth were therefore set to be $f_0 = 6.85$ GHz and $f_b = 7.5$ GHz, respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was a single ASK pulse with the carrier frequency f_0 . To satisfy the bandwidth requirement of f_b , the

TABLE I Table 1 Parameter of Experimental.

Parameter	Value
Frequency rang	3~11 GHz
Number of frequency point	801
Dynamic power range	80 dB
High of Tx antenna	1.75 m
High of Rx antenna	1.75 m
Distance betweenTx antenna and Rx	1 m
Rx rotate range	0° ~ 360°
Rx rotate step	5°

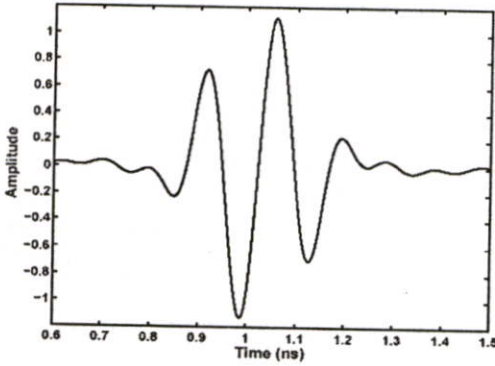


Fig. 5. Transmission signal model.

pulse length was set to be $\frac{2}{f_b}$. Then the signal was band-limited by a Nyquist roll-off filter with roll-off factor $\alpha = 0$ (rectangular window) and passband $(f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2})$. Figure ?? shows the transmit pulse waveform. The transmission process of the pulse waveform is simulated based on the measured transfer function of the antennas.

4. Results of Experiment

From result of experimental the Fig. ?? are show magnitude of the measured antenna transfer function in an indoor environment and phase is also shown in Fig. ?. The receiver antenna line with in used experimental that used converter phase antenna line and have trust but indecent working use in appearance not know everywhere of signal.

Figure ?? shown the magnitude of antenna transfer function in anechoic chamber room in frequency from 3 ~ 11 GHz and setup step 5 degree being 0 ~ 360 degree However, evaluation value from state room in building Fig. ?? shown phase of antenna transfer function in anechoic chamber room.

Figure ?? shown transmission gain of UWB antenna in an indoor environment. Therefore, 180 degree angle that have to maximum loss signal value

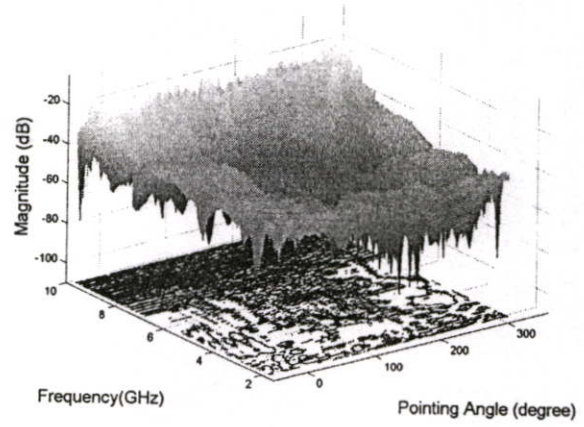


Fig. 6. Magnitude of antenna transfer function: indoor environment

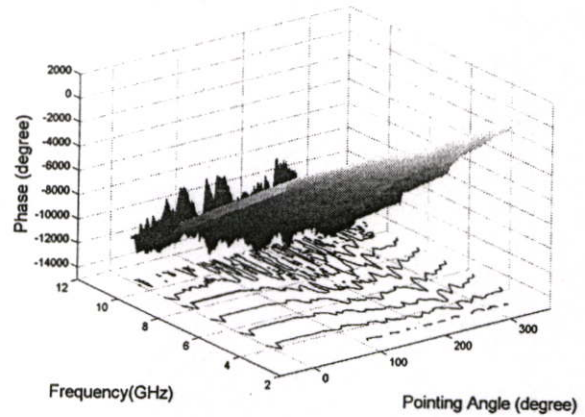


Fig. 7. Phase of antenna transfer function : indoor environment.

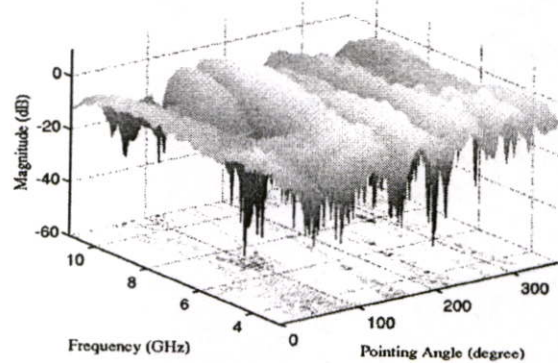


Fig. 8. Magnitude of antenna transfer function: chamber room

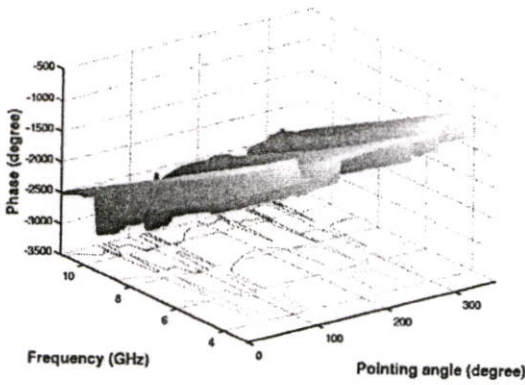


Fig. 9. Phase of antenna transfer function environment in anechoic chamber room

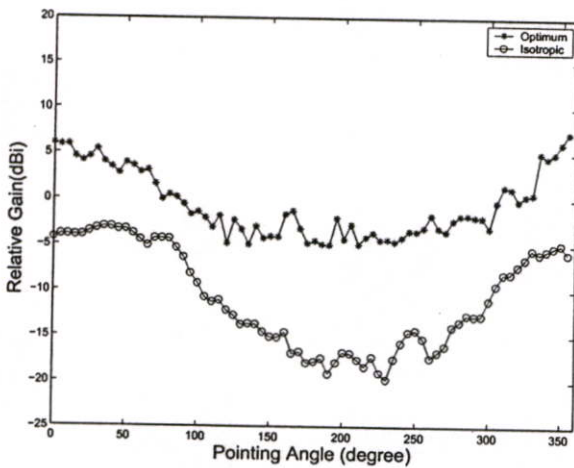


Fig. 10. Transmission gain : in indoor environment

ratio because turn is 180 degree angle . Receiver antenna this Meander line antenna with point antenna line this to face go over crossing with transfer antenna line another have to maximum loss ratio. Therefore optimum value that have to increase ratio with highest of isotropic because signal evaluation in room state in building that have to reflection of signal form other inventory. Specially when in turn off angle have to estimate value 180 that highest increase ration isotropic type because reflection from desktop of laptop computer.

Figure ?? transmission gain of in anechoic chamber room another that have to distort of signal a little when compare with in room state in building but have to increase ratio a little with in room state in building because that environment in building have to reflection highest of signal.

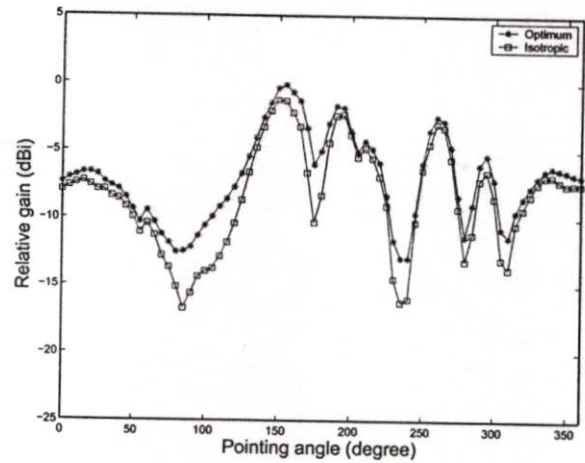


Fig. 11. Transmission gain : in anechoic chamber room

5. Conclusion

This paper discusses the transmission gain of UWB antenna with a laptop computer in an indoor environment and in anechoic chamber room. Using an extension of Friis' transmission formula in order to take into account the transmit waveform and the matched filter into the system. The experimental examples using the biconical antenna as the transmitter and the Skycross antenna as the receiver are evaluated. This approach is more useful for design and evaluation of UWB wireless systems.

References

- [1] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, vol. 34, pp. 254-, May 1946.
- [2] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems," IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [3] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," Joint UWBST and IWUWBS2004, pp.312-316, May 18-21, 2004.
- [4] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antennafor Commercial UWB Applications" <http://www.skycross.com/>
- [5] FCC, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," FCC 02-48, Apr. 2002.
- [6] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network"

Volume 2 of 2

ISCIT 2005

PROCEEDINGS

International Symposium on Communications
and Information Technologies 2005

October 12-14, 2005

Fragrant Hill Hotel, Beijing, China

Sponsored by:

The National Natural Science Foundation of China

K.C. Wong Education Found., Hong Kong

IEEE Circuits and Systems Society

IEEE Communication Society Beijing Chapter

Beijing Association for Science and Technology

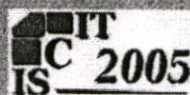
Beijing University of Posts and Telecommunications

Technical Co-Sponsored by

IEICE Japan

ECTI Thailand

Official Web site: <http://iscit05.bupt.edu.cn>



PUBLISHING HOUSE, BPUT
www.buptpress.com

The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment

Phanupong Siripornnarachseema*, Sathaporn Promwong*,
Pichaya Sithiyopaskul*, Rangson Muanghlua** and Nikorn Sukutamtanti*
Department of Information Engineering*, Electronics Research**,
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail: s6064612@kmitl.ac.th

Abstract— This paper presented the effect of laptop computer shadowing on UWB propagation in an indoor environment. The frequency responses of the radio channel are acquired by using a vector network analyzer (VNA) over the frequency bandwidth of 3.1GHz to 10.6GHz. Consequently, the characteristics of the UWB channel including the transmitter/receiver antennas, the environment, and the laptop computer shadowing are investigated. As the results, the mean excess delay and the RMS delay spread increase, respectively, in the case of laptop computer. Moreover, the angular power loss is occurred when fully shadowing by the laptop computer.

Keywords—UWB, UWB Propagation, RMS delay spread

I. INTRODUCTION

Ultra Wideband (UWB) technology, a revolutionary approach to radio communications, allows systems to operate across a range of frequency bands defined by FCC [1] with negligible interference to existing systems in that band. This is because UWB uses very low power spectral density, while maintaining a high data rate. The UWB techniques can also provide reliable location information, high resolution imaging and works efficiently in a cluttered environment. The UWB technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power, and low cost indoor communication systems such as Wireless Personal Area Networks (WPANs) [2],[3] Hence, the characterization of the indoor radio channel is very important part, especially when propagated signal is shadowed by the laptop computer operated around the transmitter and/or the receiver. Therefore, the laptop computer shadowing affected to the signal quality should be investigated. Recently, the power pattern of the UWB antenna using traditional anechoic chamber measurement techniques are proposed to characterize the effects of laptop computer shadowing [4] While the analytical results of laptop computer operator effect on the wideband and narrowband channel are presented[5]. Consequently, the UWB channel measurements from typical office room have been investigated [6]. However, these researches do not consider the impacts of the laptop computer shadowing over the fully FCC bandwidth on the

angular path loss and the time dispersion characteristics. In this paper, we investigated the effects of the laptop computer shadowing on UWB propagation in an indoor environment over the frequency bandwidth of 3~11 GHz. Unfortunately, the characteristics of the transmitter/receiver antenna are included in the measured channel. In our experiment, the biconical antenna is used at transmitter and the meander line antenna is used at receiver. In order to investigate the influence of laptop computer, the channel parameters such as the power delay profile, the mean excess delay, the RMS delay spread and the angular path loss for the arbitrary angles ($0^\circ\sim 360^\circ$) are presented.

II. DESCRIPTION OF MEASUREMENT AND MODEL

A. Measurement Setup

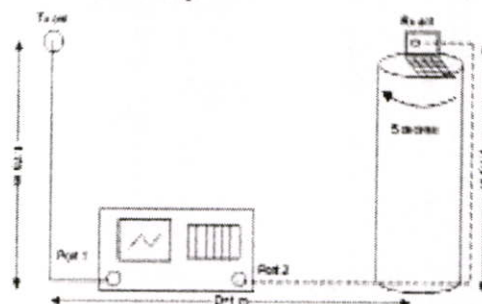


Fig. 1. The measurement setup: indoor environment.

The UWB radio channel transfer function is measurement system consists of the vector network analyzer (VNA) model HP-8510C, the S-parameter test set (HP-8514B), the frequency synthesized sweeper (HP-83620A), the biconical antenna pair and the personal computer. The VNA is operated in the response measurement mode, where PORT1 is the transmitter port (TX) and PORT2 is the receiver port (RX). The biconical antennas with the maximum diameter of 65.3mm and the length of 37mm is used at the transmitter. The biconical antenna has typically an omni-directional radiation pattern, with a linearly phase response. The meander line antenna is used at receiver is low receiver power with develop by Skycoross Inc., (USA)

company. Table lists the main parameters of the experiments. The transfer function is measured as S_{21} in frequency domain by using the VNA.

TABLE I
TABLE I PARAMETER OF EXPERIMENTAL.

Parameter	Value
Frequency range	3 ~ 11 GHz
Number of frequency point	801
Dynamic power range	80 dB
High of Tx antenna	1.75 m
High of Rx antenna	1.75 m
Distance between Tx antenna and Rx	1 m
Rx rotate range	0° ~ 360°
Rx rotate step	5°

In the experiment, the antennas are placed at the height of 1.75m and the separation distance of 1m with the vertical polarization. The receiver antenna is attached to a laptop computer. For each measured channel, the receiver antenna is rotated by the increment step by 5° from 0° to 360° while acquiring the received power on the computer via GPIB interface. The measurement is carried out in the laboratory environment. Figure 1 shows the measurement setup in the indoor environment.

B. UWB Signal Model

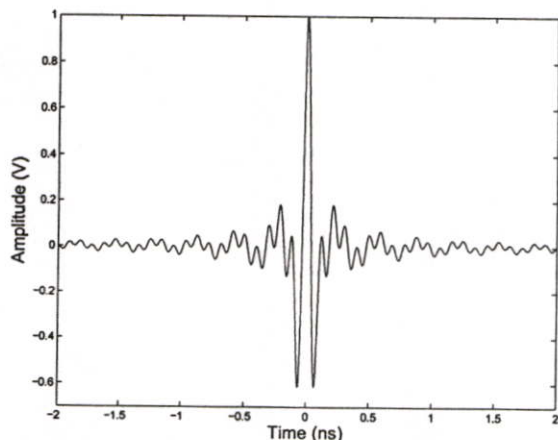


Fig. 2. The transmitted UWB signal waveform.

This UWB transmitted signal is shown in Fig.2 and its equation is

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

where f_{\min} and f_{\max} is the minimum and maximum frequencies, respectively, $f_b = f_{\max} - f_{\min}$ is the spectral bandwidth, $f_c = (f_{\max} + f_{\min})/2$ is the center frequency and $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$.

C. Data Processing and Analysis

The inverse discrete Fourier transform (IDFT) is used to convert the frequency domain channel response into the time domain channel response. Hamming window is applied before transformation to make it easier to locate line-of-sight component of the signal. This filtering procedure reduces the side lobes of the impulse response and broadens the main lobe. Therefore, the UWB channel characteristics can be analyzed statistically.

III. INVESTIGATION PARAMETERS

A. Power Delay Profile

The mean relative powers of the taps are specified by the power delay profile (PDP) for the channel, defined as the variation of mean power in the channel with delay, thus

$$P(\tau) = \frac{E[|h(t, \tau)|^2]}{2} \quad (2)$$

Where E is expectation and $h(t, \tau)$ is the impulse response of the channel.

B. Mean and RMS Delay Spread

In order to investigate the effects of the laptop computer shadowing on time dispersion, we considered the time delay of the arrived signal at the receiver, which the multiple reflections of the transmitted signal may arrive at the receiver at different times, this can result in intersymbol interference (ISI, or bits into one another) which the receiver cannot sort out. The time dispersion can be characterized by using the mean excess delay, τ_m , and the RMS delay spread, τ_{rms} , to illustrate the effects of laptop computer shadowing. The mean excess delay which is the first central moment of $|h(t, \tau)|^2$ and the RMS delay spread which is the square root of the second central moment. In order to investigate the power delay profile, the mean excess delay, the RMS delay spread, and the angular power loss, the UWB signal model for transmitted pulse is required. Defining the UWB transmitted signal waveform assumed in the simulation is the pass band rectangular pulse, $v_t(t)$ which has expression in time domain [8]. The UWB transmitted signal is set in the full UWB spectrum bandwidth. The maximum and minimum frequencies are $f_{\min} = 3.1\text{GHz}$ and $f_{\max} = 10.6\text{GHz}$, respectively. Then, the spectral bandwidth is $f_b = 7.5\text{GHz}$. The first moment of $|h(t, \tau)|^2$ takes into account the relative powers of the taps as well as their delays, making it a better indicator of system performance than the other parameters. The mean excess delay, τ_m , is defined as [8]

$$\tau_m = \frac{\int_0^{\infty} \tau \cdot |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_0^{\infty} |h(\tau)|^2 d\tau} \quad (3)$$

and the RMS delay spread, τ_{rms} , can be defined by

$$\tau_{rms} = \frac{\int_0^\infty (\tau - \tau_m)^2 \cdot |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_0^\infty |h(\tau)|^2 d\tau} \quad (4)$$

C. Path Loss

The UWB path loss PL can be defined as the ratio between the maximum amplitude of the transmitted and received signal waveforms[8]

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (5)$$

where $v_t(t)$ is amplitude of the transmitted signal waveform and $v_r(t)$ is amplitude of the received signal waveform.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

By using the VNA, the measured frequency transfer functions with the number of frequency points of 801 are taken in the laboratory environment. The time domain impulse responses of the UWB channel are analyzed by the procedures described in the previous section.

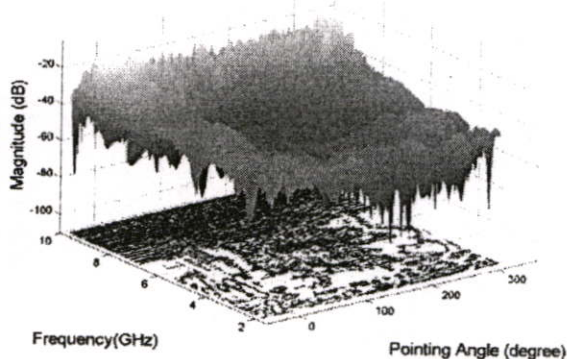


Fig. 3. The antenna transfer function: magnitude.

From Fig.3 is magnitude of antenna transfer function. Figure 4 is phase of antenna transfer function. Fig.5 shows the comparison of the power delay profile (PDP) between with and without the laptop computer shadowing at the arbitrary angle ($0^\circ \sim 360^\circ$). We can see that the received signal is attenuated by the laptop computer between 180 and 225 degree, which is more than at the other angle. The comparison of the mean excess delay (τ_m) and the RMS delay spread (τ_{rms}) at the laptop compute shadowing at the arbitrary angle ($0^\circ \sim 360^\circ$) are shown in Fig.6 and Fig.7, respectively. As the results, we can observe that the mean excess delay and RMS delay spread of the signal between 160 and 200 degree (in the case of laptop computer shadowing), respectively is more than that of the signal at the other angle.

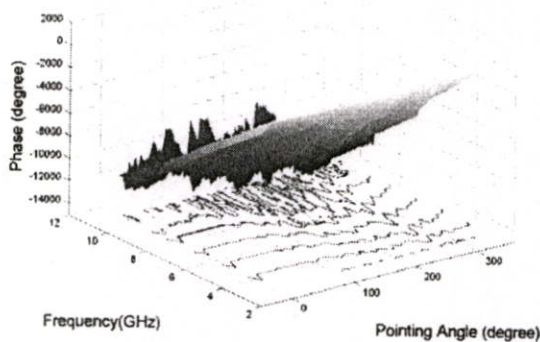


Fig. 4. The antenna transfer function: phase.

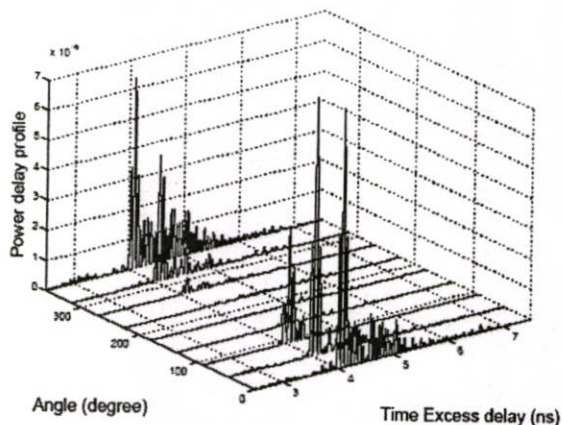


Fig. 5. The power delay profile of the measured UWB channel.

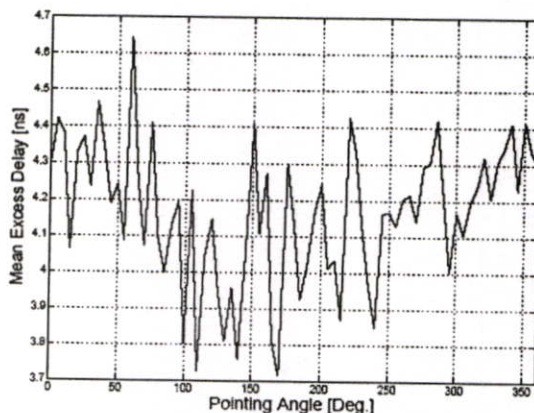


Fig. 6. The mean excess delay, τ_m , with the laptop computer shadowing.

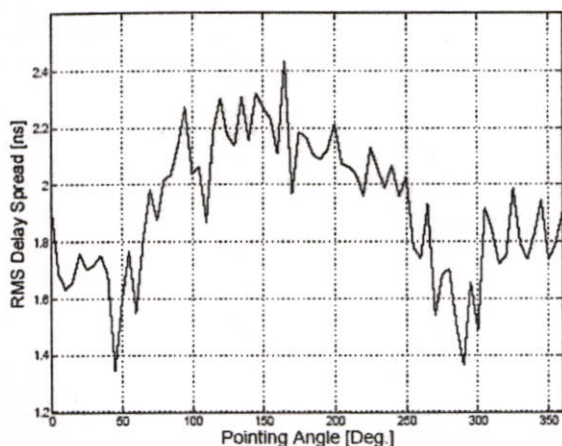


Fig. 7 The RMS delay spread, τ_{rms} , with the laptop computer shadowing.

These results are indicated in the reduction of data rate of this system for the laptop computer shadowing case. The path loss at distance of 1m between the transmit and the receive antenna, which is included the effect of the laptop computer shadowing, the environment effect and the antenna effect are shown in Fig.8 As the results, we can see that the laptop computer shadowing are involved the angular power loss between 150 to 225 degree, which is more than that of the power signal at the other angle.

V. CONCLUSION

This paper, the evaluation of UWB propagation channel are 3GHz to 11GHz in our laboratory environment. The measurement results clearly indicate that the laptop computer shadowing are effected to the time dispersion characteristics. As the results, when propagated wave is shadowed by laptop computer, the mean excess delay and the RMS delay spread increase to 2.4ns, respectively. Moreover, the angular power loss of 157dB is occurred when fully shadowing by the laptop computer. Therefore, the UWB communication system design must consider the effects of laptop computer shadowing in the real environment when high data transmission rate is required.

REFERENCES

- [1] Federal communications commission Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems, First Report and Order, ET Docket 98-153, FCC 02-48, April 2002. On line available at [<http://www.fcc.gov>]
- [2] K. Siwiak, "Ultra-wide radio: Introducing a new technology," Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf.(VTC),vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001
- [3] K. Siwiak, "Ultra-wide radio:The emergence of an important RF technology," Proc. 2001 Spring IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC), vol. 2, pp. 1169-1172, May 2001.
- [4] T. B. Welch, R. L. Musselman, B. A. Emessiene, P. D. Gift, D. K. Choudhury, D. N. Cassadine, and S. M. Yano, "The effects of the human body on UWB signal propagation in an indoor environment," IEEE J. Select. Areas Commun., vol 20, no. 9, pp.1778-1782, Dec.2002.
- [5] M. Sanchez, L. de Haro, A. Pino, and M. Calvo, "Human operator effect on wide-band radio channel characteristics," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 45 no. 8, pp.1318-1320, Aug. 1997.
- [6] T. Zasowski, F. Althaus, M. Stager, A. Wittneben, and G.Troster, "UWB for noninvasive wireless body area networks:channel measurements and results," IEEE Conf.(UWBST), pp.285-289, Nov.2003.
- [7] A. Pradubphon, S. Promwong, M. Chamchoy, P.Supanakoon, and J. Takada, "Influence of human body shadowing on Ultra-wideband propagation channel," Proc. ICCAS' 04,Aug. 2004.
- [8] Henry L.Bertoni, "Radio Propagation for Modern Wireless Systems,"Prentice Hall PTR Upper Saddle River,NJ 07458 www.phptr.com ISBN 0-13-026373-7
- [9] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antennafor Commercial UWB Applications" <http://www.skycross.com/>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา
วัน เดือน ปีเกิด	26 มิถุนายน 2523 ที่ เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพฯ
ที่อยู่	313 หมู่ 5 แขวง ลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	
พ.ศ.2548	Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong,Paisan Sithiyopaskul and Nikorn Sukuthumtanti. “ Indoor Measurement and Modeling of Ultra Wideband Antenna with Laptop Computer for Wireless Personal Area Network ”, International Conference on Electromagnetic Compatibility (ICEMC), pp.5C-2, 27 July 2005.
	Phanupong Siriporn na rachseema, Sathaporn Promwong,Pichaya Supanakoon, Rangson Muanghlua and Nikorn Sukutamtanti. “ The Effect of Laptop Computer Shadowing on UWB Propagation in an Indoor Environment ”, International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT) , pp.943-946, 12 October 2005