การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีต่อการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

STUDY ON THE EFFECTS OF INTERFERENCE FROM PERSONAL COMPUTER TO ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

อัญชนา เข็มพิลา

ANCHANA KHEMPHILA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีต่อการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

STUDY ON THE EFFECTS OF INTERFERENCE FROM PERSONAL COMPUTER TO ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

อัญชนา เข็มพิลา

ANCHANA KHEMPHILA

เลขหมู่.......................................
เลขทะเบียน....74607.......
วัน,เดือน,ปี....- 8 ต.ค. 2550.......

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

STUDY ON THE EFFECTS OF INTERFERENCE FROM PERSONAL COMPUTER TO ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

ANCHANA KHEMPHILA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION 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	การศึกษาผลกระทบของการแทรกสอดจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีต่อการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นางสาวอัญชนา เข็มพิลา
รหัสประจำตัว	46064614
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกพิจารณานำเข้ามาใช้ในระบบโครงข่ายแบบไร้สายระยะสั้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงานโดยปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ถูกลดทอนโดยผนัง กำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงและสิ่งกีดขวางต่าง ๆ รอบข้างส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณเกิดขึ้น ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้แต่ยังมีปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญและน่าสนใจนั่นก็คือ ผลจากตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและในกรณีเปิดและปิดตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบจากตัวเครื่องคอมพิวเตอร์และการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่มีผลต่อระบบโครงข่ายแบบไร้สายทำให้คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งเปลี่ยนแปลง สำหรับหลักการศึกษาและวิเคราะห์จะอยู่บนพื้นฐานการทดลองวัดตลอดช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์สำหรับการวัดและบันทึกข้อมูลในการวิจัย ซึ่งผลที่ได้จะนำมาทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส โดยวิเคราะห์ผลหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณในการส่งผ่าน และได้ทำการประเมินค่าพารามิเตอร์ คือเกณฑ์การส่งผ่านสัญญาณ อัตราความผิดพลาดบิต อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค ค่าของการประวิงกำลัง และค่าของความสูญเสียเชิงวิถี จากการศึกษาวิจัยเพื่อจะเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปพัฒนาเครือข่ายคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารแบบไร้สายระยะสั้นโดยใช้โครงข่ายแบบแถบกว้างยิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis Title	Study on The Effects of Interference from Personal Computer to Ultra Wideband Communications
Student	Ms.Anchana Khemphila
Student ID.	46064614
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Nowadays wireless communication is widely used efficiently in high speed data transferring method. UWB radio is a new carrierless communication scheme using impulses and is a new technology for future wireless communication and ranging applications. So the factors that effected UWB system are required to know. In this research, I study on the effects of interference from the body of personal computer to UWB communications .In the small distances of wireless system are observed. The experiment frequency from 3-11 GHz and the transfer function of the transmitter and receiver antennas are done using biconical antennas. The biconical antennas are hold with the case of personal computer. The measurements are covered by using a vector network analyzer and data are used to evaluate the UWB transmission properties based on the extended Friis's transmission formula. The relative gain, phase of antenna, power delay profile, bit error rate and path loss of signals are shown. The development of WLAN by using UWB is my objective.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งท่านอาจารย์ให้คำชี้แนะ ให้คำปรึกษา และให้แนวทางการวิจัยเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้ชีวิต อบรม เลี้ยงดูและให้กำลังใจในการวิจัยมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยมาอยู่ถึงจุดนี้ได้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุกคนในห้องปฏิบัติการระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาระดับมหาบัณฑิตในครั้งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อัญชนา เข็มพิลา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..II

กิตติกรรมประกาศ..III

สารบัญ...IV

สารบัญตาราง...I

สารบัญรูป...IX

รายการคำย่อและสัญลักษณ์..X

บทที่ 1 บทนำ..1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..............................3

1.3 สมมติฐานของการศึกษา...3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย...4

1.5 ขอบเขตการศึกษา...4

1.6 ขั้นตอนการศึกษา...4

บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง...7

2.1 กล่าวนำ...7

2.2 ประวัติของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.......................................7

2.3 ระบบโครงข่ายแบบต่าง ๆ..10

2.3.1 LAN : Local Area Network...11

2.3.2 MAN : Metropolitan Area Network...11

2.3.3 WAN : Wide Area Network..11

2.3.4 PAN : Personal Area Network 12

2.3.5 Wireless LAN..12

2.4 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง............................12

2.4.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง..15

2.5 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.........................17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา...17

2.5.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป...18

2.6 สรุป...20

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง..21

3.1 กล่าวนำ...21

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง...21

3.3 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ...22

3.4 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ..23

3.5 หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า..24

3.6 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรฟรีส..24

3.7 แมตช์ฟิลเตอร์...26

3.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์..28

3.8.1 การสูญเสียเชิงวิถี...29

3.8.2 การประวิงกำลังงาน..30

3.8.3 อัตราความผิดพลาดบิต..31

3.9 สรุป...32

บทที่ 4 การทดลองวิจัยและวิเคราะห์ผลการวัด...33

4.1 กล่าวนำ...33

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด...33

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์..33

4.2.2 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง..34

4.2.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่...34

4.3 โมเดลสัญญาณที่ใช้ในการทดลองวิจัย...37

4.3.1 โมเดลสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในการทดลองวิจัย.....................................37

4.4 การทดลองวิจัย..39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 1.................................. 39

4.4.1.1 การเตรียมการวัด..39

4.4.1.2 ขั้นตอนการวัด..40

4.4.1.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..40

4.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 2.......................................41

4.4.2.1 การเตรียมการวัด..41

4.4.2.2 ขั้นตอนการวัด..42

4.4.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..42

4.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 3.......................................43

4.4.3.1 การเตรียมการวัด..43

4.4.3.2 ขั้นตอนการวัด..45

4.4.3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..45

4.4.4 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 4.......................................46

4.4.4.1 การเตรียมการวัด..46

4.4.4.2 ขั้นตอนการวัด..48

4.4.4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..48

บทที่ 5 ผลการวัดและการวิเคราะห์..50

5.1 กล่าวนำ...50

5.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 1......................50

5.2.1 การประมวลผลสัญญาณ...50

5.2.2 ผลการทดลอง...51

5.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 2......................53

5.3.1 การประมวลผลสัญญาณ...53

5.3.2 ผลการทดลอง...55

5.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 3......................56

5.4.1 การประมวลผลสัญญาณ...56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.2 ผลการทดลอง..57

5.5 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 4..............................59

5.5.1 การประมวลผลสัญญาณ..59

5.5.2 ผลการทดลอง..66

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย..68

เอกสารอ้างอิง..70

ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์...72

ประวัติผู้เขียน..83

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร..18

2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร..19

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..40

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..42

4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..45

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..48

5.1 ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค 57

5.2 ค่าความสูญเสียเชิงวิถี 57

5.3 ค่าความสูญเสียเชิงวิถี 66

5.4 ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค 66

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนในการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้..........6

2.1 ลักษณะของระบบโครงข่ายไร้สายแบบต่างๆ..........10

2.2 เปรียบเทียบสเปคตรัมระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานระหว่างแถบกว้างยิ่งกับแถบแคบ..13

2.3 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาของระบบแถบกว้างยิ่ง..........13

2.4 แถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่..........14

2.5 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียร์ภายในบ้าน..........15

2.6 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร..........19

2.7 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร..........20

3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังค์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง..........22

3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น..........22

3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่..........23

3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนเวลา..........24

3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีสและเพิ่มแมตช์ฟิวเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้าง..........26

3.6 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ..........26

3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน..........30

4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์..........34

4.2 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่..........35

4.3 สายอากาศแบบกรวยคู่..........35

4.4 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่..........36

4.5 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่..........36

4.6 คุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศแบบกรวยคู่..........36

4.7 รูปแบบสัญญาณการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง..........38

4.8 ขนาดของฟังก์ชั่นความหนาแน่นสเปกตรัม..........38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 สภาพแวดล้อมในการทดลองวิจัยแบบที่ 1 39
4.10 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 1 40
4.11 สภาพแวดล้อมในการทดลองวิจัยแบบที่ 2........41
4.12 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 2 42
4.13 สภาพแวดล้อมในการทดลองวิจัยแบบที่ 3 44
4.14 การวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 3 44
4.15 บล็อคไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัยในห้องเรียนแบบที่ 3........46
4.16 สภาพแวดล้อมในการทดลองวิจัยแบบที่ 4........47
4.17 การวัดสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 4 47
4.18 บล็อคไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัยภายในห้องเรียนแบบที่ 4........49
5.1 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณในการทดลองที่ 1 50
5.2 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน........51
5.3 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง........53
5.4 ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง........53
5.5 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง........54
5.6 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง........54
5.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศไบโคนิคอลที่ใช้ในการทดลอง........56
5.8 เฟสของสายอากาศไบโคนิคอล........56
5.9 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณของสายอากาศแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์........59
5.10 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณของสายอากาศแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์........59
5.11 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์........60
5.12 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์........60
5.13 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 1 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด........61
5.14 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 1 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด........61
5.15 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 2 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด........62
5.16 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 2 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด........62
5.17 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 3 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด........63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.18 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 3 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด...................................63

5.19 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 4 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด...................................64

5.20 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 4 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด...................................64

5.21 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด...65

5.22 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด..65

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude-Shift Keying)	ASK
หน่วยงานวิจัยชั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency)	DARPA
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
คณะกรรมาธิการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	FD
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	GPIB
ระบบบอกตำแหน่ง (Global Positioning Systems)	GPS
สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
ฟูริเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
เส้นบอกระดับแนวสายตา (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
แถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band)	UWB
กลุ่มทำงานโครงข่ายแบบเวคเตอร์แถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band Working Group)	UWBWG
เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ (Vector Network Analyzer)	VNA
โครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless Personal Area Network)	WPAN

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

แอมแปร์ (Ampere)	A
เดซิเบล (Decibel)	dB
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
เมตร (meter)	m
วินาที (Second)	s
นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
วัตต์ (Watt)	W
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	mW
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	B_f
ความเร็วแสง (Velocity of light), $c = f\lambda = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0} \approx 3\times10^8, m/s$	c
ระยะทาง (distance)	d
ความถี่ (Frequency)	f
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	f_L
อัตราขยายของสายอากาศรับ (Receiver gain)	G_R
อัตราขยายของสายอากาศส่ง (transmitter gain)	G_T
ฟังก์ชันการถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function)	$H(\omega)$
จำนวนความถี่ (Sampling number)	N_{smp}
กำลังงานที่รับได้ (Receive power)	P_R
กำลังงานที่ส่ง (Transmitt power)	P_T
เครื่องรับ (Receiver)	Rx
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient)	s_{21}
เวลา (Time)	t
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation constant), $Np\cdot m^{-1}$ หรือ $dB\cdot m^{-1}$	α

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ความยาวคลื่น (Wavelength), m	λ
สภาพยอมสัมผัส (Permittivity), $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r, Fm^{-1}$	ε
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	ε_r
สภาพยอมของอวกาศว่าง (Permittivity of free space), $\varepsilon_0 \approx 1/36\pi \times 10^{-9}, Fm^{-1}$	ε_0
ความซึมซาบได้ (Permeability), $\mu = \mu_0 \mu_r, Hm^{-1}$	μ
ความซึมซาบได้ของอวกาศว่าง (Permeability of free space), $\mu_0 \approx 400\pi \times 10^{-9}, Hm^{-1}$	μ_0
ความซึมซาบได้สัมพัทธ์ (Relative permeability)	μ_r
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s	$\bar{\tau}$
ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread), s	σ_τ
ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	$\rho(d)$

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร และคอมพิวเตอร์ซึ่งเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญกับการส่งผ่านข้อมูลข่าวสาร ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น แต่เนื่องจากการส่งข้อมูลข่าวสารแบบโครงข่าย (Network) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่รับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายในปัจจุบันยังมีความเร็วที่ต่ำมากทำให้การส่งข้อมูลเป็นไปได้ช้าและเสียเวลาเป็นอย่างมากก่อให้เกิดปัญหาตามมา

เทคโนโลยีแบบไร้สายก็ได้เข้ามามีบทบาทในวงการสื่อสารมากขึ้นเช่นกันเพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ภายในสำนักงานหรือแม้กระทั่งภายในบ้าน ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารไร้สายแบบระยะสั้น ที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงเพื่อรองรับระบบมัลติมีเดีย ซึ่งความต้องการเหล่านี้ได้ถูกนำไปพิจารณาเพื่อหาเทคโนโลยีที่สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้และมีแนวโน้มว่าจะมีการนำเอาเทคโนโลยีแบบไร้สายที่เรียกว่าระบบแถบกว้างยิ่ง เข้ามาใช้งาน โดยแนวโน้มที่ผลักดันให้มีการนำระบบสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งเข้ามาใช้งาน ก็คือ

1. ความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับการสื่อสารข้อมูลไร้สายในอุปกรณ์แบบพกพา ที่มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้นแต่มีราคาที่ถูกลง และมีการใช้กำลังงานที่ต่ำ
2. เกิดความคับคั่งของการใช้งานสเปกตรัมความถี่ที่มีการจัดสรรให้ไป
3. วิวัฒนาการและความต้องการของการใช้งานอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงในหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ รวมถึง บ้านพักอาศัย และตามสถานที่สาธารณะต่าง ๆ
4. ราคาที่ลดต่ำลงของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ รวมทั้งการใช้กำลังงานที่น้อยลงของอุปกรณ์ในการประมวลผลสัญญาณ

ระบบการสื่อสารไร้สายได้มีการนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารหรือระหว่างโครงข่ายด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเฉพาะที่ (Wireless Local Area Network : WLAN) การเชื่อมต่อโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สาย (Wireless Personal Area Network : WPAN) การเชื่อมต่อโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Body Area Network : WBAN) การเชื่อมต่อภายในอาคารสำนักงาน และการเชื่อมต่อโครงข่ายเพื่อความบันเทิงภายในที่พักอาศัยที่ เป็นเช่นนี้เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ 5 ประการคือ

1.จำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้

2. อัตราเร็วในการส่งข้อมูล

3. จำนวนของผู้ใช้ในระบบ

4. ระยะทางที่สามารถส่งได้

5. ความสามารถในการทำงานร่วมกัน

ซึ่งในปัจจุบันระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบหลายสื่อได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นซึ่งระบบการสื่อสารแบบนี้มีความต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลสูงและมีความต้องการการส่งข้อมูลในปริมาณที่มากจึงทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สายให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ที่ใช้งานนั่นคือ เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบอื่น ๆ ตรงที่สามารถสอดคล้องกับแนวโน้มที่เกิดขึ้นข้างต้นได้ดีกว่า โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งคือสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนวิดท์ (Fractional bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 เมกะเฮิร์ต[1] ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ด้วยเหตุนี้ในอนาคตอันใกล้จะถูกนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งระยะใกล้กำหนดตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a[2] โดยจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ อาทิเช่น กล้องถ่ายรูปดิจิตอล กล้องถ่ายวิดีโอ วีดีโอโปรเจคเตอร์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ฯลฯ ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง

เนื่องด้วยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้จะถูกนำมาใช้ในการสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation)โดยปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคารจากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงหรือแม้กระทั่งเกิดลักษณะของการจางหายแบบหลายวิถี (Multipath fading หรือ Small-scale fading) [3] อันเนื่องมาจากการที่สิ่งกีดขวางต่างๆ รอบข้างส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง เป็นต้น ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ แต่ยังมีปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นั่นก็คือ การบดบังและการเปิดและปิดตัวเครื่องคอมพิวเตอร์

ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงคุณภาพของช่องสัญญาณด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer : PC) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จะถูกพัฒนานำเข้ามาใช้ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การนำเอาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยหาคุณลักษณะช่องสัญญาณและอัตราขยายการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง ในกรณีตัวเครื่องคอมพิวเตอร์โดยได้พิจารณาที่สายอากาศรับส่งติดอยู่กับตัวเครื่องคอมพิวเตอร์และผลจากการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณทางด้านรับ นับว่าเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลถึงคุณภาพของช่องสัญญาณและคุณสมบัติของสายอากาศด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณในการปรับปรุงด้านการรับให้ดียิ่งขึ้นตามความต้องการของผู้ใช้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้พิจารณาที่สายอากาศรับส่งติดอยู่กับตัวเครื่องคอมพิวเตอร์และผลจากการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วไปกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศทางด้านรับ สายอากาศทางด้านส่งและสัญญาณการส่งผ่าน ในหลักการศึกษาและวิเคราะห์จะอยู่บนพื้นฐานการทดลองวัดตลอดช่วงแบนด์วิดท์ช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์เป็นเครื่องมือหลักในการวิจัย ซึ่งได้นำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบการส่งผ่านสัญญาณของฟรีส เพื่อพัฒนาโครงข่ายคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารแบบไร้สายระยะสั้นโดยใช้โครงข่ายแบบแถบกว้างยิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานในการศึกษาจะได้ทำการพิจารณาทฤษฎีและหลักการในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ และได้ออกแบบรูปแบบสำหรับการทดลองวิจัยวัด-ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศและช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้กำหนดรูปแบบการวัดเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องแล้วทำการวัด ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านรับ เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านรับ และเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านแล้วทำการวัด และในส่วนที่สองนำเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะมาต่อกันเป็นโครงข่ายแล้วทำการเปิด-ปิดคอมพิวเตอร์จากนั้นก็ทำการวัด ซึ่งจะพิจารณาบนพื้นฐานของการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์โดยได้ใช้สายอากาศแบบแถบกว้างที่มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omni-directional) และได้ทำการวัดสัญญาณการส่งผ่านตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 Ghz ถึง 11 GHz ซึ่งได้ครอบคลุมช่วง

ความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสาร คือตั้งแต่ 3.1 – 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission : FCC) [2] ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณการส่งผ่าน ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค (Relative gain) ข้อมูลการประวิงกำลัง (Power delay profile) ค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate) และค่าของความสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยทั่วไป ในการสูญเสียในอากาศว่างจะพิจารณาใช้สมการฟรีส แต่สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการส่งสัญญาณแบบพัลส์ จึงไม่สามารถส่งสัญญาณในรูปแบบทางความถี่ได้ จึงได้ทำการส่งสัญญาณในรูปแบบสัญญาณทางเวลา แต่ยังไม่สามารถนำสูตรฟรีสมาใช้ได้เลย จึงทำการ Extension Friis โดยเพิ่มสัญญาณเข้าไป และสัญญาณแถบกว้างยิ่งมีรูปแบบสัญญาณใกล้สัญญาณรบกวนมาก จึงได้นำแมตช์ฟิวเตอร์มาปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้านรับหรืออัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio; SNR) ให้ค่า SNR สูง เพื่อให้สัญญาณดี ดังนั้นจากทฤษฎีทั้งหมดจึงได้นำมาใช้ในการทดลองวัดในกรณีที่มีตัวเครื่องคอมพิวเตอร์มาติดกับสายอากาศทางด้านรับและสายอากาศทางด้านส่งแล้วทำการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ว่าไปมีผลกระทบต่ออัตราการขยายการส่งผ่านสัญญาณทางสายอากาศอย่างไร ซึ่งเป็นวิธีที่จะพิจารณาสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้

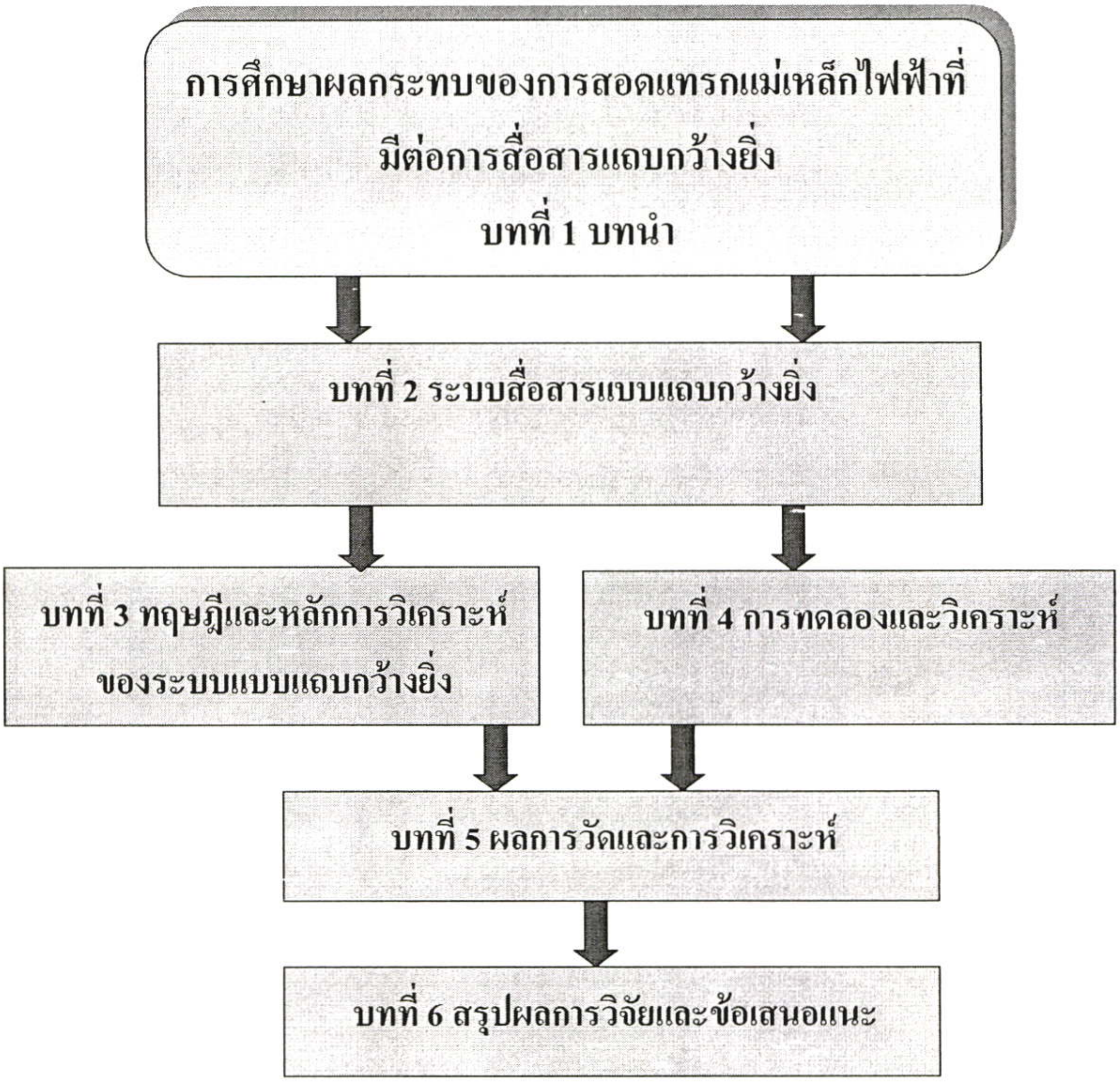
1.5 ขอบเขตการศึกษา

เนื่องด้วยเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากและส่งสัญญาณแบบพัลส์จึงได้ทำการศึกษาผลจากการถูกบดบังสัญญาณและการเปิดและปิดตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่ต่อกันเป็นโครงข่ายที่มีผลต่อการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยการวัดภายในอาคาร ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองวิจัยวัดจะนำมาวิเคราะห์หาในรูปแบบพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะพิจารณาหาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของช่องสัญญาณและสายอากาศ เกณฑ์การส่งผ่านสัญญาณ อัตราความผิดพลาดบิต อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิคและค่าของความสูญเสียเชิงวิถี

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์ดังนี้ เริ่มจากศึกษาถึงขั้นตอนในการวัดเก็บค่าช่องสัญญาณ อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้และรูปแบบวิธีการวัดโดยยึดหลักตามลักษณะการนำไปใช้งานจริง จากนั้นจึงทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่

เกี่ยวข้องที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ อันประกอบไปด้วย หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณการส่งผ่าน ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิก (Relative gain) ข้อมูลการประวิงกำลัง (Power delay profile) ค่าอัตราความผิดพลาดบิต (Bit error rate) และค่าของความสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ



รูปที่ 1.1ขั้นตอนในการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 2
ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

UWB เป็นลักษณะหนึ่งของคลื่นวิทยุที่มีแบนวิดท์ (Bandwidth) ของสเปกตรัมมากกว่า 25% ของความถี่ศูนย์กลางที่ใช้หรือมี แบนวิดท์ มากกว่า 500 MHz

UWB ใช้วิธีสร้างพัลส์ที่มีช่วงความถี่สั้นมากซึ่งจะเป็นตัวนำข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ โดยความถี่ที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3.1GHz ถึง10.6 GHz และมีความกว้างพัลส์ประมาณ 50-100 ps ซึ่งพัลส์ที่มีช่วงแคบจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีขนาดกว้างและมีความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังที่ต่ำเมื่อใช้อัตราความเร็วของการสื่อสารที่พอเหมาะด้วยเหตุนี้จึงไม่เกิดการรบกวนกับระบบอื่นๆที่ใช้ย่านความถี่นั้นๆ อัตราเร็วของพัลส์นั้นจะถูกกำหนดโดยปัจจัยอื่นต่างๆในการประยุกต์ใช้งานต่างๆ นั้นแต่ละพัลส์จะมีข้อมูลอยู่ 1 บิต ในส่วนของอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะมีมากถึง 500 Mb/s โดยที่เครื่องส่งยังมีค่า Duty cycle ที่ต่ำอยู่จึงทำให้เครื่องส่งสามารถทำงานในเวลาและบริเวณเดียวกันได้โดยเกิดการรบกวนในระดับที่ยอมรับได้

พัลส์ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นในโดยทั่วไปจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ขึ้นมา อันดับแรกคือสเปกตรัมที่ใช้งานนั้นจะมีความกว้างมากและค่าสูงสุดของความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมของกำลังอาจจะไปรบกวนกับระบบที่ใช้แบนด์แคบได้

ปัญหาต่อมาคือสัญญาณที่มาจากเครื่องส่งหลายตัวนั้นอาจเกิดการซ้อนทับหรือหักล้างกันได้ที่เครื่องรับดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาทั้งสองอย่างนี้ Pseudo random time hopping จึงได้ทำมาใช้

เทคโนโลยี UWB เป็นที่รู้จักกันดีในด้านการใช้งานทางการสื่อสารและเรดาร์เนื่องจากการมีความต้านทานต่อผลกระทบจากคลื่นหลายวิถี (Multipart), มีค่าทรูพุท (Throughput) สูง, มีความแม่นยำในด้านระยะทาง นอกจากนี้มีโอกาสน้อยที่จะถูกขวางกั้นและตรวจจับได้ (Low probability of intercept and detection, PLI/D)

2.2 ประวัติของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

จุดกำเนิดของ UWB ได้เกิดมาจากการทำงานในไทม์โดเมน (Time domain) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เริ่มขึ้นในปี 1962 เพื่อใช้อธิบายคุณสมบัติของเครือข่ายไมโครเวฟ ผ่านทางคุณลักษณะพิเศษในการตอบสนองกับอิมพัลส์ ซึ่งมีหลักการที่ง่ายระบบไทม์อินวาเรียน(time-invariant)(LTI) เป็นระบบที่จะขจัดค่าเฉลี่ยปกติของขอบเขตของการตอบสนองความถี่ (แอมปลิจูดและการวัดเฟสต่อความถี่) ระบบ LTI ได้ให้ทางเลือกใหม่ในการอธิบายโดยใช้การตอบสนองต่อ

การกระตุ้น โดยอิมพัลส์ เรียกว่า impulse response h(t) โดยรายละเอียดของ เอาท์พุท y(t) (output) เช่นนั้นแล้วระบบ อินพุท x(t) (input) จะทำการตัดสินโดยใช้หลักการของ convolution integral ดังสมการ

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u)x(t-u)du \tag{2.1}$$

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาขึ้นของเทคนิคสำหรับเครื่องกำเนิดพัลส์สัญญาณ sub nanosecond (base band) เพื่อสร้างการกระตุ้นอิมพัลส์ (impulse) โดยปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้สารถทำการวัด และตรวจสอบค่าของการตอบสนองต่ออิมพัลส์ในระบบไมโครเวฟได้

เทคนิคในการวัดค่าอิมพัลส์ได้ถูกประยุกต์มาเพื่อที่จะออกแบบ Wideband เครื่องมือของเสาอากาศที่ใช้ในการกระจายสัญญาณ เป็นสาเหตุที่ทำให้พัลส์เรดาร์ (pulse radar) และระบบการติดต่อสื่อสารสามารถพัฒนาได้ด้วยอุปกรณ์ชุดเดียวกัน ขณะที่ Sperry Research Center ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์วิจัยสเปอรี่ (Sperry Rand Corporation Ross) ได้ทำการประยุกต์เทคนิคเหล่านี้ลงในโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ภายในเรดาร์และการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการประดิษฐ์เครื่องรับพัลส์ที่มีขนาดแคบและมีความสูงนี้ได้ช่วยส่งเสริมให้ระบบมีการพัฒนาที่รวดเร็วยิ่งขึ้นจากนั้นในปี1973 ศูนย์วิจัยสเปอรี่ ก็ได้รับการตัดสินให้เป็นผู้จดสิทธิบัตรการสื่อสารแบบ Ultra Wideband เป็นรายแรก

ในช่วงปลายศตวรรษที่ 80 เทคโนโลยีนี้ได้รับการอ้างอิงในนามของ "เบสแบนด์ (Base band)", "carrier-free" หรือ "อิมพัลส์" ส่วนคำว่า Ultra Wideband นั้นที่จริงแล้วพึ่งเริ่มมีการใช้เมื่อประมาณปี 1989 โดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา ซึ่งในช่วงระยะเวลานั้น ทฤษฎี, เทคนิคและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับ UWBได้มีการพัฒนาไปอย่างมากแล้ว โดยในปี 1983 ศูนย์วิจัยสเปอรี่ได้จดสิทธิบัตรไปแล้วมากกว่า 50 ใบ ในขอบเขตที่ครอบคลุมไปถึงการสร้างพัลส์และและวิธีการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การติดต่อสื่อสาร, เรดาร์, ระบบกันชนรถยนต์, ระบบค้นหาตำแหน่ง และการวัดความสูงของของเหลว เป็นต้น

ในปัจจุบันนี้ มีสิทธิบัตรจำนวนมากกว่า 100 ฉบับ, รายงานการวิจัยต่าง ๆ หนังสือและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีของ UWB ไว้มากมาย ซึ่งถูกรวบรวมไว้โดย ดร.โรเบิร์ต เฟลมมิ่ง (Dr. Robert Fleming) ของบริษัท AEther Wire & Location, Inc. โดยสามารถค้นหาข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บไซต์ ซึ่งจะมีทั้งบทคัดย่อต่าง ๆ โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลการวิจัยต่าง ๆ ไว้จำนวนมากที่เกี่ยวกับเทคโนโลยี UWB ย้อนหลังไปในช่วง 38 ปีที่ผ่านมา

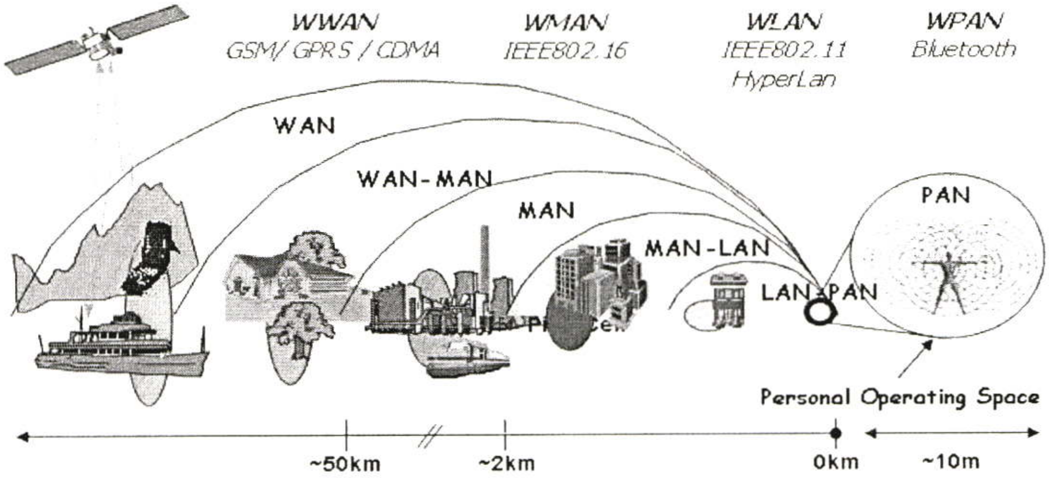
จากการตระหนักถึงความสำคัญของ Low probability of Intercept and Detection (LPI/D) ของระบบ สื่อสาร รอส (Ross) จึงได้ร่วมมือกับ โรเบิร์ต ฟอนตานา (Robert Fontana)(ประธานของ

MSSI) พัฒนา LPI/D ขึ้นโดยได้รับเงินทุนจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกาในปี 1986 และโครงการนี้ได้สิ้นสุดลงในปี 1987 แต่ รอสและฟอนตานาก็ยังคงทำงานวิจัยเรื่องระบบการสื่อสารและเรดาร์ต่อไปอีกเป็นเวลากว่า 11 ปี ในสหรัฐอเมริกาช่วงก่อนปี 1994 งานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ UWB โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสาร โดยใช้อิมพัลส์จะถูกดำเนินการภายใต้การควบคุมของรัฐบาล แต่หลังจากนั้นก็ได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ปฏิบัติโดยปราศจากข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้การพัฒนาเทคโนโลยี UWB นั้นเป็นไปอย่างแพร่หลายและมีความรวดเร็วมาก

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิทช์ตัดต่อความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบ แถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนวิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไว้ ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนวิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งใช้แถบความถี่ที่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งไว้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz [1] ซึ่งจากการที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบ แถบกว้างยิ่งได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่างๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการสอดแทรกแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อการสื่อสารแถบกว้างยิ่งจากการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.3 ระบบโครงข่ายแบบต่างๆ

การหาเส้นทางเดินของข้อมูลบนระบบเครือข่ายจะถูกกำหนดขึ้นมาโดยประเภทของเครือข่าย และซอฟแวร์ที่นำมาใช้ควบคุม ซึ่งจะต้องมีโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทาง routing (การค้นหาเส้นทาง) ซึ่งการค้นหาเส้นทางนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การค้นหาที่ โหนด ศูนย์กลาง และการค้นหาที่ตัว โหนด เอง ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลเส้นทางจะถูกเก็บไว้ในตารางเส้นทาง ซึ่งจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับที่อยู่ และเส้นทางที่จะไป โหนด นั้น ๆ รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ เช่น เส้นทางที่เลือกในกรณีที่เส้นทางหลักใช้งานไม่ได้ ความเร็วในการส่งข้อมูลของเส้นเชื่อม (Path) ระหว่าง โหนด ต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 ลักษณะของระบบโครงข่ายไร้สายแบบต่างๆ

ในการค้นหาจาก โหนด ศูนย์กลาง (Centralized routing) จะกำหนดให้ โหนด หนึ่งทำหน้าที่ ในการเลือกเส้นทางการเดินข้อมูล (ทำหน้าที่เป็น Network routing manager) และสำหรับ โหนด ที่เหลือจะรายงานข่าวเกี่ยวกับสถานการณ์ทำงานตนของตัวเองเช่น ปริมาณข้อมูลที่รับมา ปริมาณข้อมูล ที่ส่งออก เป็นระยะ ๆ ดังนั้นจึงทำให้ โหนด ศูนย์กลางนั้นทราบว่าส่วนใดในระบบฯ มีการใช้งานมากเกิน หรือน้อยเกินไปหรือเปล่า สำหรับข้อเสียของวิธีนี้อยู่ตรงที่ถ้าตำแหน่ง (สถานที่ ๆ ติดตั้งใช้งานจริง) ของ โหนด ศูนย์กลางไม่อยู่ตรงกลางระบบแล้ว ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทาง และสถานการณ์ทำงาน ที่อยู่อีกฟากหนึ่ง จะต้องใช้เวลาพอสมควรในการรายงานผล ซึ่งระยะเวลาที่ช้าเกินไปนี้ทำให้ข้อมูล ในตารางเส้นทางไม่ สอดคล้อง กับความจริงที่เกิดขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของระบบฯ จะลดลง และอีกอย่างถ้า โหนด ศูนย์กลางเสีย หรือใช้งานไม่ได้ โหนด อื่นในระบบฯ จะไม่สามารถค้นหาเส้นทางได้

สำหรับอีกวิธีหนึ่งคือ การค้นหาเส้นทางที่ตัว โหนด เอง (Distributed Routing) จะมีการกำหนด ให้แต่ละ โหนด จัดการเก็บตารางเส้นทางไว้เสียที่ตัวเอง ซึ่งแต่ละ โหนด นั้นมีหน้าที่ส่งข้อมูล สถานการณ์ทำงานแบบเดียวกับวิธีศูนย์กลาง ไปยัง โหนด ข้างเคียงของตัวเองทุก โหนด เนื่องจากจำนวน โหนด ข้างเคียงนั้นมีจำนวนอยู่ไม่มากนักทำให้แต่ละ โหนด สามารถปรับปรุงข้อมูล ให้มีความทันสมัยได้ อยู่ตลอดเวลา ประกอบกับเวลาเกิดปัญหาก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการค้นหาเส้นทางของ โหนด อื่น

นอกจากในการค้นหาเส้นทางเดินของข้อมูลแล้วนั้นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการต่อเชื่อมระบบเครือข่ายซึ่งมีอยู่สิ่งหนึ่งที่ถือว่าจำเป็นสำหรับการกำหนดประเภทของระบบเครือข่ายคือ การพิจารณาระบบทางการ สื่อสารระหว่างผู้ส่ง และผู้รับข้อมูล ซึ่งจะแบ่งได้ออกเป็นหลายประเภทดังนี้

2.3.1 LAN : Local Area Network หมายถึงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เป็นของกลุ่มผู้ใช้เล็ก ๆ กลุ่มหนึ่ง ปกติแล้วจะเป็นเครือข่ายที่มีขอบเขตอยู่ภายในอาคารเดียวกัน หรือกลุ่มอาคารที่ติดกัน สำหรับระยะทางน่าจะไม่เกิน 2-3 กิโลเมตร สำหรับ LAN นั้นจะถูกจำกัดด้วยขนาด ซึ่งก็คือจำนวน เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันนั้นจะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลล่วงหน้า และใกล้เคียง กับความจริงมาก สำหรับ Topology ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลนั้นโดยปกติจะเป็นเพียงสายเคเบิลเพียงเส้นเดียว ซึ่งจะเชื่อมต่อระบบเข้าไว้ด้วยกัน มีความเร็วอยู่ที่ 10 Mbps หรือ 100 Mbps

2.3.2 MAN : Metropolitan Area Network โดยพื้นฐานแล้ว MAN จะมีลักษณะคล้ายกันกลับ LAN เพียงแต่ต่างกันที่ว่ามีขนาดใหญ่กว่าเท่านั้นเอง ซึ่งการต่อเชื่อมระบบแบบวิธีนี้อาจจะเชื่อมต่อการสื่อสาร ของสาขาหลาย ๆ แหล่งที่อยู่ภายในเขตเมืองเดียงกัน หรืออาจจะครอบคลุมหลายเมืองที่อยู่ใกล้กัน ทั้งนี้ระบบ MAN มีขีดความสามารถในการให้บริการรับส่งข้อมูล และโทรศัพท์ไปพร้อมกันได้ ด้วยระบบนี้จะมีสาย Cable เพียงหนึ่งหรือ สองเส้นโดยไม่มีอุปกรณ์สลับช่องสื่อสาร ซึ่งทำหน้าที่คอยเก็บสัญญาณไว้ภายในหรือ ปล่อย สัญญาณออกไปสู่ระบบอื่นโดยการส่งข้อมูลนั้น Bus แต่ละเส้นจะทำหน้าที่รับส่ง ข้อมูลไปทางทิศ เดียวเท่านั้น

2.3.3 WAN : Wide Area Network ระบบเครือข่ายวิธีนี้เป็นการขยายเขตการเชื่อมต่อครอบคลุมไป ที่พื้นที่ระดับภูมิภาค เช่น ครอบคลุมทั้งภายเหนือของประเทศไทย แต่อาจจะหมายถึงบริเวณที่กว้างกว่านี้ก็ได้ เช่น เขตพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทั้งหมดก็ได้ ระบบนี้จะถูกควบคุมและ บริการโดยคอมพิวเตอร์หลัก ที่เรียกว่า Host ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับ Subnet (เครือข่ายย่อย) ทั้งหมด และให้บริการรับส่งข้อมูลระหว่าง Host ต่าง ๆ ในระบบ WAN นี้จะประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 อย่างคือ สายส่งผ่าน (Transmission lines) ซึ่งใช้เป็นสื่อในการส่งสัญญาณจากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และอีกอย่างคืออุปกรณ์ สลับช่อง สื่อสาร (Switching elements) จะทำหน้าที่เสมือนกับอุปกรณ์ สลับช่องสื่อสาร ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์ นั้นเอง

2.3.4 PAN : Personal Area Network ระบบเครือข่ายนี้เป็น " เครือข่ายเฉพาะบุคคล " มีหลักการ ทำงานคือ ผู้ใช้เพียงพกอุปกรณ์รบส่งสัญญาณพิเศษขนาดเล็กไว้กับตัวก็สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้เลย ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะส่งกระแสไฟฟ้าขนาดอ่านมาก ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิด Electric Fields (สนามไฟฟ้า) สำหรับความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นอาจจะเร็วได้ถึง 2400 Bps ซึ่งระบบเครือข่าย PAN นี้เป็นต้นกำเนิด ให้เกิดการนำเอาไปประยุกต์ใช้มากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ Pocket PC เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์พวกนี้ จะใช้วิธีการสื่อสารที่เรียกว่า WPAN (Wireless Personal Area Network) ซึ่งถือเป็นแขนงหนึ่งของ PAN โดยหลักการทำงานแทนที่จะใช้ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในร่างกายเราเป็นสื่อ ในการรับส่งข้อมูล ก็เปลี่ยนไปใช้คลื่นวิทยุที่มีระยะทำการสั้นแทน บางครั้งเราอาจจะรู้จัก WPAN ในชื่อของบลูทูธ (Bluetooth เป็นตัวอย่างเทคโนโลยีที่ใช้ WPAN) ซึ่ง WPAN มีระยะทำการ 1 เมตรถึง 10 เมตร และมีความเร็วไม่เกิน 1 Mbps

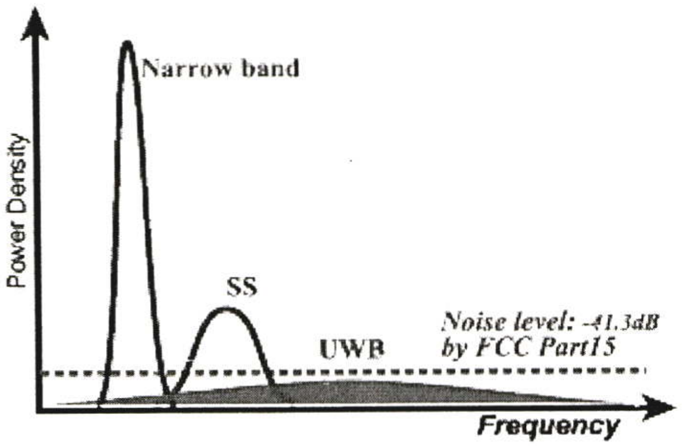
2.3.5 Wierless LAN เครื่องคอมพิวเตอร์ขนดเล็กไม่ว่าจะเป็น Notebook หรือ Personal Digital Assistant : PDA ต่างก็ได้รับความนิยมอย่างสูง ซึ่งการติดต่อ หรือการเชื่อมต่อโดยผ่านสายโทรศัพท์ หรือเคเบิ้ลอื่น ๆ สามารถทำได้แต่ไม่มีความคล่องตัว เพียงพอเนื่องจากมีข้อจำกัด อยู่ที่ว่าต้อง ใช้สายในการสื่อสาร ดังนั้นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless communication) จึงทวีความสำคัญ ขึ้นเป็นลำดับเนื่องจากอำนวยความสะดวกสบายในการเคลื่อนย้ายจุดหรือตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ การนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาต่อเชื่อมแบบไร้สาย จะทำให้กลายเป็นระบบห้องทำงานแบบเคลื่อนที่ (Mobile computing) ซึ่งทั้งสองคำนี้มีความหมายใกล้เคียงกันมาก แต่ต่างกันตรงที่ Wireless นั้น ใช้แทนเครือข่ายสายในอาคาร และสำหรับ Mobile นั้นไม่ใช่ ถึงแม้ว่าแบบไร้สาย จะมีความ คล่องตัวแต่ยังมีจุดอ่อนอยู่ก็คือ

- อัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 1-2 Mbps ซึ่งเท่ากับ 10-20 % ของอัตรา Cable แบบแย่ที่สุด
- อัตราการเกิดข้อผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์สูง
- การส่งข้อมูลของเครื่องที่อยู่ใกล้กันจะก่อนให้เกิดการรับกวนกัน

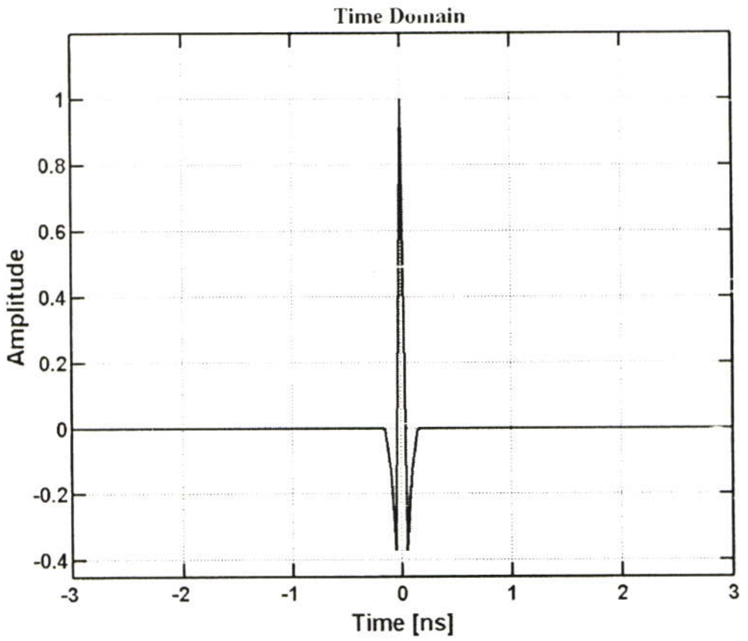
2.4 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio frequency, RF) เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด ประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้

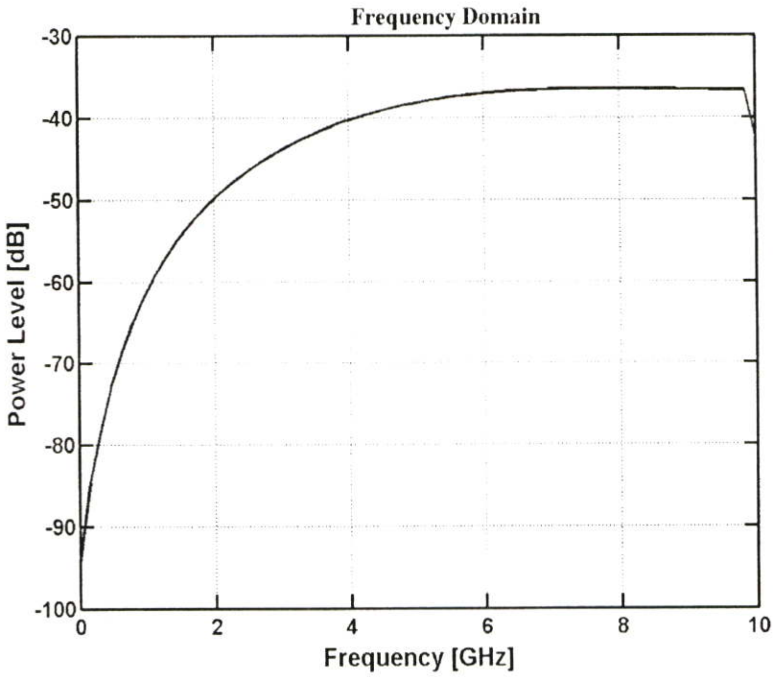
กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.3 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและรูปที่ 2.4 แสดงแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบสเปคตรัมระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานระหว่างแถบกว้างยิ่งกับแถบแคบ

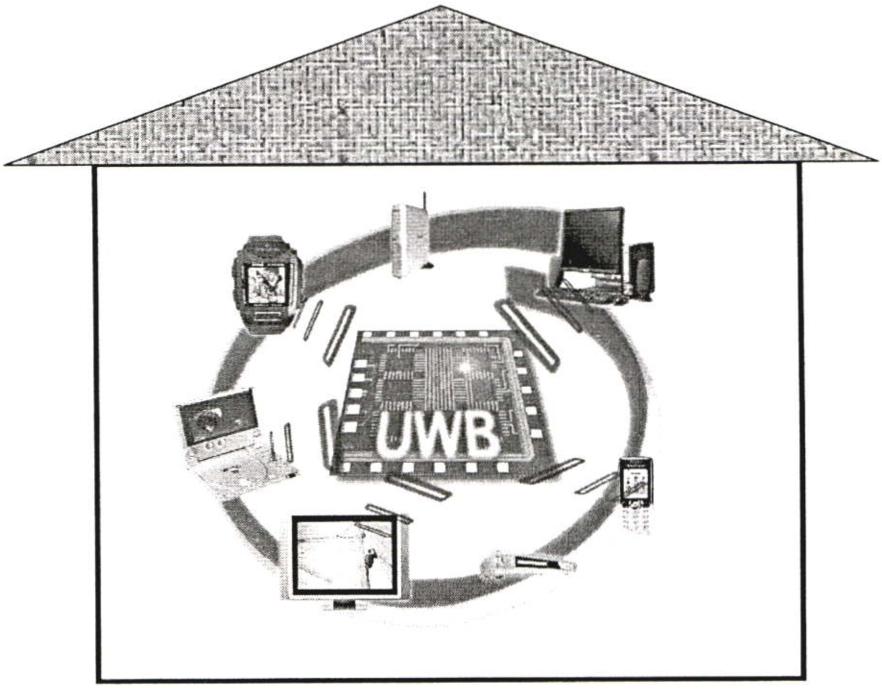


รูปที่ 2.3 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาของระบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.4 แถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi-Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่าระบบแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำกว่ารวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตรดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi-Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ในปัจจุบันนั้นระบบแถบกว้างยิ่งจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทสร้างความบันเทิงภายในบ้าน (Home Entertainment)



รูปที่ 2.5 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียร์ภายในบ้าน

2.4.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึง อิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซนูซอยด์ (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrierless) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างเร็ว (Fast frequency chirp) และ พัลส์แบบโมโน (Mono-pulse) [2] ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารอาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Baseband) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (Down-

converion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (global positioning system : GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.5 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.5.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

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

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

$$B_f = 2\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.2)$$

74607

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร EIRP in dBm	ภายนอกอาคาร 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

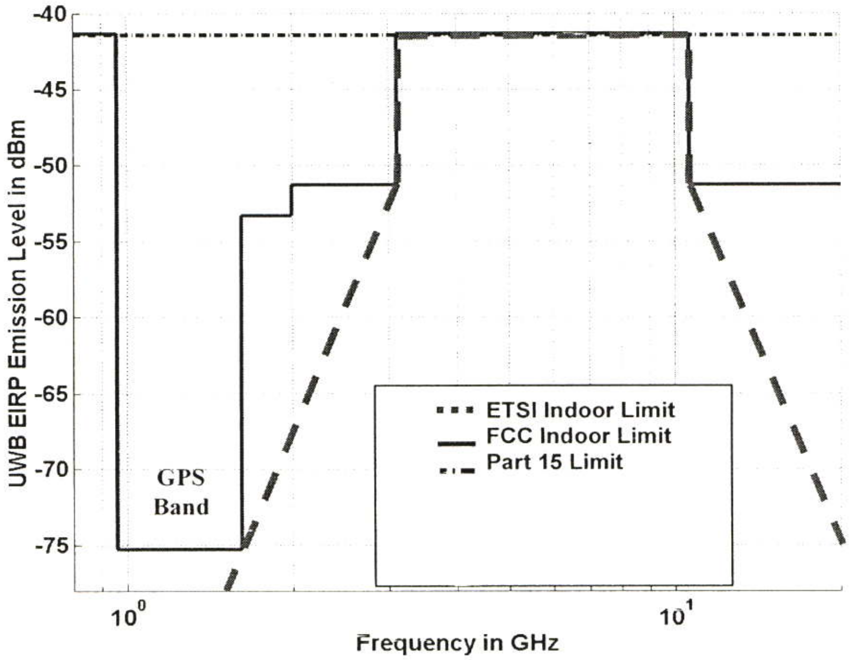
2.5.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิกที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

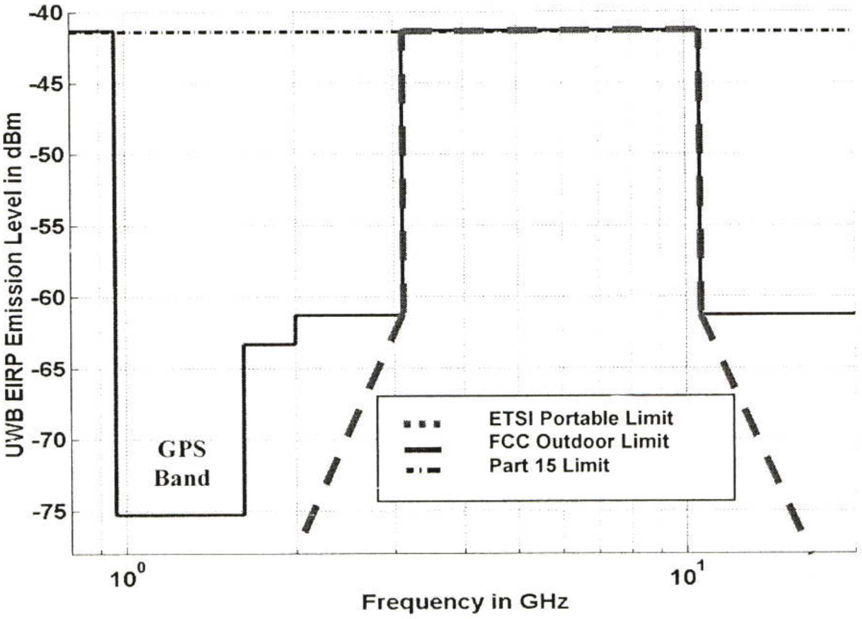
ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

โดยในรูปที่ 2.6 และ 2.7 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.6 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.7 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นต้น รวมถึงรูปแบบของสัญญาณที่จะนำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้แบ่งตามประเภทต่างๆ เช่น พัลส์แบบเกาส์ พัลส์แบบเกาส์โมโนไซเคิลและพัลส์แบบเกาส์ดับเลต เป็นต้น อีกทั้งเทคนิควิธีการมอดูเลตข้อมูลข่าวสารอันประกอบไปด้วย PAM PPM และ Bi-phase ซึ่งเป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้

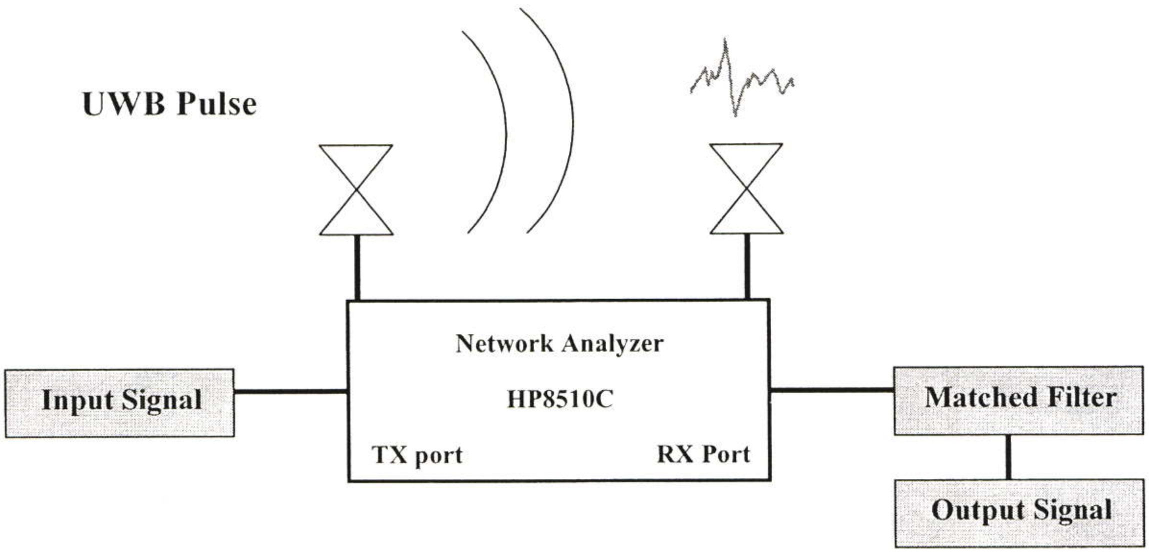
บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการจำลองช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะทำการเน้นในเรื่องของการสะท้อนและการกระจัดกระจายของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง และหลักการของฟรีส อันเป็นพื้นฐานของระบบการสื่อสารไร้สาย เพื่อที่จะศึกษาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง และจะทำการอธิบายทฤษฎีของการสะท้อนบนพื้นหรือสองวิถี และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณ เช่น ความสูญเสียเชิงวิถี ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค ข้อมูลการประวิงกำลังเป็นต้น และวิทยานิพนธ์นี้จะใช้หลักการดังกล่าวในการตรวจสอบผลที่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้ในการตรวจสอบการจำลองช่องสัญญาณ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบโดยการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ในโดเมนความถี่ โดยจะอธิบายในบทต่อไป ซึ่งจะนำผลที่ได้จากการตรวจสอบโดยการจำลองและการวัด มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดูผลการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะแสดงผลในบทที่ 4 และบทที่ 5

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

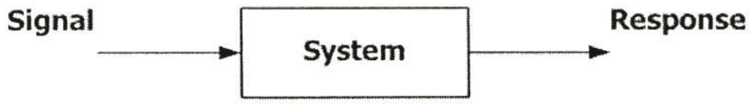
ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นในการจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่งเนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์โดยผ่านแมตช์ฟิลเตอร์เพื่อให้ค่าระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ว่าที่ค่าเป็นบิต 0 หรือ บิต 1 และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.3 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย นั้นสิ่งที่ต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุท (Input signal) ของระบบและจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุท (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อคไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 3.1 ซึ่งผลตอบสนอง ดังกล่าวนั้นจะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(f)$) ของช่องสัญญาณโดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 3.1 [6] และแสดงดังรูปที่ 3.2



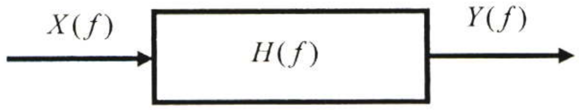
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น

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

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุทของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

3.4 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ

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

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

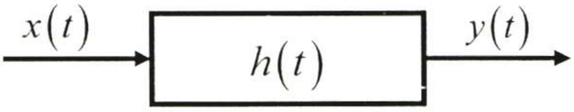
$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{3.2}$$

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

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

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ (3.3) จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า

ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุทที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนตามเวลาค่าเอาต์พุท $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุท $x(t)$ ใด ๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนเวลา

3.5 หลักการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การสะท้อน (Reflection), การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระจัดกระจาย (Scatter) เป็นกระบวนการแพร่กระจายขั้นพื้นฐาน ซึ่งมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นหรือกำลังงานในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่และพลังงานที่รับได้ โดยทั่วไปเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่สามารถคาดคะเนได้ในหลักการพื้นฐานของการแพร่กระจายบนการหลักการสะท้อน การเลี้ยวเบน และการกระจัดกระจายในทางฟิสิกส์

การสะท้อน เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้แพร่กระจายกระทบบนวัตถุที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เช่น การสะท้อนจะเกิดขึ้นจากผิวโลกหรือสะท้อนจากกำแพงอาคาร

การเลี้ยวเบน เกิดขึ้นเมื่อทิศทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างตัวส่งและตัวรับมีสิ่งกีดขวางโดยผิวของสิ่งกีดขวางนั้นมีลักษณะเป็นมุมแหลม และมีคลื่น 2 คลื่นที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยวเบนซึ่งเป็นจากผลสิ่งกีดขวางคือคลื่นที่เดินทางผ่านอวกาศและคลื่นที่เดินทางมาด้านหลังของสิ่งกีดขวาง ในความถี่ที่สูงขึ้นการเลี้ยวเบนและการสะท้อนขึ้นอยู่ลักษณะการกายภาพของวัตถุเช่นเดียวกัน ขนาด เฟสและการโพราไรซ์เซชันของคลื่นที่ตกกระทบบนจุดของการเลี้ยวเบน

3.6 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของฟรีส

ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบ UWB โดยในระบบแถบแคบ (Narrowband) โดยปกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้สูตรของฟรีส แต่ว่ามันไม่สามารถนำมาใช้ได้

โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสูตรนั้นนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยนอันเนื่องจาก คุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณอินพุทแทนด้วย $v_t(t)$ และทำการคอนโวลูชั่นสัญญาณอินพุทด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทนด้วย $h_t(t)$ ดังนี้ [4]

$$
\begin{aligned}
H_{Friis(f,d)} &= \frac{V_r(f)}{V_t(f,d)} \\
&= H_f(f,d)H_r(f)H_t(f)
\end{aligned} \tag{3.4}
$$

โดยที่ V_r คือ ตัวรับสัญญาณ

V_t คือ ตัวส่งสัญญาณ

$$
H_f(f,d) = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi df/c} \tag{3.5}
$$

โดยที่ H_f คือ ฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ (free space)

H_r คือ ฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณในการรับ

H_t คือ ฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณในการส่ง

d คือ ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับ

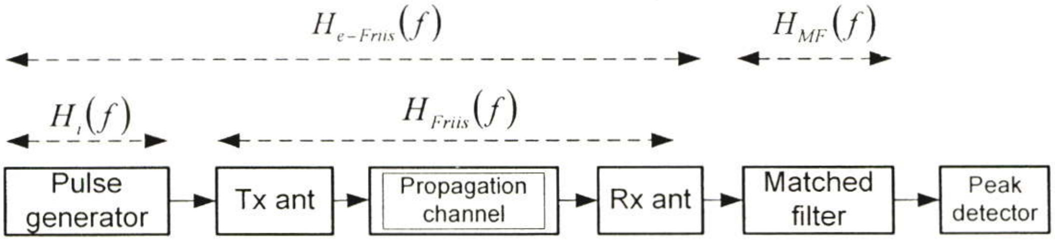
$$
v_r(t,d) = v_t(t) \otimes h_{Friis}(t,d) \tag{3.6}
$$

โดยที่ $v_t(t)$ คือ รูปแบบสัญญาณทางด้านส่ง

$\otimes$ คือ คอนโวลูชั่น

$$
h_{Friis}(t,d) = F^{-1}\{H_{Friis}(f,d)\} \tag{3.7}
$$

โดยที่ $F^{-1}\{\ \}$ คือ อินเวอร์สฟูเรียทรานสฟอร์ม

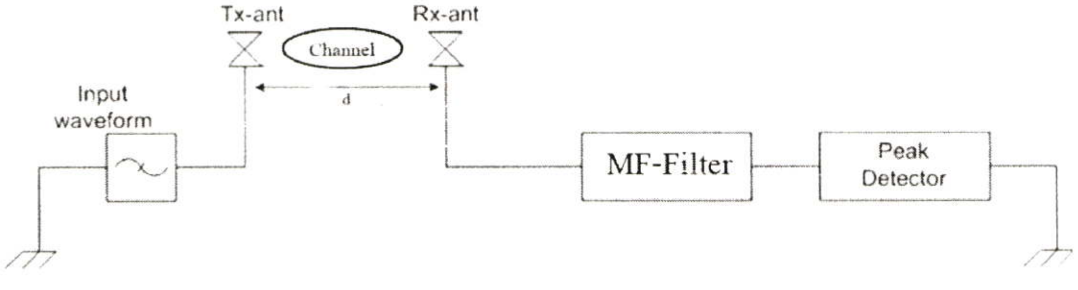


รูปที่3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีส และเพิ่มแมตช์ฟิวเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

3.7 แมตช์ฟิลเตอร์ (Matched filter)

ในสัญญาณด้านรับมีการนำเอาวงจรกรองแมตช์มาใช้ในปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้านรับหรืออัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio; SNR) โดยดูจากบล็อคไดอะแกรมจะอยู่หลังจากสายอากาศด้านรับ โดยเป็นการกรองความถี่โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นการกรองความถี่แบบลิเนียร์ (Linear filter) คำนวณในโดเมนของความถี่ซึ่งส่วนของการกรองความถี่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อค่าสัญญาณรบกวนมีค่าสุดนั้นจะช่วยให้คุณภาพของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ดีขึ้น

วงจรกรองแมตช์ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ สามารถหาคำนวณได้สมการที่ 3.8



รูปที่ 3.6 บล๊อกไดอะแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ

โดย H_f นั้นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ $\mathbf{H}_r$ และ $\mathbf{H}_t$ เป็นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านรับและด้านส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นได้ใช้สมการแมตช์ฟิลเตอร์ในการนำมาวิเคราะห์กับ $H_{Friis}(f)$ เพื่อในการถูกนำมาหาค่าสูงสุดของ

สัญญาณเอาท์พุตทางด้านรับโดยสมการแมตช์ฟิลเตอร์ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ สามารถหาคำนวณได้จากสมการที่ 3.8

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}\,H^*_{e-Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df}} \tag{3.8}$$

และสำหรับแมตช์ฟิลเตอร์ในกรณีสมการไอโซโทรปิค (Isotropic)

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}\,H^*_{e-Friis,Iso}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis,Iso}(f)\right|^2 df}} \tag{3.9}$$

ซึ่งจากสมการที่ได้ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ดังสมการต่อไปนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{MF}(f)\right|^2 df = 2f_b \tag{3.10}$$

โดยในกรณีนี้รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้มาจากแมตช์ฟิลเตอร์ $v_{MF}(t)$ จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) \otimes h_{MF}(t) \\ &= \frac{\sqrt{2f_b}\,h_{e-Friis}(t) \otimes h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{e-Friis}(t)dt}} \end{aligned} \tag{3.11}$$

และสำหรับในกรณี ไอโซโทรปิค(Isotropic)

$$\begin{aligned} v_{MF,Iso}(t) &= h_{e-Friis}(t) \otimes h_{MF,Iso}(t) \\ &= \frac{\sqrt{2f_b}\,h_{e-Friis,Iso}(t) \otimes h_{e-Friis,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{e-Friis,Iso}(t)dt}} \end{aligned} \tag{3.12}$$

สำหรับสเป็กตรัมของเอาท์พุตที่มาจากแมตช์ฟิลเตอร์ $V_{MF}(f)$ คือ

$$V_{MF}(f) = H_{e-Friis}(f)H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}\,H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df}} \tag{3.13}$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\max_t v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f)df = \sqrt{2f_b\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df} \tag{3.14}$$

อัตราการขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 3.15 สำหรับกรณีโดยทั่วไปที่มีการใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) นั้นโดยที่กำหนดให้ $H_{Iso}(f)=1$ ดังนั้นค่าความสัมพันธ์ของอัตราการขยายในการส่งในย่านแถบความถี่กว้างยิ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \max_t v_{MF}(t) \Big/ \max_t v_{MF,Iso}(t) \tag{3.15}$$

3.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ (Raw data) นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้โดยในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

3.8.1 การสูญเสียเชิงวิถี(Path Loss)

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ(PL) เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณ โดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 3.16

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

โดยที่

v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารนั้น เราได้พิจารณาที่ตัวกำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ โดยมีระยะห่างระหว่างจุดส่งและจุดรับเท่ากับ 1 เมตร ซึ่งสามารถนิยามได้ตามสมการดังนี้ [6]
ไปตามสมการที่ 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 3.18 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังสมการข้างล่าง

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

โดยที่

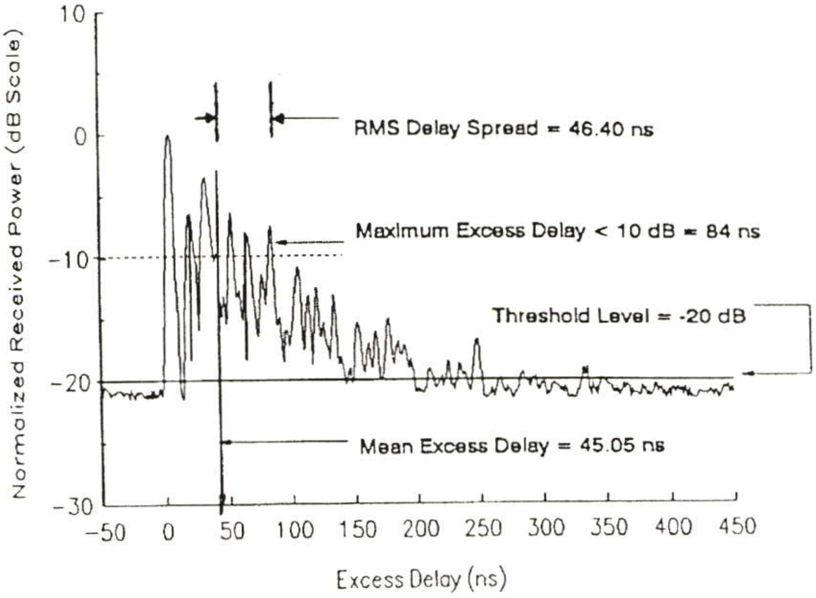
$v_t(t)$ คือ ค่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณที่ส่ง

$v_r(t)$ คือ ค่าแอมปลิจูดสูงสุดของสัญญาณที่รับ

3.8.2 การประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP)

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

ค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนของสัญญาณในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (RMS dealy spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

สำหรับค่าการแจกแจงกำลังงานนั้นจะมีนิยามคือ

$$P(\tau) = \frac{|h(t,\tau)|^2}{2} \tag{3.19}$$

โดยที่ $P(\tau)$ = การแจกแจงกำลังงาน

$h(t,\tau)$ = ผลตอบสนองพัลส์

3.8.3 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง [10] อัตราส่วนของ ดังแสดงในสมการที่ (3.20)

$$C_c = \frac{\int_0^\infty |V_c(f,d)| df}{\int_0^\infty |V_r(f,d)|^2 df \cdot \int_0^\infty |H_c(f,d)|^2 df} \tag{3.20}$$

$$BER_m = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{br}}\right] \tag{3.21}$$

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0 \tag{3.22}$$

โดยที่

E_b/N_0 = energy = อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน

C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

br = อัตราในการส่งข้อมูลระดับบิตต่อวินาที

f_b =ความกว้างของแถบความถี่

3.9 สรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอันเป็นพื้นฐานของการศึกษาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง และยังได้อธิบายถึงการสูญเสียในรูปแบบต่างๆที่จะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและหลักการของฟรีส พร้อมทั้งศึกษาถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณ เช่นการลดทอนของกำลังงาน ผลการกระจายทางเวลา เป็นต้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณของสายอากาศและผลกระทบจากตัวเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยการตรวจสอบโดยจำลองช่องสัญญาณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และหลักการของฟรีส และตรวจสอบโดยการวัดสัญญาณจริง ซึ่งจะทำการวัดสัญญาณ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ และทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ ซึ่งจะอธิบายวิธีการตรวจสอบโดยการจำลองและการตรวจสอบโดยการวัดสัญญาณในบทต่อไป

บทที่ 4
การทดลองวิจัยและวิเคราะห์ผลการวัด

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ (Channel model) บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด (Measurement) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์วงจรข่าย ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยวิทยานิพนธ์นี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหัวต่อไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อม (Measurement model) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ว่าด้วยการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเพื่อศึกษาหาผลกระทบของการสอดแทรกแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการต่อกันเป็นโครงข่ายที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายใน

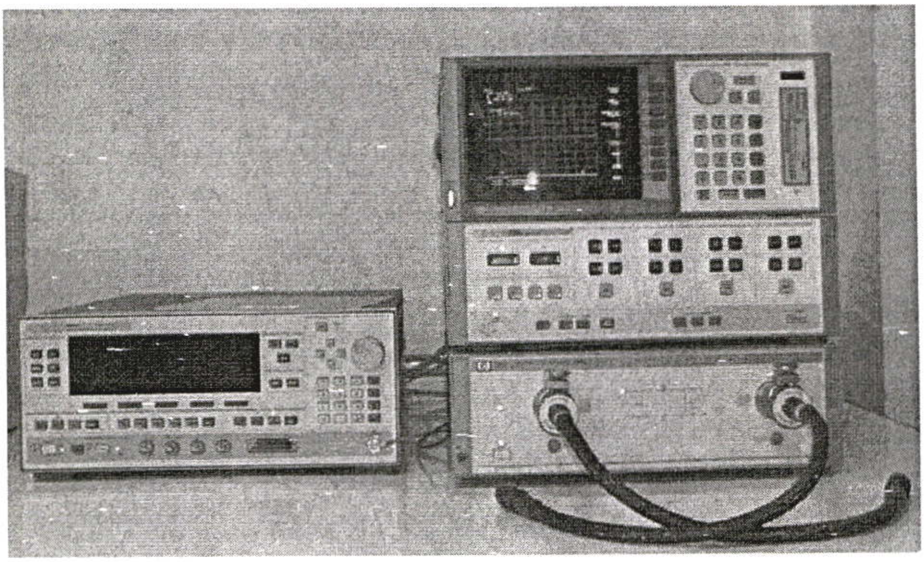
หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค ค่าความสูญเสียเชิงวิถี ข้อมูลการประวิงกำลัง

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์

ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.1ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถตรวจวัดสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการตรวจวัดแบบสองพอร์ตโดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (Tx) ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ (Rx) โดยที่ปลายของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อ

ด้วยสายอากาศ และทำการวัดในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการวัดไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์

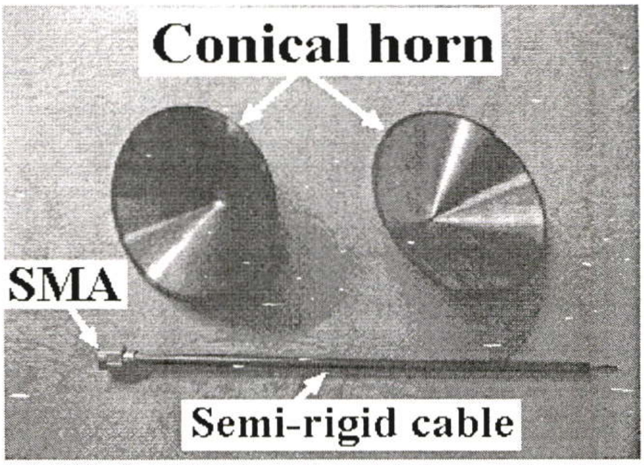
4.2.2 ชนิดของสายอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ในการตรวจวัดช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า สายอากาศ (Antenna) ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านอากาศไปยังสายอากาศทางด้านรับแล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ทั้ง สายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และสายอากาศทางด้านรับ (Rx) ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) แบบรอบตัวใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ตามข้อกำหนดย่านความถี่การใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งของ FCC โดยคุณสมบัติของสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองมีดังนี้

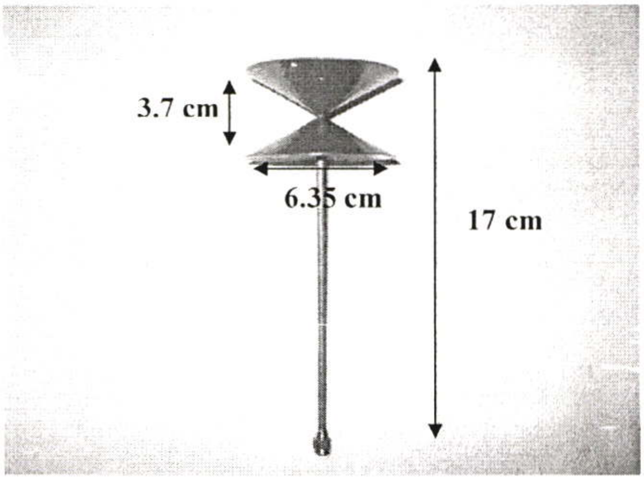
4.2.2.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นหนึ่งในสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (Azimuth) รูปที่ 4.2 แสดงถึงส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่ รูปที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้ ซึ่งมีขนาดของสายอากาศซึ่งมีความยาวเท่ากับ 6.53 เซนติเมตรและมีความกว้าง 3.7 เซนติเมตร [3, 11] รูปที่ 4.4-4.5 ขนาดและเฟสฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่แสดงรูปที่ 4.6 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของ

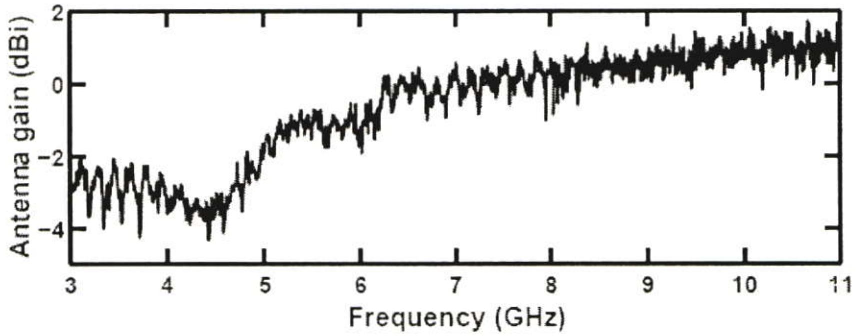
สายอากาศแบบกรวยคู่ แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB สามารถส่งผ่านสัญญาณได้ดี ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz



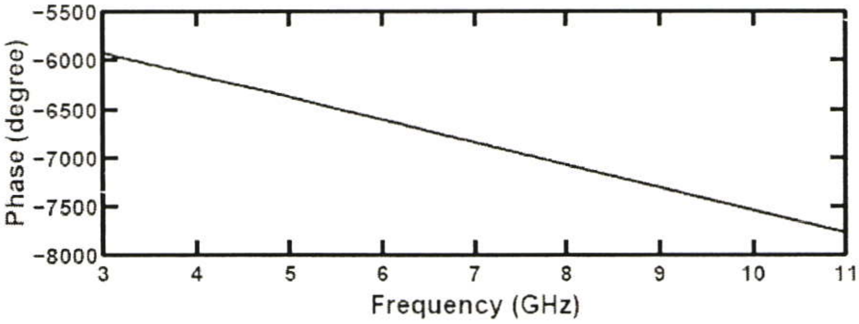
รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบกรวยคู่



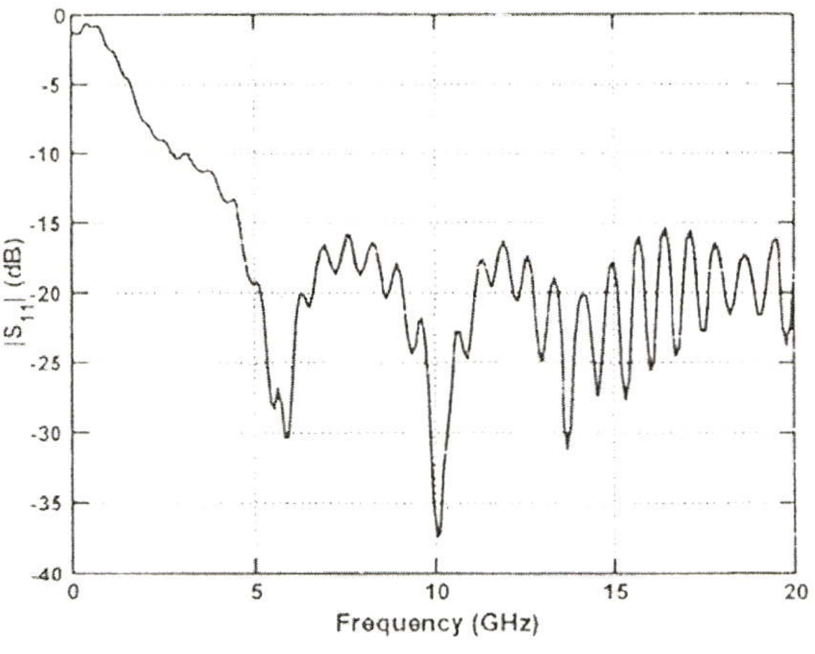
รูปที่ 4.3 สายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.4 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.5 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่ 4.6 $|S_{11}|$ คุณลักษณะเฉพาะของสายอากาศแบบกรวยคู่

4.3 โมเดลสัญญาณที่ใช้ในการทดลองวิจัย

4.3.1 โมเดลของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในการทดลองวิจัย

ในขั้นตอนของการตรวจสอบการสูญเสียกำลังของสัญญาณนั้นรูปแบบสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์ที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด [3] คือตั้งแต่ 3.1 GHz ~ 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม เท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่มอดูเลตแบบ passband rectangular pulse ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{min}) เท่ากับ 3.1 GHz, ความถี่สูงสุด (f_{max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัมแบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น เราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่สัญญาณรูปคลื่นสีเหลี่ยม (Rectangular passband) ซึ่งสามารถ คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$v_t(t) = \frac{1}{f_b}\left[f_{\max}\operatorname{sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min}\operatorname{sinc}(2f_{\min}t)\right] \qquad (4.1)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_b} & |f-f_c| \le \frac{f_b}{2} \\ 0 & |f-f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases}) \qquad (4.2)$$

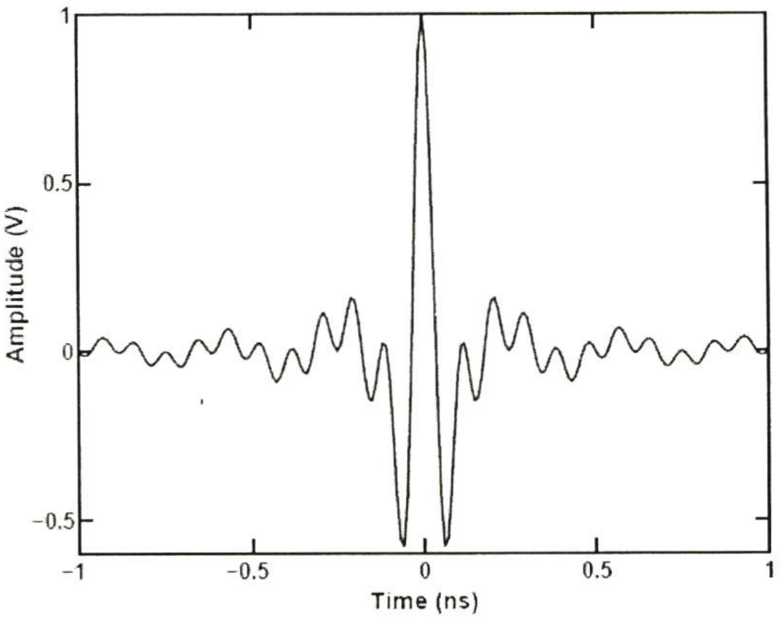
โดยที่ f_c คือ จุดศูนย์กลางความถี่

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

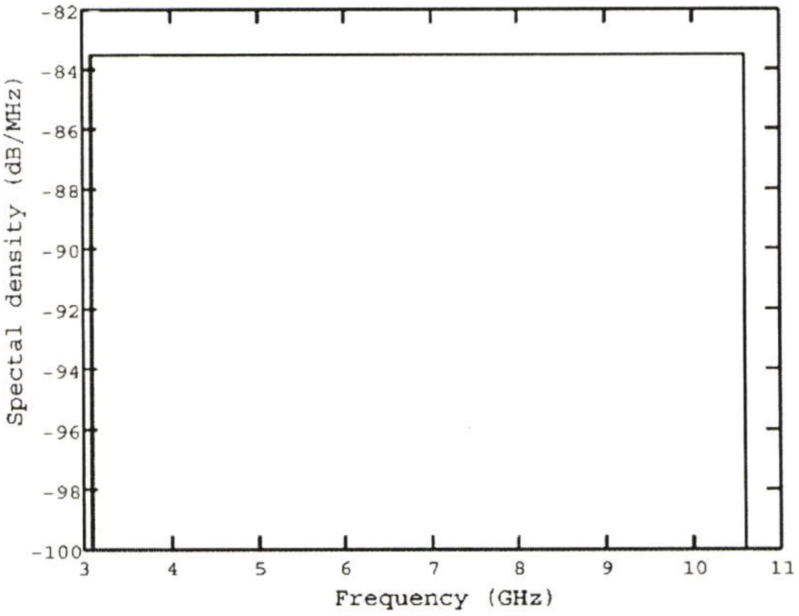
$f_{\max}$ มีค่าเท่ากับ 10.6 GHz

$f_{\min}$ มีค่าเท่ากับ 6.85 GHz

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



รูปที่ 4.7 รูปแบบสัญญาณการส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง



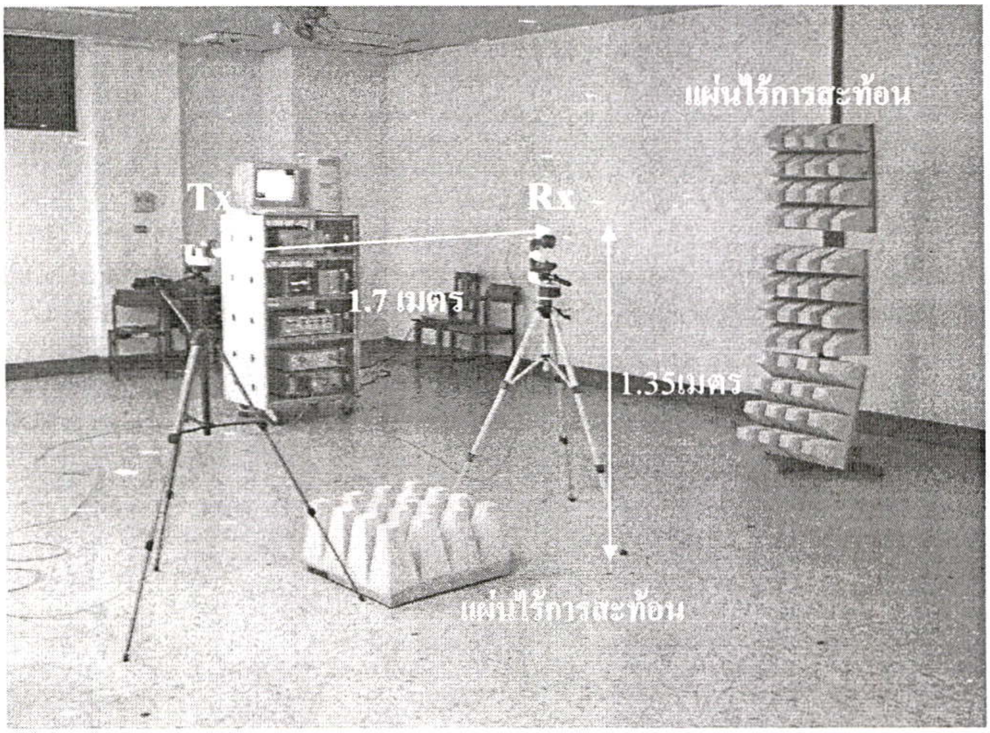
รูปที่ 4.8 ขนาดของฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม

4.4 การทดลองวิจัย

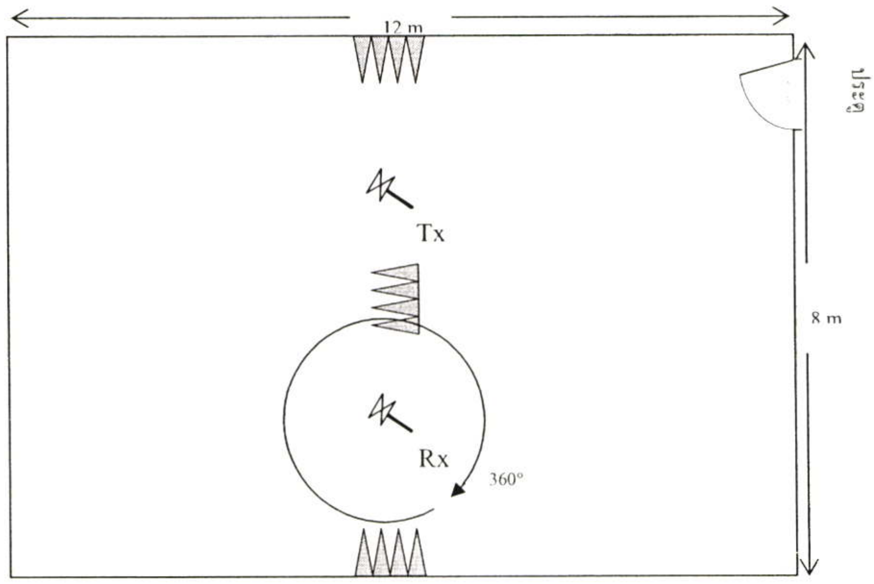
4.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 1

4.4.2.1 การเตรียมการวัด

ฟังก์ชันของการถ่ายโอน (Transfer function) ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของ S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (VNA) ซึ่งได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งสูงจากพื้น 1.35 เมตรและได้วางห่างกัน 1.7 เมตร ซึ่งการทดลองนี้จะทำการทดลอง ในแนวระดับสายตา (line-of-sight) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.9 แสดงภาพของอุปกรณ์ในการทดลอง และในรูปที่ 4.10 แสดงแผงผังการวางสายอากาศแบบกรวย ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง



รูปที่ 4.9 สภาพแวดล้อมในห้องของการทดลองวิจัยแบบที่ 1



รูปที่ 4.10 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 1

4.4.2.2 ขั้นตอนการวัด

1. ทำการเปิดเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการปรับเทียบ
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่องแล้วนำแผ่นไร้การสะท้อน มาวางไว้ที่ตำแหน่งดังในรูปที่ 4.13
3. วางสายอากาศแบบ กรวยคู่ ที่เป็น Tx และ Rx ไว้ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยวางสายอากาศแล้วทำการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 4.10
4. ทำการหมุนสายอากาศด้าน Rx โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ทำการบันทึกข้อมูลจนครบ แล้วทำซ้ำทั้งหมดอีก

4.4.2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.35 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.35 เมตร

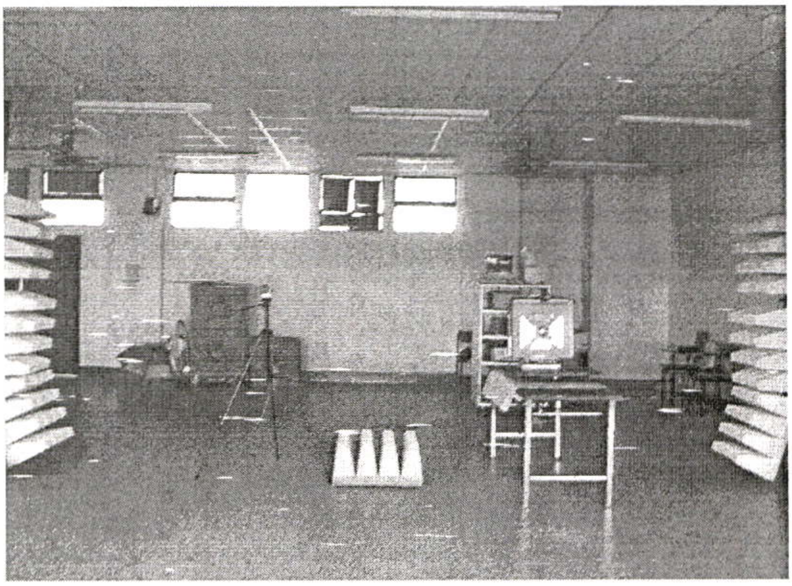
ตารางที่ 4.1(ต่อ)

ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1.70 เมตร
การวางตัวของสายอากาศด้านส่ง	แนวนอน

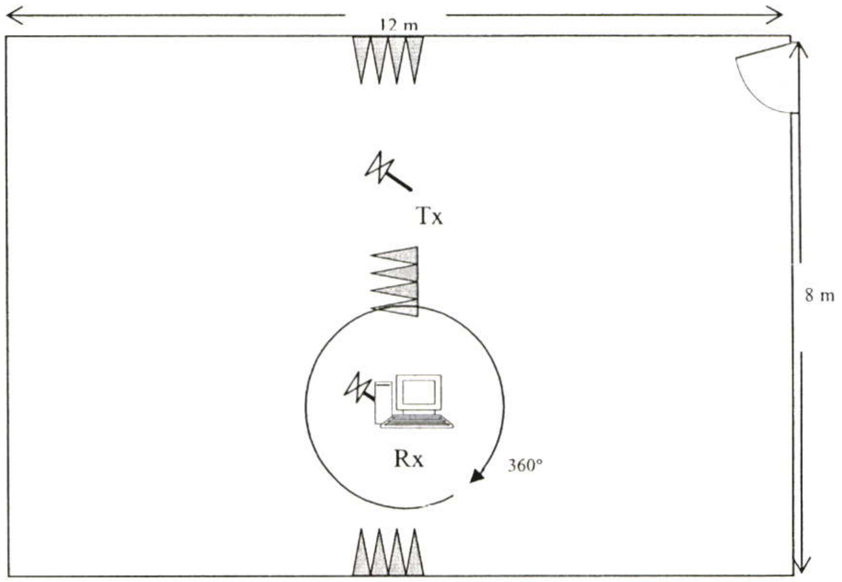
4.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 2

4.4.2.1 การเตรียมการวัด

ฟังก์ชันของการถ่ายโอน ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของ S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการโดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งสูงจากพื้น 1.35 เมตรและได้วางห่างกัน 1.7 เมตร ซึ่งการทดลองนี้จะทำการทดลอง ในแนวระดับสายตา เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.11 แสดงภาพของอุปกรณ์ในการทดลอง และในรูปที่ 4.12 แสดงแผงผังการวางสายอากาศแบบกรวย ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง



รูปที่ 4.11 สภาพแวดล้อมในห้องของการทดลองวิจัยแบบที่ 2



รูปที่ 4.12 แผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 2

4.4.3.2 ขั้นตอนการวัด

1. ทำการเปิด เครื่องเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการปรับเทียบเครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2 ของเครื่อง
3. นำสายอากาศแบบกรวยคู่ ที่ด้าน Rxไปติดกับคอมพิวเตอร์
4. วางคอมพิวเตอร์ที่เป็น Tx และ สายอากาศที่เป็น Rx ไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยไม่ต้องเปิดเครื่อง แล้วทำการบันทึกข้อมูล
5. ทำการหมุนคอมพิวเตอร์ด้าน Rx โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา จนครบ 360 องศา ทำการบันทึกข้อมูลจนครบ
6. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วทำซ้ำข้อ 5

4.4.3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB

ตารางที่ 4.2(ต่อ)

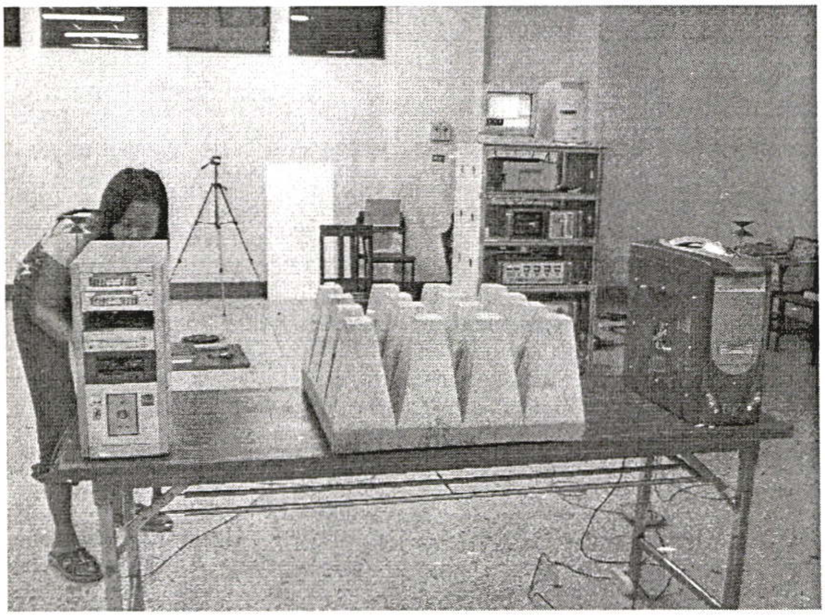
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.35 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.35 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1.70 เมตร
การวางตัวของสายอากาศด้านส่ง	แนวนอน

4.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 3

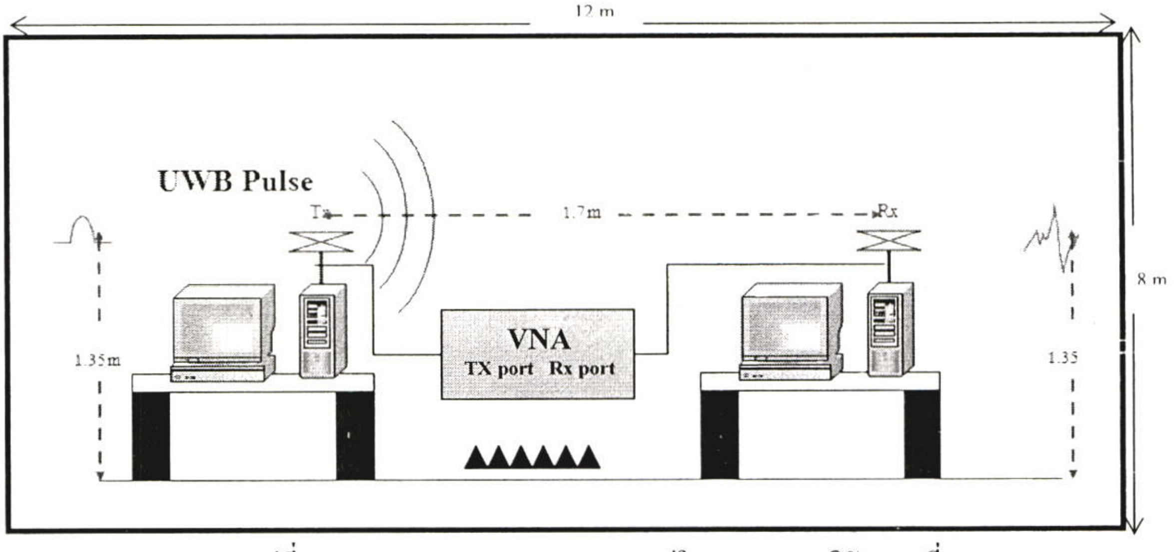
4.4.3.1 การเตรียมการวัด

ฟังก์ชันของการถ่ายโอน (transfer function) ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของ S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (VNA) ซึ่งได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการโดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งสูงจากพื้น 1.35 เมตรและได้วางห่างกัน 1.7 เมตร ซึ่งการทดลองนี้จะทำการทดลอง ในแนวระดับสายตา (line-of-sight) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.13 แสดงภาพของอุปกรณ์ในการทดลอง และในรูปที่ 4.14 แสดงแผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์แบบ Omnidirectional pattern ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง

สายอากาศไบโคนิคอล เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว การพิจารณาสายอากาศไบโคนิคอลนี้ได้พิจารณาจากการกระจายของสายอากาศซึ่งมีความเหมาะสำหรับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ขณะที่กรวยด้านล่างใช้ติดต่อกับกราวด์



รูปที่ 4.13 สภาพแวดล้อมในห้องของการทดลองวิจัยแบบที่ 3



รูปที่ 4.14 การวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 3

4.4.3.2 ขั้นตอนการวัด

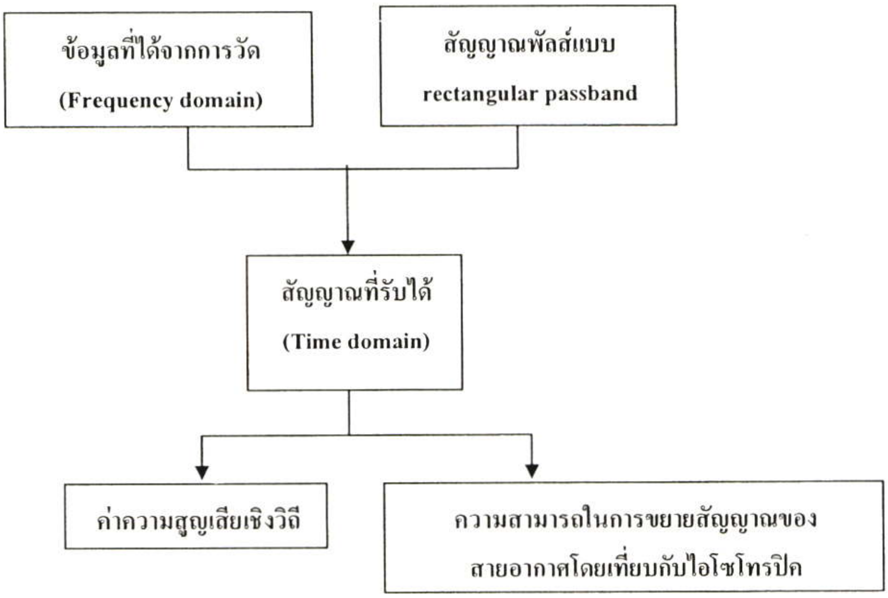
1. ทำการเปิดเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการปรับเทียบ
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2
3. นำสายอากาศไปติดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยเปลี่ยนการติดสายอากาศแบบกรวยคู่
4. วางคอมพิวเตอร์ไว้ที่ตำแหน่งเดียวกับ Tx และ Rx ในการทดลองที่ 1 และ 2
5. ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านTx และ Rx ทำการบันทึกข้อมูล
6. ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้าน Tx และเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้าน Rx ทำการบันทึกข้อมูล
7. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้าน Tx และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้าน Rx ทำการบันทึกข้อมูล
8. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านTx และ Rx ทำการบันทึกข้อมูล

4.3.3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.35 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.35 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	1.70 เมตร
การวางตัวของสายอากาศ	แนวตั้ง

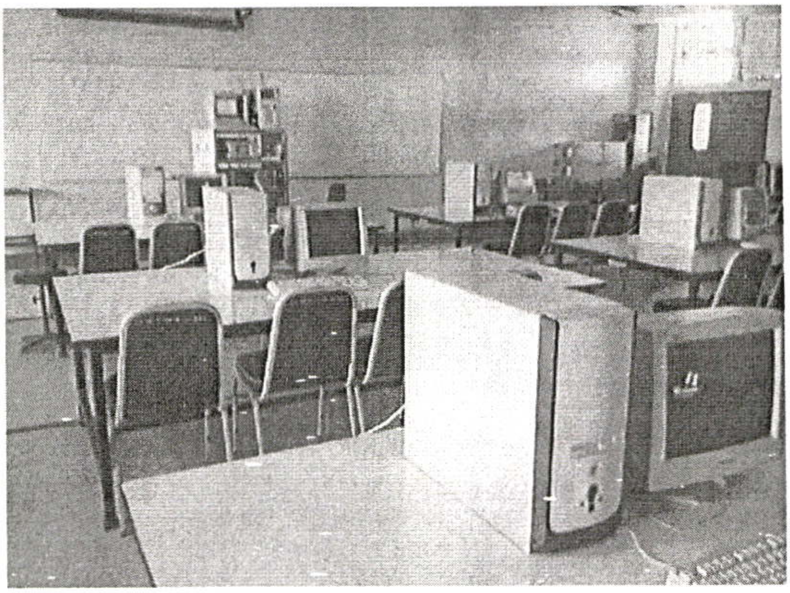


รูปที่ 4.15 บล็อคไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัยในห้องเรียนแบบที่ 3

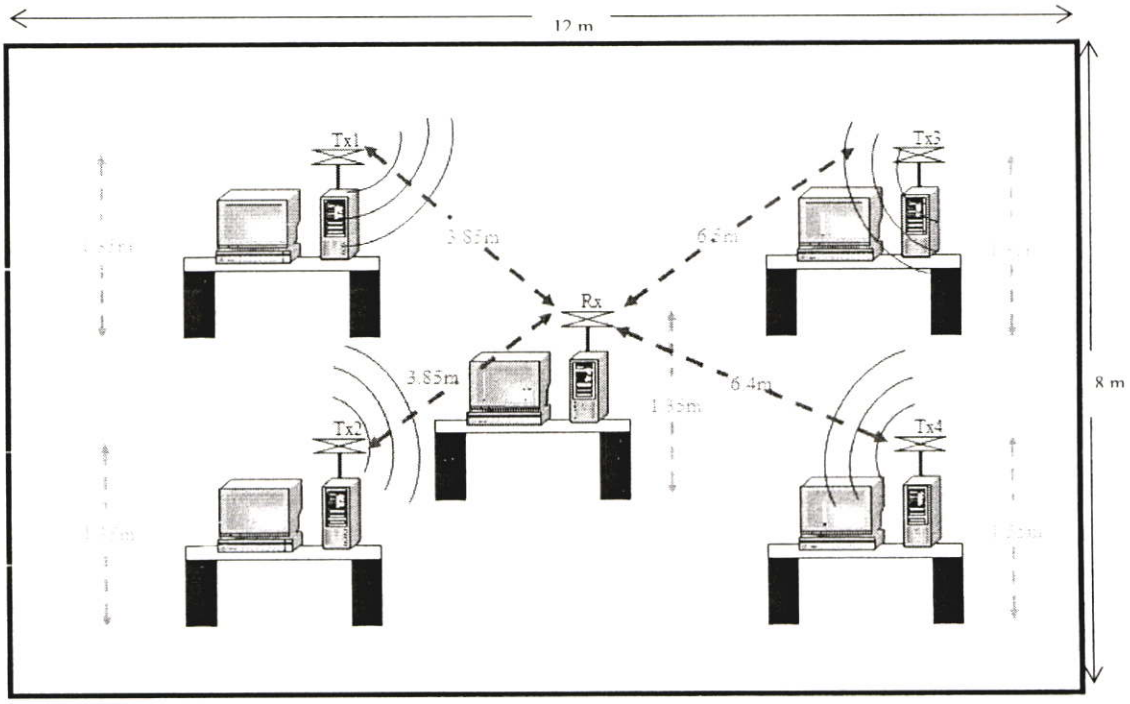
4.4.4 การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 4

4.4.4.1 การเตรียมการวัด

ฟังก์ชันของการถ่ายโอน (transfer function) ช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของ S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (VNA) ซึ่งได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอล ที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัว สายอากาศทั้งด้านรับและด้านส่งสูงจากพื้น 1.35 เมตรและได้วางห่างกัน 4 มุมรอบตัวรับสัญญาณ คือ 3.85,3.85,6.5,6.4 เมตร ซึ่งการทดลองนี้จะทำการทดลอง ในแนวระดับสายตา (line-of-sight) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.16 แสดงภาพของอุปกรณ์ในการทดลอง และในรูปที่ 4.17 แสดงภาพของแผงผังการวางสายอากาศแบบกรวยคู่ เมื่อทำการต่อกับคอมพิวเตอร์ระบบเน็ตเวิร์ก แบบOmnidirectional pattern ทั้งทางด้าน Tx และ Rx โดยใช้ห้อง 1105 ของภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศในการทำการทดลอง



รูปที่ 4.16 สภาพแวดล้อมในการทดลองวิจัยแบบที่ 4



รูปที่ 4.17 การวัดวางสายอากาศแบบกรวยคู่ในการทดลองวิจัยแบบที่ 4

4.4.5.2 ขั้นตอนการวัด

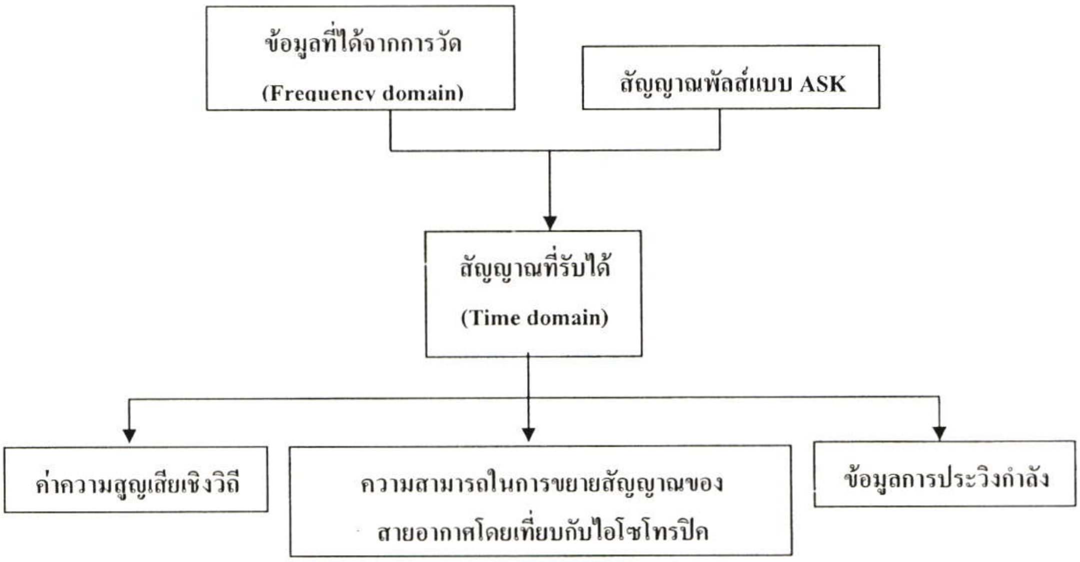
1. ทำการเปิดเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ประมาณ 30 – 90 นาทีแล้วทำการปรับเทียบเครื่อง
2. ทำการต่อสายอากาศที่จะใช้วัดทั้ง 2 ด้านคือ ที่พอร์ต 1 และ พอร์ต 2
3. นำสายอากาศแบบกรวยคู่ วางไว้ที่คอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.17 ให้เป็นด้าน Rx เสมอจากนั้นวางสายอากาศ Tx ไว้ที่คอมพิวเตอร์ตำแหน่งที่ 1 แล้วทำการบันทึกค่า
4. ย้ายตำแหน่งของ Tx ไว้ที่ตำแหน่ง 2,3,4 โดยติดสายอากาศแบบรอบตัวแล้วทำการบันทึก
5. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วทำซ้ำข้อ 3 และ 4

4.4.5.3พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.35 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.35 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	
Tx1 and Rx	3.85 เมตร
Tx2 and Rx	3.85 เมตร
Tx3 and Rx	6.50 เมตร
Tx4 and Rx	6.40 เมตร
ความสูงของโต๊ะ	0.40 เมตร



รูปที่ 4.18 บล็อคไดอะแกรมขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองวิจัยภายในห้องเรียนแบบที่ 4

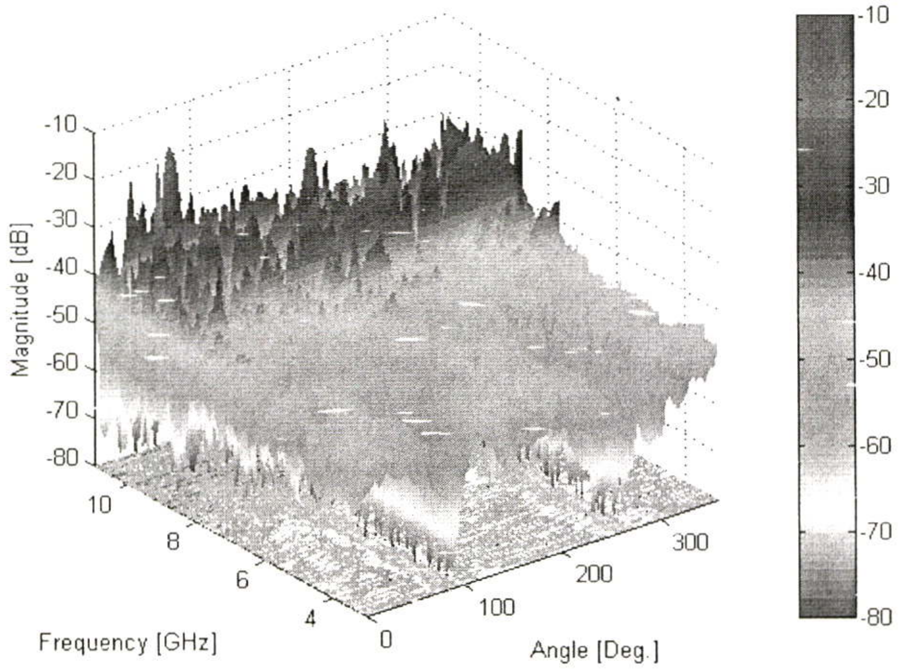
บทที่ 5
ผลการวัดและการวิเคราะห์

5.1 กล่าวนำ

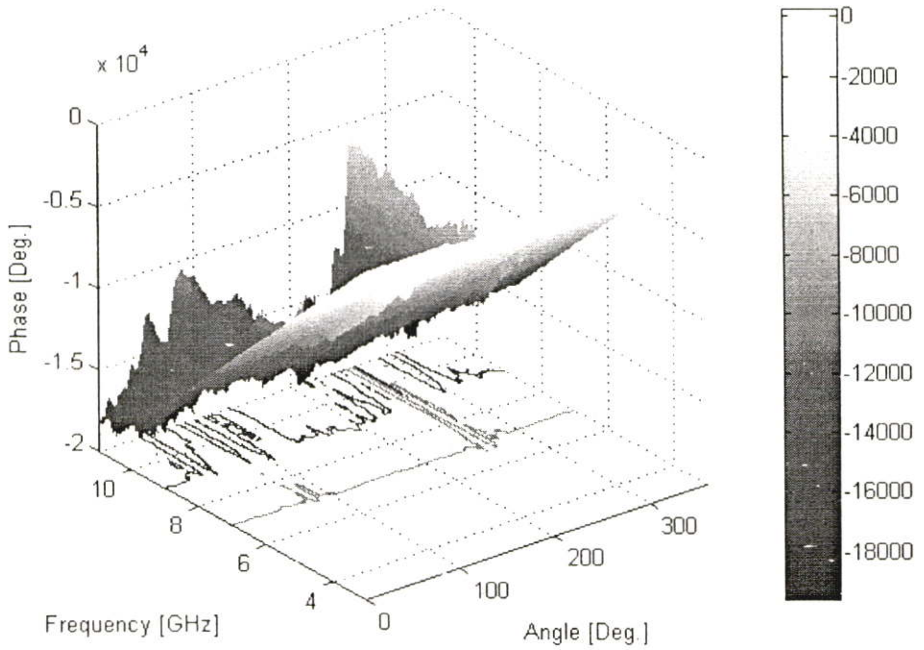
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด โดยแสดงในพารามิเตอร์หลักทั้งหมด 4 ตัวคือ ข้อมูลการประวิงกำลังงานของสัญญาณ ค่าความสูญเสียเชิงวิถี ค่าความสามารถขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิคและค่าความผิดพลาดบิต โดยแสดงอยู่ในลักษณะการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลการบดบังจากเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และการเปิดปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นประเด็นหลักของการพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้โดยแบ่งตามลักษณะการวัดแบบต่าง ๆ

5.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 1

5.2.1 การประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 5.1 ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของสัญญาณในการทดลองที่ 1



รูปที่ 5.2 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 1 แบบมีแผ่นไร้การสะท้อน

5.2.2 ผลการทดลอง

ส่วนในรูปที่ 5.1 เป็นผลจากการทดลองที่ 1 ทำการทดลองหมุนสายอากาศด้านรับ โดยมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ซึ่งแผ่นไร้การสะท้อนกลับ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดการเกิด Multipart ได้ เพราะแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ช่วยลดการสะท้อนของสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวรบกวนสัญญาณที่รับได้ ดังนั้นค่าที่ได้ จึงเป็นค่าที่ดีกว่าเมื่อไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

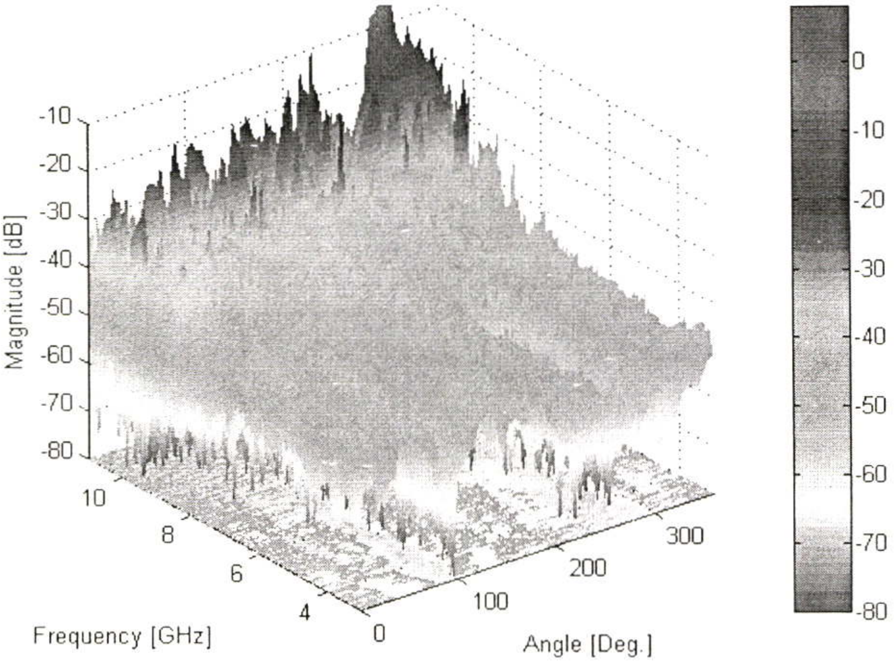
จากกราฟ ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของการทดลองการส่งสัญญาณของสายอากาศด้านส่งกันสายอากาศด้านรับของทั้งสองกราฟ คือ ทั้งที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ นั้นจะเห็นได้ว่า กราฟมีลักษณะคล้ายกัน คือสัญญาณจะมีค่าน้อยที่สุดที่สายอากาศด้านรับทำมุม 90 และ 270 องศาและ ระดับสัญญ เณจะมากที่มุม 0, 180 และ 360 องศา กับสายอากาศทางด้านส่ง ที่มุมด้าน 90 และ 270 องศาจะลดลงจนมีค่าน้อยเนื่องจากในช่วงนี้จะเกิดการเฟดดิ้งหรือการจางหายของสัญญาณมากที่สุดเพราะสายอากาศอยู่ในมุมที่รับสัญญาณได้ไม่ดีนักสำหรับการวางสายอากาศแบบ directional pattern แต่เมื่อหมุนสายอากาศทางด้านรับให้ทำมุมเพิ่มจาก 90 องศา เป็น 180 องศา และจากมุม 270 องศา เป็น 360 องศาจะพบว่าระดับสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถรับสัญญาณได้ดี จึงสามารถสรุปได้ว่าการวางสายอากาศแบบ direction pattern นี้จะรับสัญญาณได้ดีที่สุดเมื่อสายอากาศทั้ง 2 วางขนานกันและลดลงมากที่สุดเมื่อวางสายอากาศตั้งฉากกัน

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้อีกว่าแผ่นไร้การสะท้อนกลับ สามารถช่วยลดการเกิดการสะท้อนของสัญญาณได้จึงทำให้ระดับสัญญาณของสายอากาศที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ ดีกว่าระดับสัญญาณของสายอากาศที่ไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ เล็กน้อย

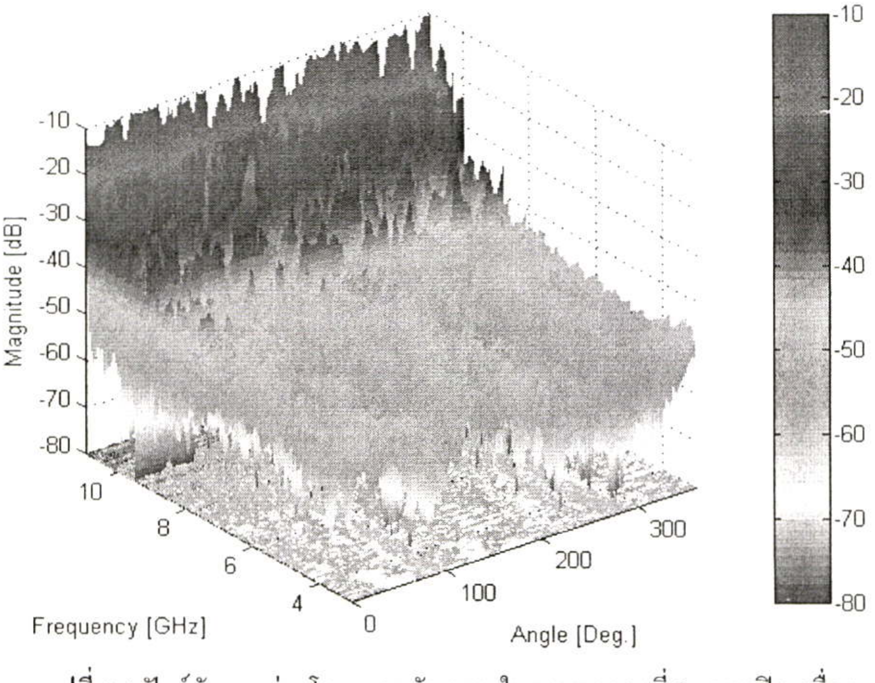
จากการทดลอง กราฟเฟสของทั้งแบบมีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ และไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะเหมือนกันก็คือ ช่วงที่สายอากาศทางด้านรับทำมุม 90 องศาและ 270 องศา ลักษณะของกราฟจะไม่เป็นเชิงเส้นมากที่สุด เนื่องจากการรับสัญญาณของสายอากาศไม่ได้อยู่ในมุมที่รับสัญญาณได้ดีโดยเฟสที่เป็นเชิงเส้นมากที่สุดก็คือที่มุม 0, 180 และ 360 องศานอกจากนี้เฟสของการทดลองที่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ จะมีลักษณะที่ดีคือโดยรวมแล้วเฟสที่มุมต่าง ๆ จะเป็นเชิงเส้นกว่าไม่มีแผ่นไร้การสะท้อนกลับ

5.3 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 2

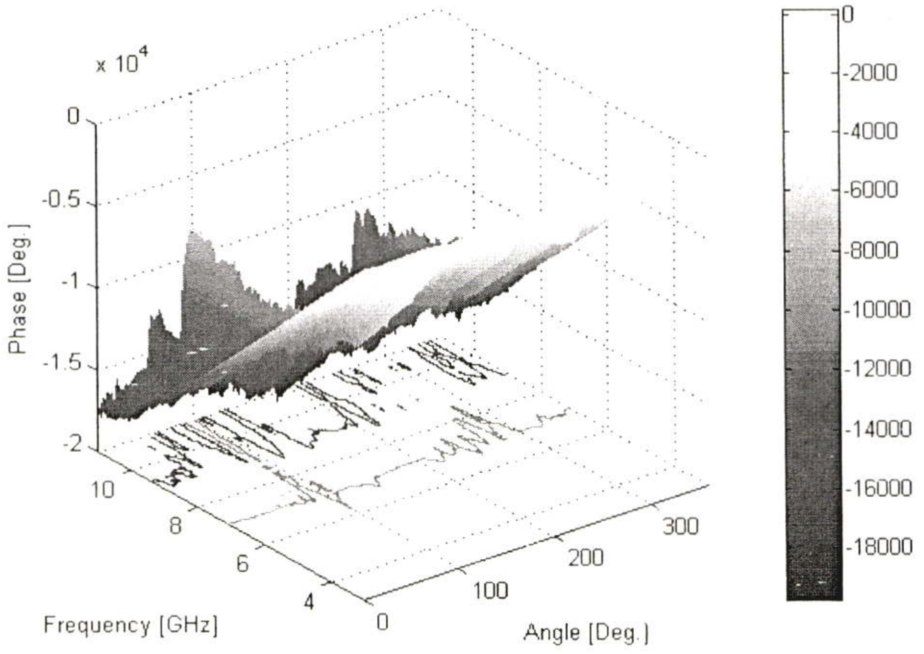
5.3.1 การประมวลผลสัญญาณ



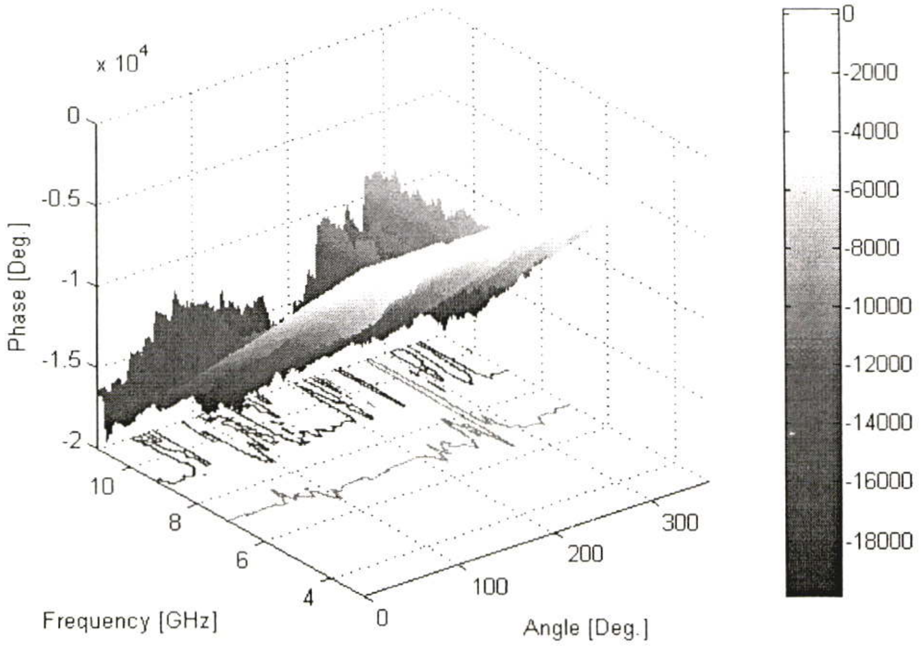
รูปที่ 5.3 ฟังก์ชันการถ่ายโอนของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง



รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง



รูปที่ 5.5 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบไม่เปิดเครื่อง



รูปที่ 5.6 เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 2 แบบเปิดเครื่อง

5.3.2 ผลการทดลอง

การทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ผลของ ฟังก์ชันการถ่ายโอน ที่ได้ เป็นดังรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศที่ติดกับตัวเครื่องเคสคอมพิวเตอร์ด้านรับทั้งหมด 360 องศา พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ระดับของสัญญาณจะลดต่ำลงมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะในการรับส่งสัญญาณแบบ Directional Pattern แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ไม่มีเคสคอมพิวเตอร์เข้ามา พบว่า สัญญาณที่ได้ในการทดลองที่ 2 โดยรวมมีค่าต่ำกว่าระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลองที่ 1 ประมาณ 10 เดซิเบล

ส่วนในรูปที่ 5.4 เป็นผลจากการทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ในการทดลองนี้จะทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างจากการที่ไม่เปิดเครื่องเพียงเล็กน้อย โดยสังเกตจากกราฟ ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของสัญญาณในรูปที่ 5.3 เมื่อเทียบกับรูปที่ 5.4 กราฟในรูปที่ 5.4 ซึ่งเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ทำงานด้วยนี้ สัญญาณที่รับได้จะมีค่ามากกว่าสัญญาณในกราฟรูปที่ 5.3 ซึ่งไม่เปิดเครื่อง เพียงเล็กน้อย

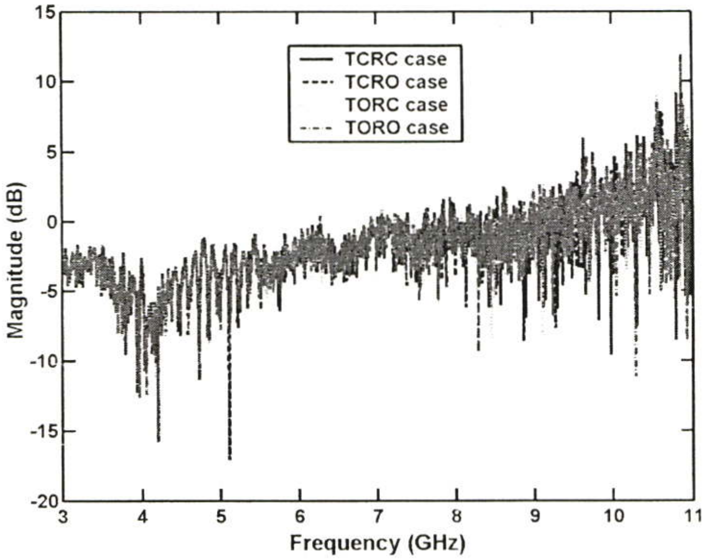
ในการทดลองที่นี้ เมื่อนำตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ไปติดกับสายอากาศด้านรับ และทำการหมุนสายอากาศทางด้านรับเหมือนกับการทดลองแรก แต่จะทำการทดลองทั้งแบบปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้ก็คือ ระดับของสัญญาณจะลดลงมากที่สุดที่มุม 90 องศา และมุม 270 องศา และระดับสัญญาณจะมากที่สุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศา และค่าความแตกต่างระหว่างการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นเกือบจะไม่เห็นความแตกต่างจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นไม่มีผลกระทบต่อการส่งสัญญาณ

เมื่อนำกราฟ ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของการทดลองที่ 1 มาเทียบการทดลองที่ 2 จะเห็นว่าระดับสัญญาณในการทดลองที่ 2 โดยรวมแล้วจะต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าตัวเครื่องคอมพิวเตอร์มีผลต่อการส่งสัญญาณซึ่งอาจจะเกี่ยวกับการที่เคสของคอมพิวเตอร์ไปบดบังสัญญาณ ทำให้สายอากาศด้านรับรับสัญญาณได้ไม่ดีเท่ากับการทดลองที่ 1

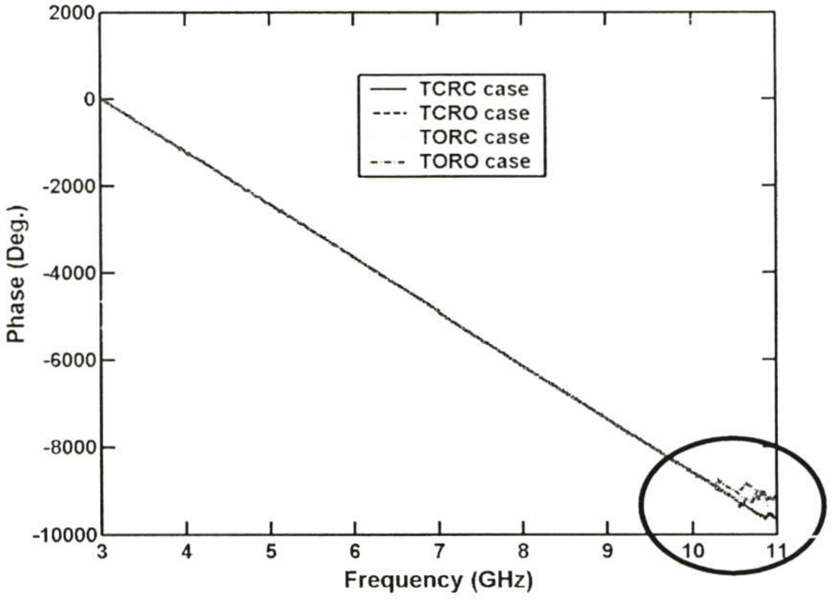
ในการทดลองที่ 2 ทำการทดลองนำตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ติดเข้ากับสายอากาศด้านรับและหมุน ผลของเฟสที่ได้ เป็นดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละมุมในการรับสัญญาณครั้งละ 5 องศา ของสายอากาศที่ติดกับตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ด้านรับทั้งหมด 360 องศา ทั้งแบบไม่เปิดเครื่องและแบบเปิดเครื่อง พบว่า ณ ตำแหน่งที่สายอากาศด้านรับทำมุมกับสายอากาศด้านส่งเป็นมุม 90 องศา และ 270 องศา ลักษณะของเฟส ที่ได้ จะเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามคุณลักษณะในการรับส่งสัญญาณ จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นที่สุดที่มุม 0, 180 และ 360 องศา เช่นเดียวกันและที่มุมอื่น ๆ เฟสจะไม่ค่อยเป็นเชิงเส้นซึ่งเมื่อนำเฟสของการทดลองที่ 1 และ 2 มาเทียบกันจะพบว่าไม่ค่อยต่างกันเลย แสดงว่าตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่มีผลต่อการเกิดเฟส

5.4 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 3

5.4.1 การประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศไบโคนิคอลที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.8 เฟสของสายอากาศไบโคนิคอล

5.4.2 ผลการทดลอง

ช่องสัญญาณทั้ง 4 กรณีที่ได้ทำการทดลองคือ

- ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRC)
- ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRO)
- เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORC)
- เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORO)

สิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากทดลอง คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศที่ใช้ในการทดลองคือสายอากาศแบบกรวยคู่ จากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับของฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศจะมีระดับที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าเฟสของสายอากาศทั้ง 4 กรณีมีความเป็นเชิงเส้น ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 10 GHz แต่ในช่วงความถี่ 10 GHz ถึง 11 GHz เฟสไม่เป็นเชิงเส้น ทั้งนี้เนื่องจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 5.1 ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค

การทดลองวิจัยวัดแบบต่างๆ	**Relative Gain**
ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRC)	-3.49 dBi
ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRO)	-3.49 dBi
เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORC)	-3.49 dBi
เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORO)	-3.49 dBi

จากตารางที่ 5.1 พบว่าเกนของสายอากาศในกรณีที่ดีที่สุด(optimum)ซึ่งพิจารณาจากค่าของข้อมูลที่ได้จากการวัด จะมีค่าเท่ากับ -3.49 dBi เท่ากันทั้ง 4 กรณี ซึ่งมากกว่าค่าของเกนที่พิจารณาจากไอโซโทรปิคโดยมีค่าเท่ากับ -7.21 dBi ทั้ง 4 กรณีเช่นเดียวกัน

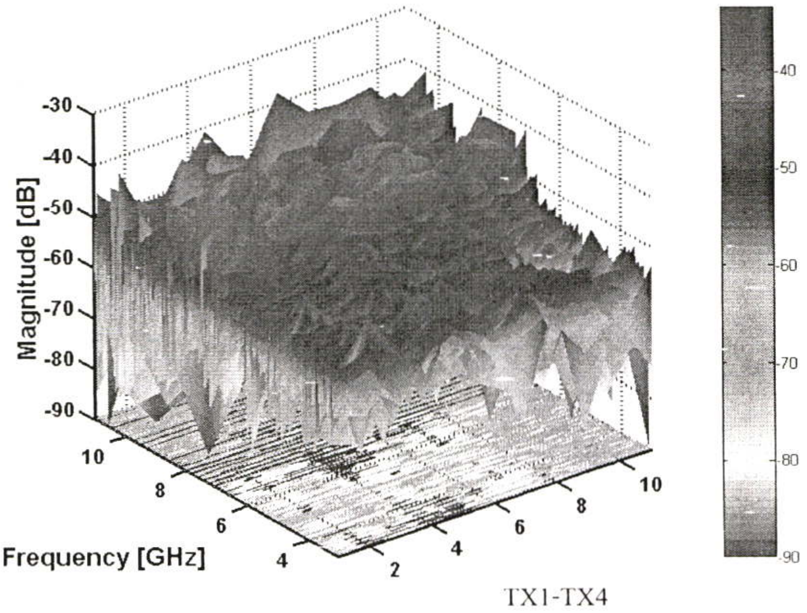
ตารางที่ 5.2 ค่าความสูญเสียเชิงวิถี

การทดลองวิจัยวัดแบบต่างๆ	**ค่าความสูญเสียเชิงวิถี**
ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRC)	58.57 dB
ปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TCRO)	58.72 dB
เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORC)	58.39 dB
เปิดคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งและเปิดคอมพิวเตอร์ด้านรับ (TORO)	58.54 dB

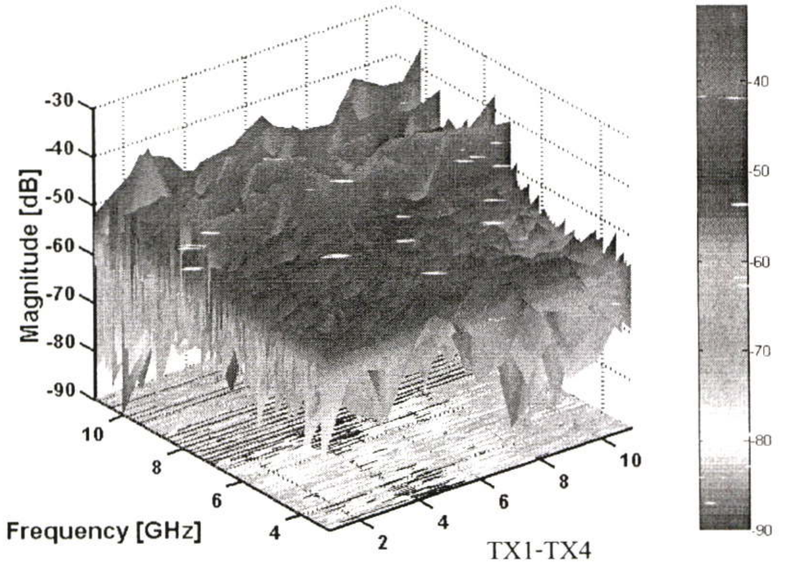
จากตารางที่ 5.2 พบว่า ความความสูญเสียเชิงวิถีมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 กรณีที่ได้จากการทดลองจะพบว่า จะเกิดค่าความสูญเสียเชิงวิถีมากที่สุดเมื่อทำการปิดเครื่องที่ สายอากาศด้านส่งและเปิดเครื่องที่สายอากาศด้านรับซึ่งมีค่า 58.72 dB รองลงมาคือปิดเครื่องทั้งทางด้านรับและด้านส่ง เปิดเครื่องทั้งทางด้านรับและด้านส่ง ตามลำดับและเกิดค่าความสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดที่การเปิดเครื่องที่ด้านส่งและปิดเครื่องที่ด้านรับ ซึ่งมีค่า 58.39 dB จะเห็นได้ว่าค่าความสูญเสียเชิงวิถีที่มากที่สุดกับค่าที่ต่ำที่สุดต่างกันเพียงแค่ 0.327 dB แสดงว่าการปิดหรือเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์มีผลกระทบต่อการเกิดค่าความสูญเสียเชิงวิถีน้อยมาก

5.5 ผลการวิเคราะห์การทดสอบคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบที่ 4

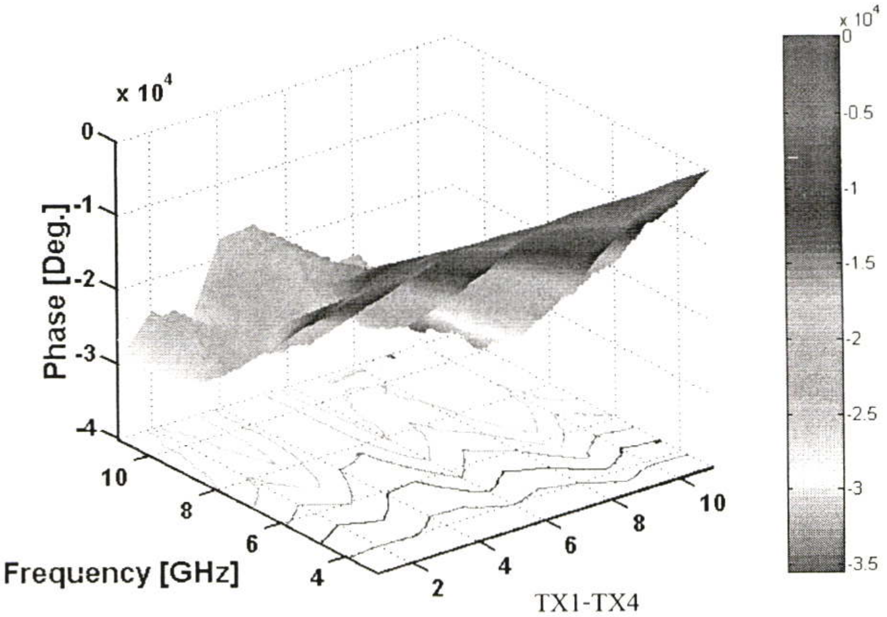
5.5.1 การประมวลผลสัญญาณ



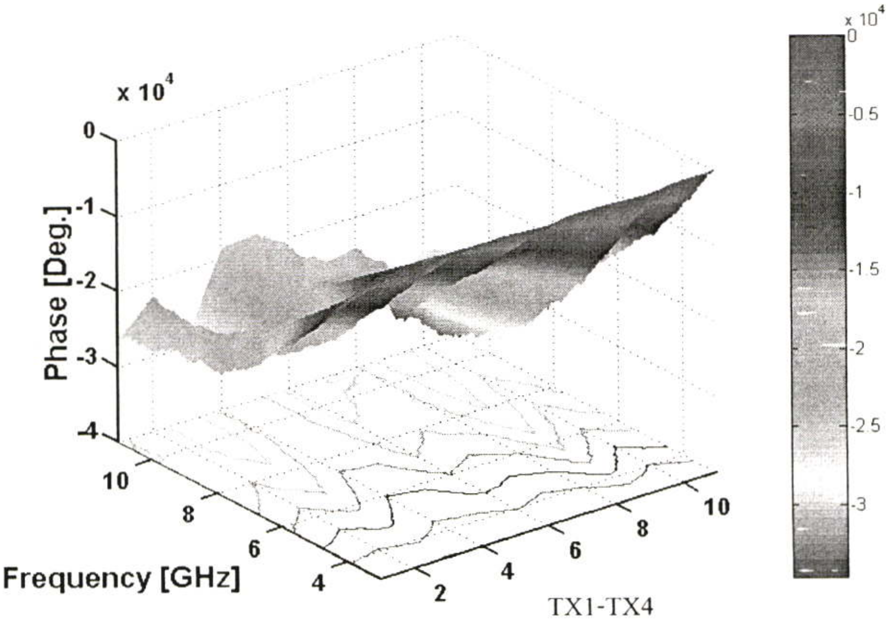
รูปที่ 5.9 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณของสายอากาศแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์



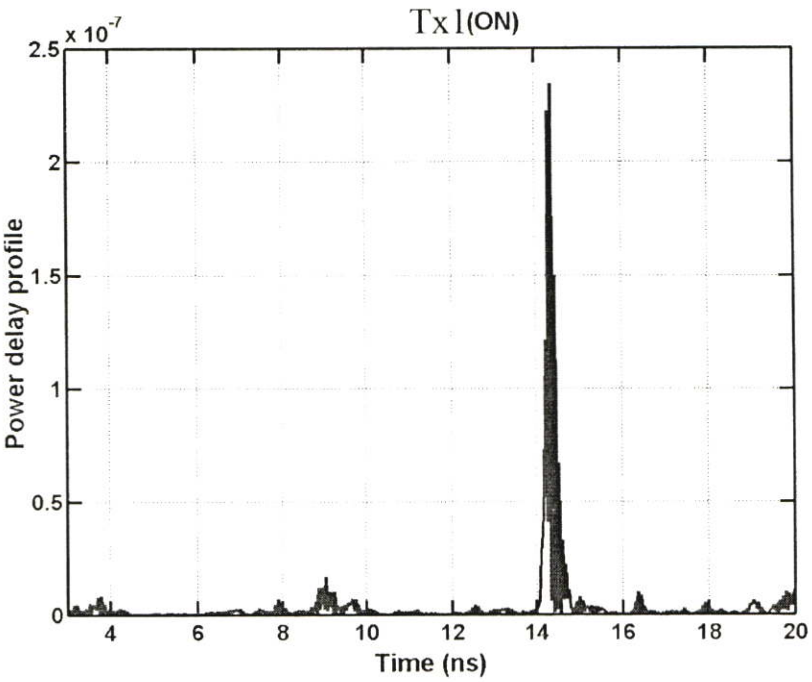
รูปที่ 5.10 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณของสายอากาศแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์



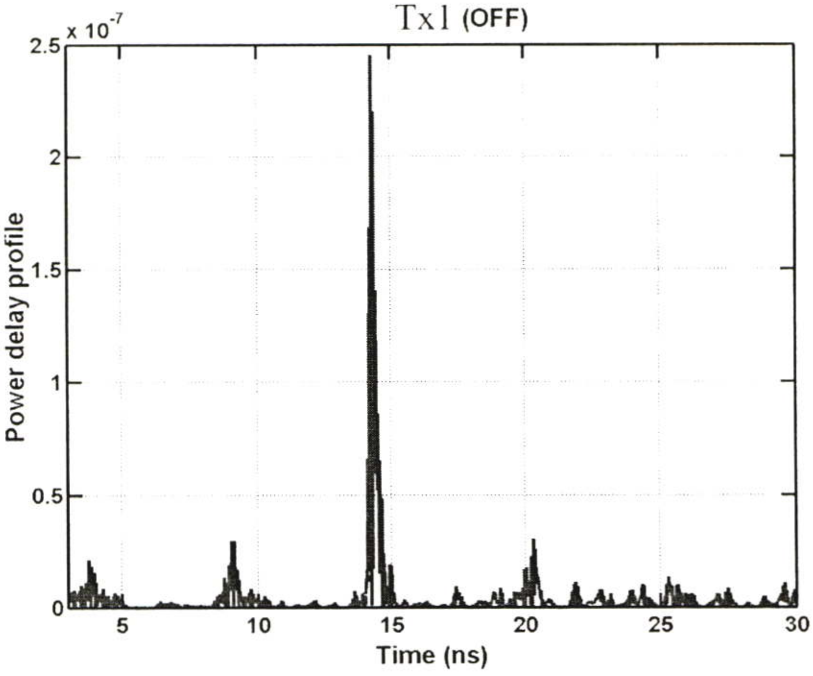
รูปที่ **5.11** เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์



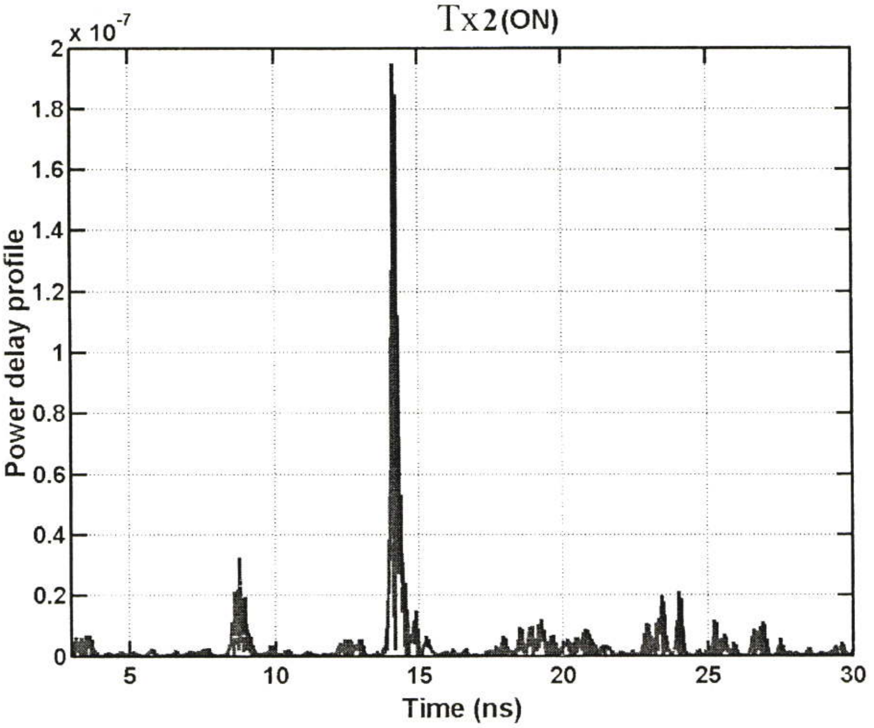
รูปที่ **5.12** เฟสของสัญญาณในการทดลองที่ 4 แบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์



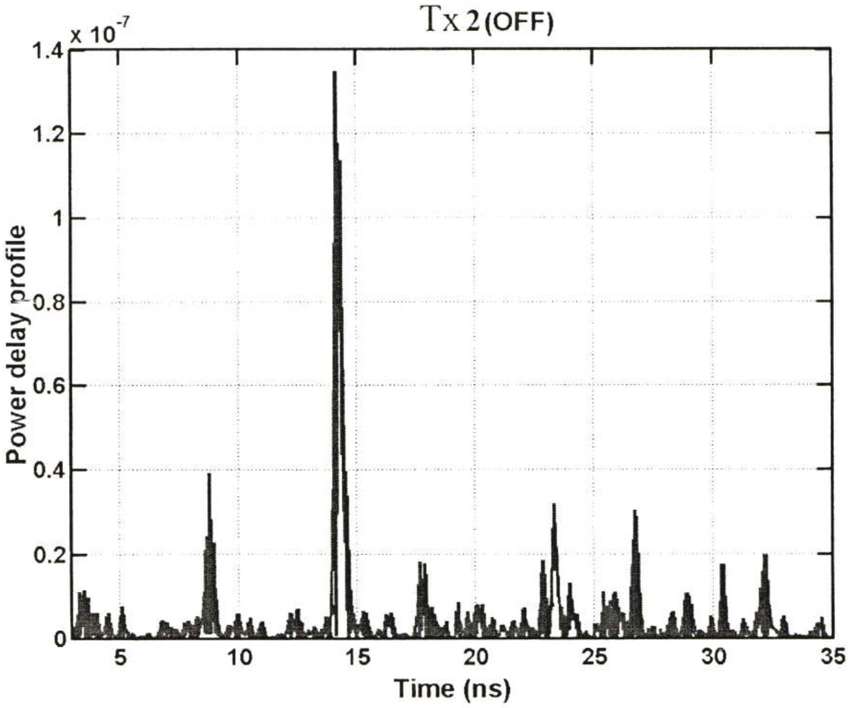
รูปที่ 5.13 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 1 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



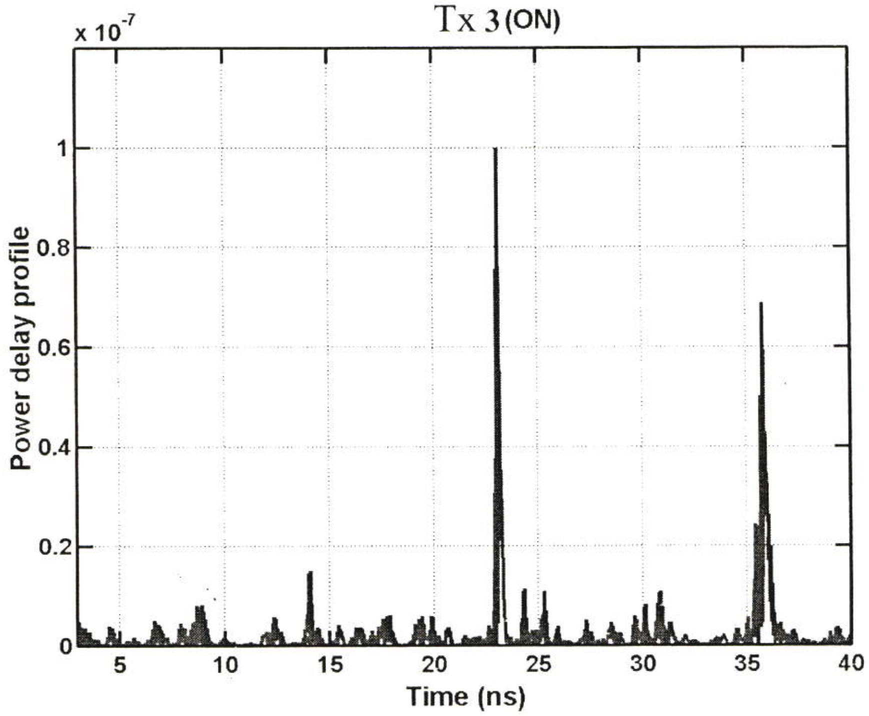
รูปที่ 5.14 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 1 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



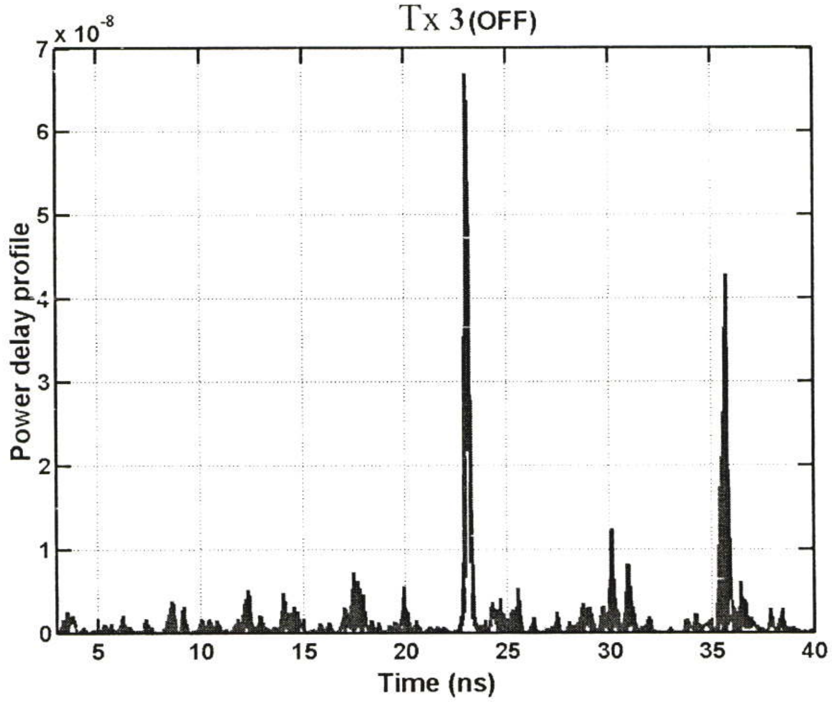
รูปที่ 5.15 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 2 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



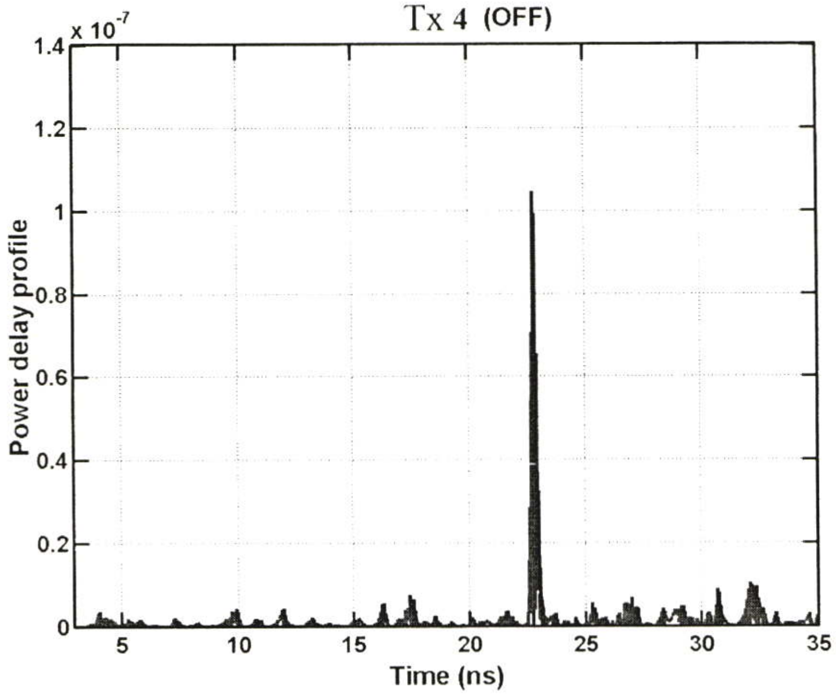
รูปที่ 5.16 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 2 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



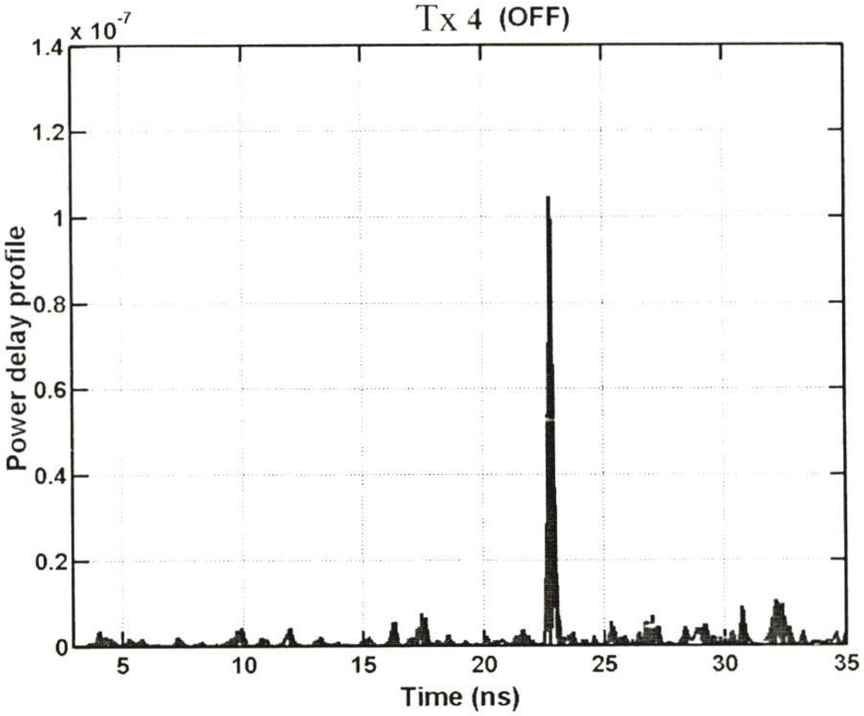
รูปที่ 5.17 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 3 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



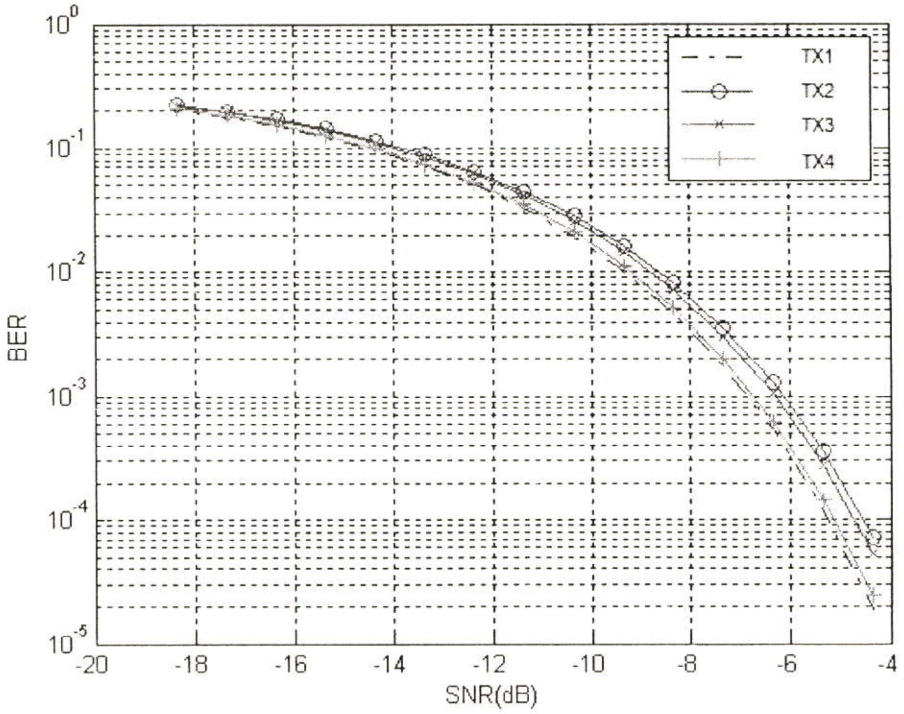
รูปที่ 5.18 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 3 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



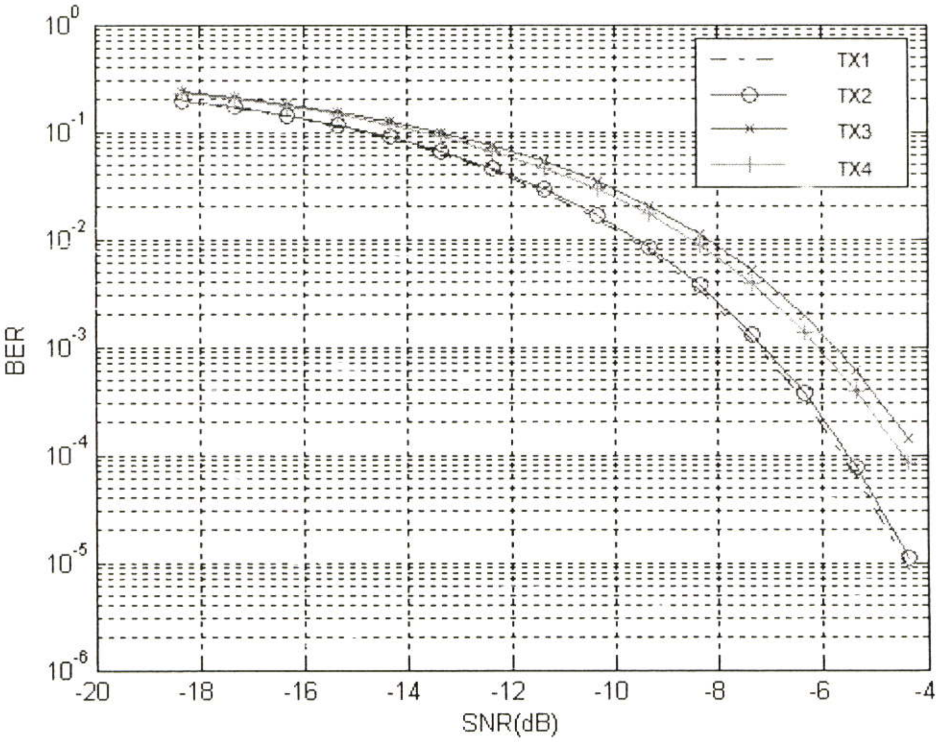
รูปที่ 5.19 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 4 ในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



รูปที่ 5.20 การประวิงกำลังตำแหน่งที่ 4 ในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



รูปที่ 5.21 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด



รูปที่ 5.22 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

ตารางที่ 5.3 ค่าความสูญเสียเชิงวิถี

Case	Optimum [dB]	Optimum [dB]	Isotropic [dBi]	Isotropic [dBi]
	Turning on	Turning off	Turning on	Turning off
TX 1	56.094	55.305	63.347	62.972
TX 2	56.973	54.993	63.935	64.254
TX 3	56.518	58.605	66.824	67.515
TX 4	57.807	58.467	67.33	66.742

ตารางที่ 5.4 ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค

Case	Optimum [dBi]	Optimum [dBi]	Isotropic [dBi]	Isotropic [dBi]
	Turning on	Turning off	Turning on	Turning off
TX 1	1.205	1.9935	-6.0487	-5.6734
TX 2	0.3255	2.3055	-6.6368	-6.9556
TX 3	5.3297	3.2426	-4.9759	-5.6671
TX 4	3.9065	3.2461	-5.6173	-5.0287

5.5.2 ผลการทดลอง

การทดลองที่ 4 ทำการทดลองวางเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครือข่าย แล้วกำหนดให้เครื่องตรงกลางเป็นเครื่องที่ติดสายอากาศรับสัญญาณ ส่วนเครื่องที่เหลือติดสายอากาศส่งสัญญาณแล้วทำการวัดสัญญาณแล้วนำมาวิเคราะห์เป็นกราฟดังรูปที่ 5.9 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรูปที่ 5.10 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ จากกราฟที่ได้ จะฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณของเครื่องหมายเลขที่ 1 และ 2 มีระดับของสัญญาณประมาณ -50 dB เท่าๆกัน ซึ่งถือได้ว่าสูงกว่าระดับของสัญญาณที่ได้จากเครื่องหมายเลขอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า เครื่องหมายเลขที่ 1 และ 2 เป็น

เครื่องที่มีระยะห่างใกล้กับเครื่องที่เป็นตัวรับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ ดังนั้นระดับของสัญญาณจึงสูงกว่าเครื่องอื่นๆ และเช่นเดียวกัน เครื่องหมายเลข 3 และ 4 มีระดับสัญญาณประมาณ -70 dB เท่าๆกัน ซึ่งถือว่าต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ ทั้งนี้เพราะว่าเครื่องหมายเลข 3 และ 4 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างจากเครื่องที่รับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ สายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งเป็นการติดสายอากาศแบบ Omni-directional จะพบว่าผลที่ได้จะมีค่า ฟังก์ชันการถ่ายโอน ของสัญญานที่ได้ ไม่ได้แตกต่างกันมากนักทั้งแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

จากกราฟรูปที่ 5.11 คือแบบไม่เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และรูปที่ 5.12 คือแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์โดยสายอากาศทั้งทางด้านรับและด้านส่งเป็นการติดสายอากาศแบบรอบตัวจะพบว่าผลที่ได้จะมีค่าเฟสของสัญญานที่ได้ ไม่ได้แตกต่างกันมากนักทั้งแบบเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งระดับสัญญาณเฟสที่ได้ทั้งหมดเป็นลักษณะ เป็นเส้นแนวตรงลงมาจะเห็นว่ารับดับเฟสของสัญญาณของเครื่องหมายเลขที่ 1 และ 2 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างใกล้กับเครื่องที่เป็นตัวรับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ ดังนั้นระดับของเฟสจึงสูงกว่าเครื่องอื่นๆ และเป็นเชิงเส้นมากกว่า และเช่นเดียวกัน เครื่องหมายเลข 3 และ 4 มีระดับสัญญาณเฟสต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ เนื่องจากเครื่องหมายเลข 3 และ 4 เป็นเครื่องที่มีระยะห่างจากเครื่องที่รับสัญญาณกว่าเครื่องอื่นๆ และอาจเกิดจากการผิดพลาดที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณที่ไปกระทบกับเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ ก่อนการมาถึงเครื่องรับได้

จากรูปที่ 5.13-5.20 แสดงข้อมูลการประวิงกำลังเมื่อเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ในเน็ตเวิร์กพบว่าสัญญาณมีความคล้ายคลึงกัน

จากรูปที่ 5.21-5.22 แสดงอัตราความผิดพลาดบิต จะเห็นได้ว่า กรณีเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์มีค่าอัตราความผิดพลาดบิตไม่แตกต่างกันมาก

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความสูญเสียเชิงวิถีมีความแตกต่างกันน้อยกว่า 2 dB ตารางที่ 5.4 แสดงความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิคความแตกต่างกันไม่เกิน 3 dB ค่าความสูญเสียเชิงวิถีทั้งในการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งระบบเน็ตเวิร์คนั้นจะเกิดค่าสูญเสียเชิงวิถีสูงสุดที่เครื่องที่ 3 รองลงมาคือเครื่องที่ 4 ซึ่งมีค่าค่าสูญเสียเชิงวิถีใกล้เคียงกันเครื่องที่เกิดค่าสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุดนั่นคือ เครื่องที่ยู่ห่างกันน้อยที่สุดระหว่างตัวรับกับตัวส่งนั่นก็คือเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิคมีค่าใกล้เคียงกันทั้งเปิดและปิดคอมพิวเตอร์

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับผลกระทบจากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะส่วนบุคคลและมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศ โดยอาศัยการตรวจสอบบนพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ ซึ่งได้จำลองการวัดที่มีลักษณะต่างๆ กัน 2 แบบส่วนแรกปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องแล้วทำการวัด ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านรับ เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทางด้านรับ และเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองด้านแล้วทำการวัด และในส่วนที่สองนำเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะมาต่อกันเป็นโครงข่ายแล้วทำการเปิด-ปิดคอมพิวเตอร์ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณการส่งผ่าน ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับอัตราการขยายแบบไอโซโทรปิค ค่าการประวิงกำลัง ค่าอัตราความผิดพลาดบิตและค่าของความสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์วัดสัญญาณภายในห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทั้งหมด

โดยทฤษฎีที่นำสมการฟรีสมาพิจารณาใช้ แต่สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีการส่งสัญญาณแบบพัลส์ จึงไม่สามารถส่งสัญญาณในรูปแบบทางความถี่ได้ จึงได้ทำการส่งสัญญาณในรูปแบบสัญญาณทางเวลา แต่ยังไม่สามารถนำสูตรฟรีสมาใช้ได้เลย จึงทำการ Extension Friis โดยเพิ่มสัญญาณเข้าไป และสัญญาณแถบกว้างยิ่งมีรูปแบบสัญญาณใกล้สัญญาณรบกวนมาก จึงได้นำวงจรกรองแบบแมตซ์มาปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณด้านรับหรืออัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวนให้มีค่าสูง เพื่อให้สัญญาณดี

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการตรวจสอบผลกระทบจากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะส่วนบุคคลและมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศเป็นหลัก โดยทำการวิเคราะห์หาฟังก์ชันการถ่ายโอนของช่องสัญญาณที่มีทั้งขนาดและเฟสของสัญญาณการส่งผ่าน ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค ข้อมูลการประวิงกำลัง ค่าอัตราความผิดพลาดบิตและค่าของความสูญเสียเชิงวิถีเป็นพารามิเตอร์หลักในการตรวจสอบ และแสดงผลสรุปดังต่อไปนี้

ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศในแนวระดับสายตากับการทดลองการส่งสัญญาณระหว่างสายอากาศโดยมีตัวเครื่องคอมพิวเตอร์พบว่าตัวเครื่องของคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นอาจเป็นเพราะเกิดการสูญเสียจากการที่สัญญาณเดินทางสะท้อนหลายทิศทางทำให้ได้รับสัญญาณได้ไม่ดี ในการประยุกต์ใช้จริงเราสามารถติดสายอากาศในลักษณะการแพร่กระจายรอบทิศทาง ซึ่งสัญญาณที่ได้รับจะมีการสูญเสียน้อยกว่าแบบทิศทาง

เดียว เนื่องจากสัญญาณแบบการแพร่กระจายรอบทิศทางนี้จะแพร่กระจายได้รอบทิศทางด้วยระดับสัญญาณคลื่นที่เท่า ๆ กัน ไม่ใช่แค่ทิศทางใดทิศทางหนึ่งเหมือนการส่งสัญญาณแบบทิศทางเดียว

ความสามารถในการขยายสัญญาณของสายอากาศโดยเทียบกับไอโซโทรปิค ในกรณี Optimum และไอโซโทรปิคกรณีเปิดและปิดคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน

ค่าอัตราความผิดพลาดบิตแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีเปิดคอมพิวเตอร์และปิดคอมพิวเตอร์มีค่าใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าการเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่ส่งผลต่อการส่งสัญญาณของสายอากาศ

ค่าการประวิงกำลังแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนของสัญญาณในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีจากการทดลองพบว่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ ณ เวลาเดียวกันมีระดับกำลังงานใกล้เคียงกัน

ค่าของความสูญเสียเชิงวิถีมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในกรณีเปิดปิดคอมพิวเตอร์โดยจากการทดลองจะพบว่าระยะทางระหว่างสายอากาศด้านรับและด้านส่งมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสูญเสียเชิงวิถีสูงขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในขั้นต้นสามารถสรุปได้ว่าการปิดและเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งต่อระบบแบบเน็ตเวิร์กนั้นไม่ส่งผลกระทบแต่อย่างใดต่อการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz

ในการศึกษาวิจัยนี้เชื่อว่าจะเป็นแบบแผนที่มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Sathaporn Promwong, Jun-ichi Takada, Gilbert S. Ching, and Wataru Hachitani, "**Evaluation Scheme of Ultra Wide Band Antenna for Personal Area Network**", EECON27

[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 Engnineering 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.

Joseph H. **Microwave Engineering:Passive, Active and Non-Reciprocal Circuits**. USA : McGraw Hill Inc. 1992.

[10] James D. Taylor. **Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems**. USA : CRC Press. 1995.

[11] Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle and Stephen M. Kogon. **Statistical and Adaptive Signal Processing**. USA : McGraw Hill ,Inc. 2000.

[12] J.G Proakis, **Digital Communications,4th edition**. USA : McGraw Hill ,Inc. 2001.

[13] 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.

[14] A.Khemphila and S. Promwong, , "Free Space Transmission Loss of UWB with Desktop Computer for Personal network," **The International Technical Conference on Circuits/Systems,Computers and Communications(ITC-CSCC)**,vol.3, pp. 509-512, Sept. 2006.

[15] Anchana Khemphila and Sataporn Promwong, "Ultra Wideband Network in Short-Range Wireless System for Personal Computer," **International Symposium on Communications and Information Technologies 2006 (ISCIT 2006)**, F4F-3, Oct. 2006.

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

[1] **Anchana Khemphila** and Sataporn Promwong , "Free Space Transmission Loss of UWB with Desktop Computer for Personal network," The International Technical Conference on Circuits/Systems,Computers and Communications(ITC-CSCC),vol.3, pp. 509-512, Sept. 2006.

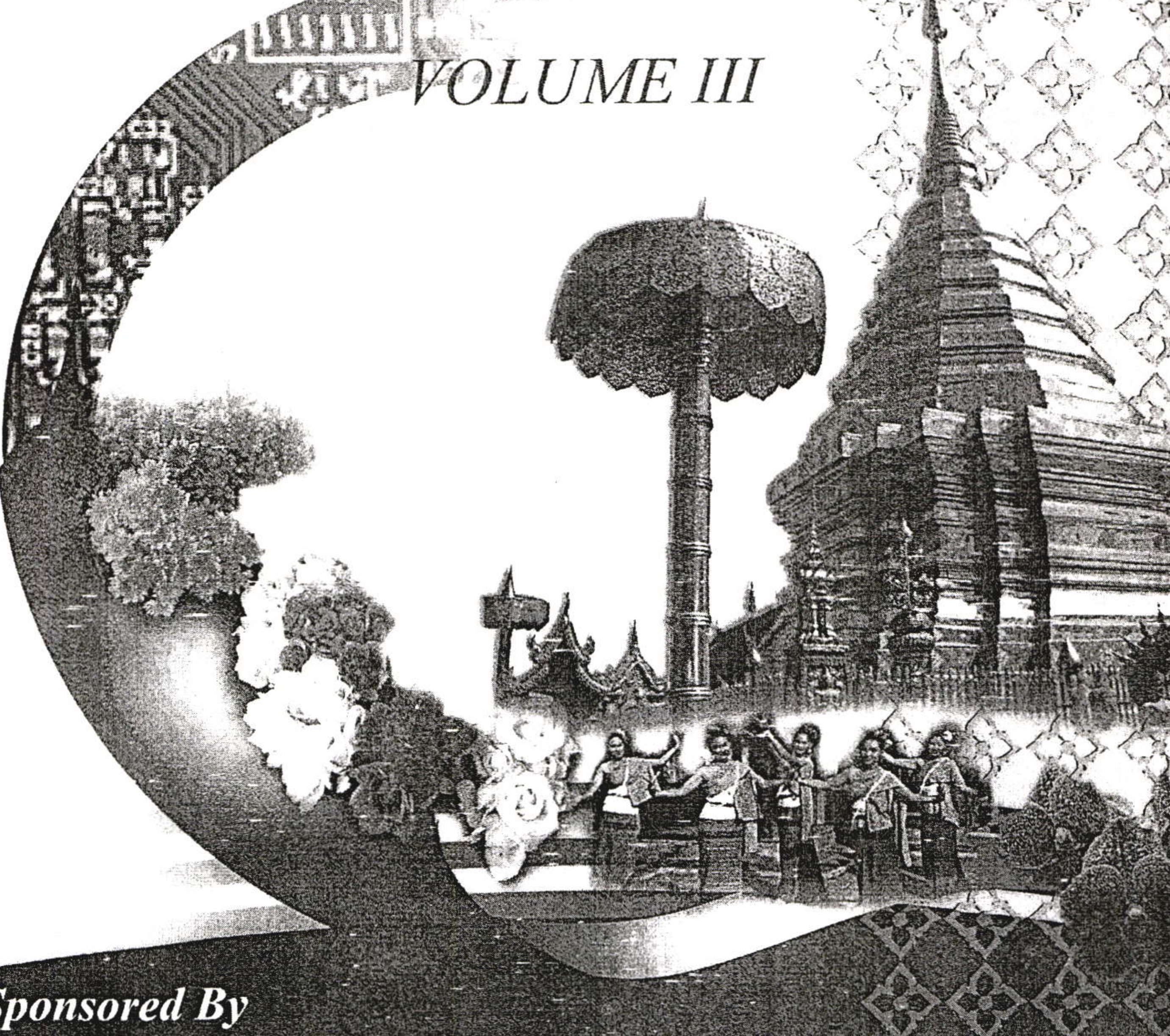
[2] **Anchana Khemphila** and Sataporn Promwong, "Ultra Wideband Network in Short-Range Wireless System for Personal Computer," International Symposium on Communications and Information Technologies 2006 (ISCIT 2006), F4F-3, Oct. 2006.

ITC-CSCC 2006

The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications

PROCEEDINGS

VOLUME III



Sponsored By

THE ELECTRICAL ENGINEERING/ELECTRONICS, COMPUTER, TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATI
ASSOCIATION (ECTI), THAILAND
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS OF KOREA (IEEK), KOREA
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS (IEICE), JAPAN
NATIONAL ELECTRONICS AND COMPUTER TECHNOLOGY CENTER, THAILAND
In association with IEEE THAILAND SECTION

FREE SPACE TRANSMISSION LOSS OF UWB WITH DESKTOP COMPUTER FOR PERSONAL NETWORK

Anchana Khemphila and Sathaporn Promwong

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Phone: +66 2 7372500-47 ext. 5140, Fax: +66 2 3264176
E-mail:s6064614@kmitl.ac.th

ABSTRACT

In this paper, we proposed the ultra wideband (UWB) for personal communication system. Nowadays wireless communication is widely used efficiently in high-speed data transferring method. So the factors that effected UWB system are required to known. In this research the small distances of wireless system are observed. The experiment frequency from 3~11 GHz and the transfer function of the transmitter(TX) and receiver(RX) antennas are done using biconical antennas. The measurements are covered by using a vector network analyzer(VNA) and data are used to evaluate the UWB transmission properties based on the extended Friis's transmission formula. The relative gain, phase and path loss of signals turn on and turn off computer at Rx and Tx antennas are shown.

Keywords: ultra wideband, UWB, transmission loss, desktop computer.

1. INTRODUCTION

Ultra-wideband (UWB) is a technology allows high data rate to be achieved over short distance with relatively simple equipment. UWB has a variety of possible applications, including short-range communication systems, location sensing and tracking, measurement, vehicular radar, surveillance and various radar imaging devices and systems. Recently UWB has become an important topics. A revolutionary approach to radio communications, allow systems to operate across a range of frequency bands defined by federal communication commission (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. A system are defined as systems that have either a relative bandwidth of more than 20%, or an absolute bandwidth of more than 500 MHz. 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). Hence, the characterization of the indoor radio channel is very important part, especially when desktop computer operated around the transmitter and/or the receiver. Therefore the desktop computer effected to signal quality should be investigated. In this paper, we investigated the effected of turn on and turn off desktop computer over the frequency bandwidth 3~11 GHz. In our experiment, the biconical antenna is used at transmitter(TX) and receiver(RX) .The four cases are considered.In the first case, the desktop compute transmitter is turn on and turn off at the receiver. Third case, the desktop computer at the transmitter is turn off and turn on at the receiver. Fourth case, the desktop computer at the transmitter and the receiver are turn on while acquiring the received signal on computer via GPIB interface.

2. DESCRIPTION OF EXPERIMENT SYSTEM

There are two possible domains for performing the channel sounding to measure the UWB radio channel. First, the channel can be measured in the frequency domain (FD) using a frequency sweeping technique. With FD channel sounders, a wide frequency band is swept using a set of narrow-band signals, and the channel frequency response is recorded using a vector network analyzer (VNA). This corresponds to S_{21}-parameter measurement set-up, where the device under test (DUT) is a radio propagation channel. Second, the channel can be measured in the time domain (TD) by using channel sounders which based on impulse transmission or direct sequence spread spectrum signalling. However, UWB technology is proposed for short-range wireless applications. Therefore, the frequency domain approach is a good candidate to measure the UWB channel char-

ISBN 974-94418-6-9 ©2006 ECTI

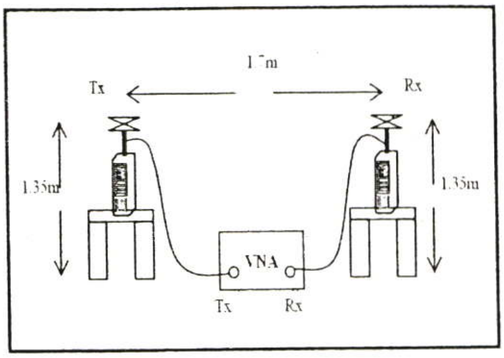


Fig.1: The instrument setup.

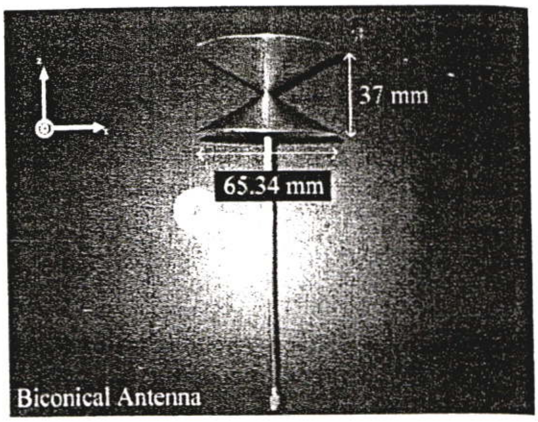


Fig.2: The biconical antenna

acteristics in the indoor environment [2].

2.1. Measurement Equipments

The radio channel measurement system consists of the VNA model HP-8510C, the S-parameter test set (HP-8514B), the frequency synthesized sweeper (HP-83620A), the pair of biconical antennas and the desktop computer. The VNA is operated in the response measurement mode, where PORT 1 is the Tx and PORT 2 is the Rx. The synthesized sweeper was set to sweep from 3 GHz to 11 GHz with full band of 801 frequency tones. Thus, the 801 total frequency resolutions for the FCC band can be obtained. The TX and the RX antennas were connected to the VNA via the double-shielded low-loss cables, which extend the channel length up to 1.70 m. The limitation of the dynamic range for the measurement system was 80 dB, including separation distance between antennas and cable losses. Figure. 1 shows the instrument setup and figure. 2 shows the biconical antenna has the length of 65.34 mm and the wide of 37 mm. The antenna has typically an omnidirectional radiation pattern, with a linearly phase response. Table 1 lists the main parameters of the experiments.

2.2. Measurement Procedure

The UWB radio channel transfer function is measured as S_{21} in frequency domain by using the VNA. In the experiment, the antennas are placed at the height of 1.35 m for vertical polarization. The measurements are made on 1.70 m ,which the pair of biconicals are used. In the first case, the desktop computer at the transmitter and the receiver are turn off. Second case, the desktop computer at the transmitter is turn on and turn off at the receiver. Third case, the desktop computer at the transmitter is turn off and turn on at the receiver. Fourth case, the desktop computer at the transmitter and the receiver are turn on while acquiring the received signal on computer via GPIB interface.

3. SIGNAL PROCESSING

3.1. UWB Signal Model

In order to investigate the transmission loss of UWB propagation, the UWB signal model for transmitted pulse is required. Defining the UWB transmitted signal waveform assumed in the simulation is the passband rectangular pulse, $v_t(t)$, which have expression in time domain [3]. The UWB transmitted signal is set in the full UWB spectrum bandwidth. The maximum and minimum frequencies are $f_{\min} = 3.1$ GHz and $f_{\max} = 10.6$ GHz, respectively. Then, the spectral bandwidth is $f_b = 7.5$ GHz. This UWB transmitted signal is shown in Fig. 3 and its equation is

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

where $f_{\min}$ and $f_{\max}$ are 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 $\mathrm{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$.

3.2. Data Processing and Analysis

The inverse fast Fourier transform (IFFT) is used to convert the frequency domain transfer function into the time domain channel response. After that, the antenna transfer function is analyzed by using the extension Friis'transmission formula , which is computed from the channel transfer function and the Friis' transmission channel. Then, the transmission loss in four cases can be analyzed.

Table 1: Experiment parameters

Parameter	Value
Frequency Range	3.0~11.0 GHz
Frequency Resolution	801
Tx Antenna Height	1.35 m
Rx Antenna Height	1.35 m
T-R Separation	1.70 m
Polarization	Vertical

4. ULTRA WIDEBAND TRANSFER FUNCTION

The Friis transmission formula is first expressed in terms of power [4]. Then it is extended in terms of the transmission signal waveform to consider the transfer function $H_{\rm Friis}$ [5]. Defining the transmitted and received voltage signals as V_r and V_t, respectively, and assuming the polarization of transmitter and receiver antennas match perfectly. We obtain

$$\begin{aligned} H_{\rm Friis}(f,d) &= \frac{V_{\rm r}(f,d)}{V_{\rm t}(f,d)} \\ &= H_{\rm f}(f,d)H_{\rm r}(f)H_{\rm t}(f), \end{aligned} \tag{2}$$

where $H_{\rm f}$ is the transfer function of free space, $H_{\rm r}$ and $H_{\rm t}$ are the transfer functions of the Tx and the Rx antennas, which are implicit functions of directions, and d is the transmitter-receiver (TR) separation distance. The transfer function of free space can be written as

$$\begin{aligned} H_{\rm f}(f,d) &= \frac{c}{4\pi|f|d}\exp(-j2\pi fd/c), \\ &= \frac{1}{4\pi|f|t_0}\exp(-j2\pi ft_0), \end{aligned} \tag{3}$$

where d is the TR separation distance, c is the velocity of light and $t_0 = d/c$ is the delayed time.
The received waveform $v_{\rm r}(t,d)$ can be found by using

$$v_{\rm r}(t,d) = v_{\rm t}(t)\otimes h_{\rm Friis}(t,d), \tag{4}$$

where $v_{\rm t}(t)$ is the transmitted signal waveform, $\otimes$ is the convolution operator, $h_{\rm Friis}(t,d)$ is the impulse response of the extension of Friis' formula defined as

$$h_{\rm Friis}(t,d) = \mathcal{F}^{-1}\{H_{\rm Friis}(f,d)\}, \tag{5}$$

where $\mathcal{F}^{-1}\{\cdot\}$ is the inverse Fourier transform.

The spectral density function $V_{\rm r,f}$ and the waveform in the time domain $v_{\rm r,f}$ and $v_{\rm r,I_{so}}$ of the received signal can be expressed as

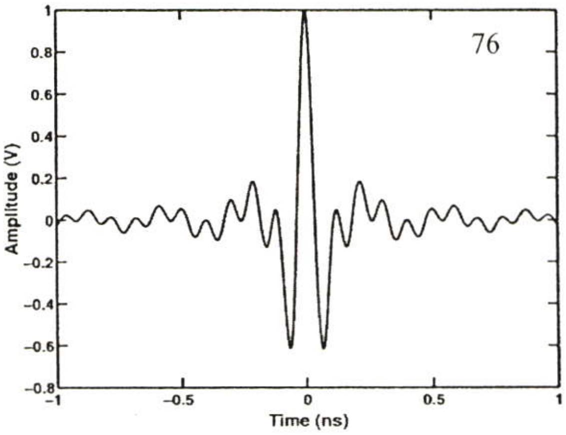


Fig.3: The transmitted UWB signal waveform.

$$\begin{aligned} V_{\rm r,f}(f,d) &= V_{\rm t}(f)\cdot H_{\rm c}(f,d), &(6)\\ V_{\rm r,I_{so}}(f,d) &= V_{\rm t}(f)\cdot H_{\rm f}(f,d), &(7)\\ v_{\rm r,f}(t,d) &= \mathcal{F}^{-1}\{V_{\rm r,f}(f,d)\}, &(8)\\ v_{\rm r,I_{so}}(t,d) &= \mathcal{F}^{-1}\{V_{\rm r,I_{so}}(f,d)\}, &(9) \end{aligned}$$

where $H_{\rm c}$ is the measurement channel. At the RX, the matched filter is introduced to maximize the SNR of the receiver output, as defined by

$$H_{\rm MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_{\rm b}}\cdot V^{*}_{\rm r,f}(f,d)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_{\rm r,f}(f,d)|^2 df}}, \tag{10}$$

and for the isotropic case,

$$H_{\rm MF,I_{so}}(f) = \frac{\sqrt{2f_{\rm b}}\cdot V^{*}_{\rm r,I_{so}}(f,d)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_{\rm r,I_{so}}(f,d)|^2 df}}. \tag{11}$$

The spectral density function $V_{\rm MF,f}$, $V_{\rm MF,I_{so}}$ of the signal and time domain waveform $v_{\rm MF,f}$, $v_{\rm MF,I_{so}}$ at the matched filter output can be written as

$$\begin{aligned} V_{\rm MF,f}(f,d) &= V_{\rm r,f}(f,d)\cdot H_{\rm MF}(f), &(12)\\ V_{\rm MF,I_{so}}(f,d) &= V_{\rm r,f}(f,d)\cdot H_{\rm MF,I_{so}}(f), &(13)\\ v_{\rm MF,f} &= \mathcal{F}^{-1}\{V_{\rm MF,f}(f,d)\}, &(14)\\ v_{\rm MF,I_{so}} &= \mathcal{F}^{-1}\{V_{\rm MF,I_{so}}(f,d)\}. &(15) \end{aligned}$$

Defining the UWB propagation loss, PL, as the maximum amplitude of the output signal waveform. Therefore, the UWB transmission loss in dB can be derived as

$$PL(d)[\mathrm{dB}] = -20\log(\max|v_{\rm MF}|), \tag{16}$$

where $v_{\rm MF}$ represents the signal in the time domain waveform at the matched filter output.

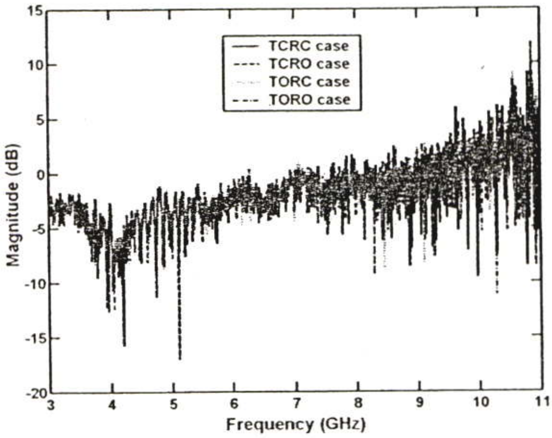


Fig.4: The antenna transfer function in each case.

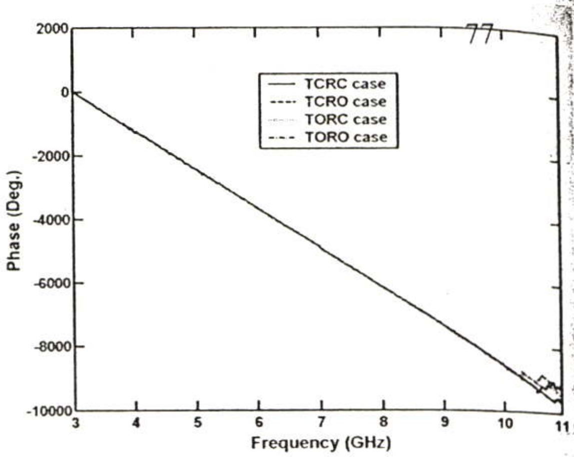


Fig.5: The phase of the antenna transfer function in each case.

Table 2: Transmission loss of output signal

	Transmission loss [dB]
Case 1 (TORO)	58.57
Case 2 (TORC)	58.72
Case 3 (TCRO)	58.39
Case 4 (TCRC)	58.54

Table 3: Relative gain (optimum and isotropic)

	optimum [dB]	isotropic [dB]
Case 1 (TORO)	-3.49	-7.21
Case 2 (TORC)	-3.49	-7.21
Case 3 (TCRO)	-3.49	-7.21
Case 4 (TCRC)	-3.49	-7.21

5. EXPERIMENT RESULTS

The free space transmission loss of UWB with desktop computer for network is studied.

Figure4 and 5 show the magnitude and the phase of the antenna transfer function in the cases of turn on and turn off each computers. First, turning off the desktop computer at Tx and Rx (TCRC). Second,turning off the desktop computer at transmitter and turning on the desktop computer at recevier (TCRO). Third,turning on the desktop computer at transmitter and turning off the desktop computer at recevier (TORC). Fourth turning on the desktop computer (TCRC) at Tx and Rx. The results of the magnitude in the cases are almost identical in the range 3 ~ 11 GHz. The phase of the antenna transfer function in each case are linear in the range 3~10 GHz but in the range 10 ~ 11 GHz are not linear because of noise and equipments error.

6. CONCLUSION

In this paper, we report the free space transmission loss of signal. The Friis' transmission formula is used to consider the channel. The TX and RX antennas are assumed to be indentical. The effects from desktop computer in the case of turn on and turn off each computer are considered. From the result, we can see that the turning on and turning off desktop computer do not take effect UWB wave propagations in the range from 3 ~ 11 GHz.

7. REFERENCES

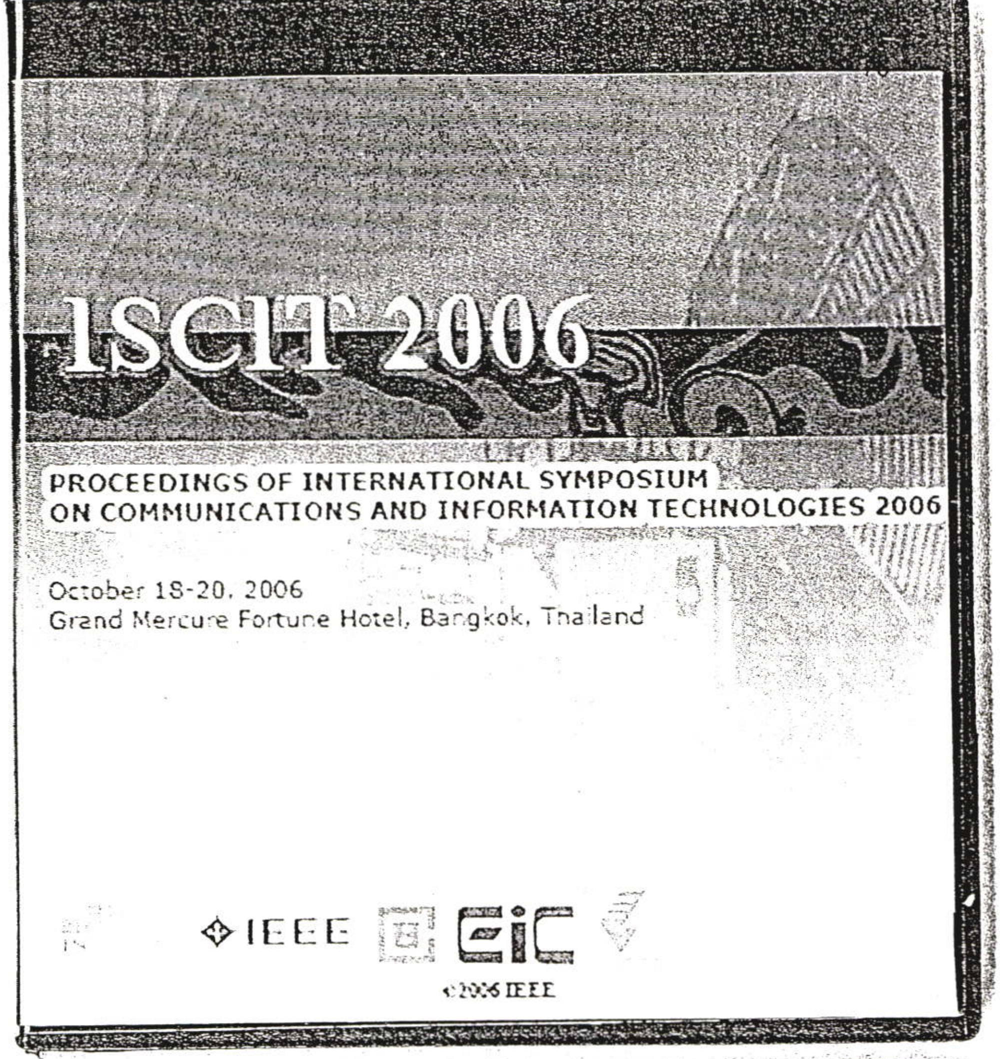
[1] Federal communications commission "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems," First Report and Order, ET Docket 98-153, FCC 02-48, April 2002.

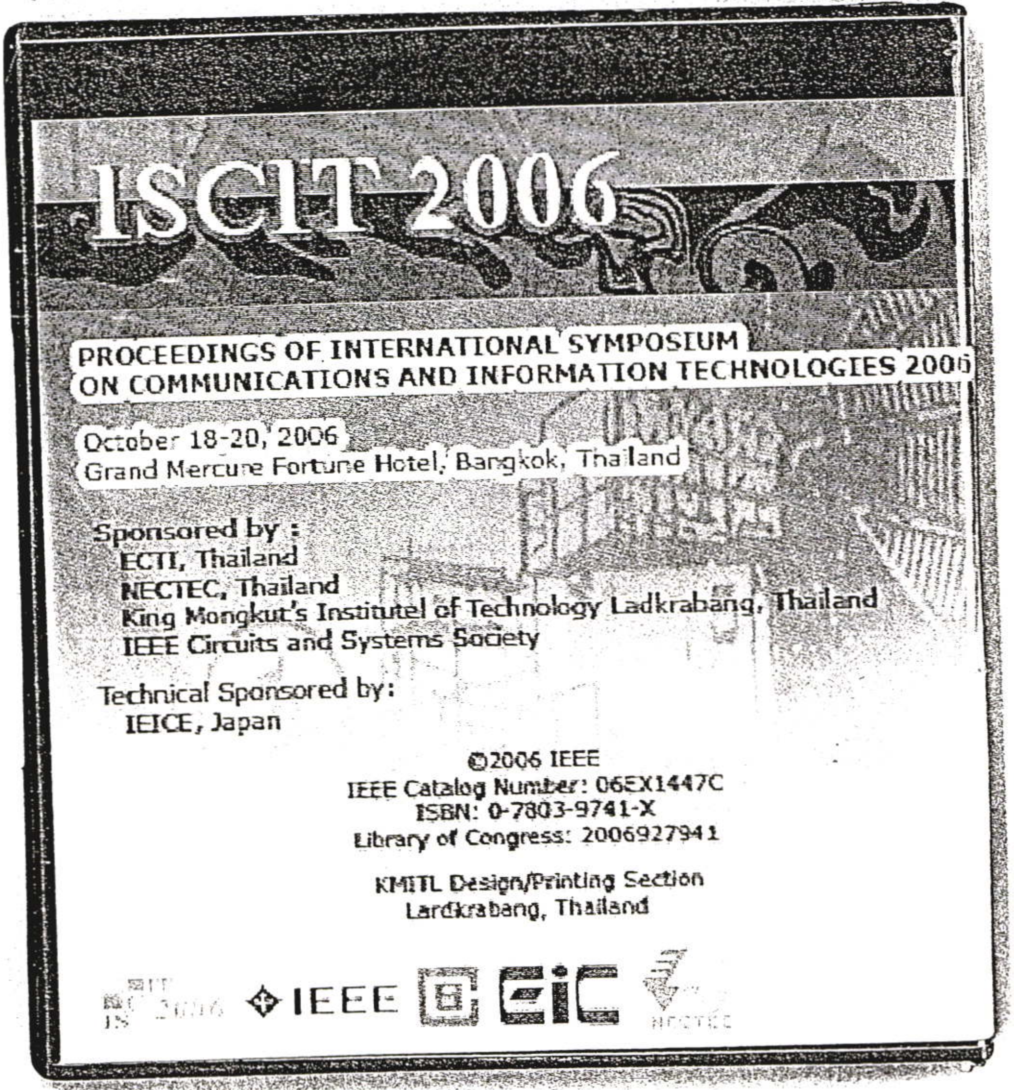
[2] I. Oppermann, M. Hamalaimen, and J. Iinatti, *UWB Theory and Applications*, John Wiley and Sons, Ltd.,2004.

[3] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Path loss and matched filter gain for UWB system," in *Proc. ISAP'04*, pp. 97-100, 2004.

[4] H. T. Friis,"A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, Vol.34, no 5, pp.254-256, May 1946.

[5] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada,"Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (Joint UWBST&IWUWBS2004).


ISCIT 2006
PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES 2006
October 18-20, 2006
Grand Mercure Fortune Hotel, Bangkok, Thailand
IEEE
EiC
©2006 IEEE


ISCIT 2006
PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES 2006
October 18-20, 2006
Grand Mercure Fortune Hotel, Bangkok, Thailand
Sponsored by :
ECTI, Thailand
NECTEC, Thailand
King Mongkut's Institutel of Technology Ladkrabang, Thailand
IEEE Circuits and Systems Society
Technical Sponsored by:
IEICE, Japan
©2006 IEEE
IEEE Catalog Number: 06EX1447C
ISBN: 0-7803-9741-X
Library of Congress: 2006927941
KMITL Design/Printing Section
Lardkrabang, Thailand
IEEE
EiC
NECTEC

Ultra Wideband Network in Short-Range Wireless System for Personal Computer

Anchana Khemphila[1], Sathaporn Promwong[1,2]
[1]Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
[2]Research Center for Communications and Information Technology(ReCCIT),
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Phone: +66 2 7372500-47 ext. 5140, Fax: +66 2 3264176
E-mail:s6064614@kmitl.ac.th

Abstract—**In this paper, we proposed the Ultra Wideband (UWB) for personal communication system. The definition of UWB signals released by the Federal Communications Commission (FCC) opened the way to both impulse and non-impulse UWB signal formats, as reflected within the IEEE 802.15.3a TG, devoted to the definition of a standard for UWB-based high bit rate WPANs. Nowadays wireless communication is widely used efficiently in high-speed data transferring method. So the factors that effected UWB system are required to known. In this research the small distance of wireless system are observed. The experiment frequency from 3-11 GHz and the transfer function of the transitter (TX) and receiver (RX) antennas are done using biconical antennas. The measurements are covered by using a vector network analyzer (VNA) and data are used to evaluate the UWB transmission properties based on the extension Friis's transmission formula. The relative gain, power delay profile and path loss of signals turn on and turn off computer network at Tx and Rx antennas are shown.**

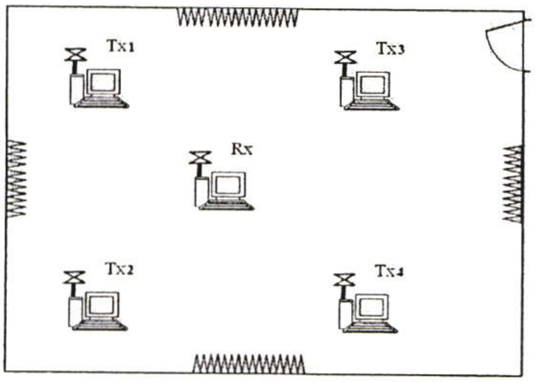


Fig. 1. Experiment Setup.

I. Introduction

Ultra-wideband (UWB) is a technology allows high data rate to be achieved over short distance with relatively simple equipment. UWB has a variety of possible applications, including short-range communication systems, location sensing and tracking, measurement, vehicular radar, surveillance and various radar imaging devices and systems. Recently, UWB has become an important topics. A revolutionary approach to radio communications, allow systems to operate across a range of frequency bands defined by federal communications commission (FCC) [1] with negligible interference to existing systems in that band. Ultra wideband (UWB) radio technology has been developed for using in short-range wireless systems such as wireless personal area networks (WPANs) or IEEE 802.15.a [2]. 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 systems are defined as systems that have either a relative bandwidth of more than 20%, or an absolute bandwidth of more than 500 MHz. 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). Hence, the characterizations of the indoor radio channel are very important part.Therefore we considered the body of everything to effect the UWB transmission, especially when desktop computers in network operated around the transmitter(Tx) and/or the receiver(Rx). Therefore the turning on and turning off the desktop computer in network effected to signal quality should be investigated .

II. Theoretical of Ultra Wideband

The Friis transmission formula is first expressed in terms of power [3]. Then, it is extended in terms of the transmission signal waveform to consider the transfer function H_{Friis} [4]. Defining the transmitted and received voltage signals as V_r and V_t, respectively, and assuming the polarization of transmitter (TX) and receiver (RX) antennas perfectly match . We obtain

$$\begin{aligned} H_{\mathrm{Friis}}(f,d) &= \frac{V_r(f,d)}{V_t(f,d)} \\ &= H_f(f,d)H_r(f)H_t(f), \end{aligned} \quad (1)$$

where H_f is the transfer function of free space, H_t and H_r are the transfer functions of the Tx and the Rx antennas, which are implicit functions of directions, and d is the transmitter-receiver (TR) separation distance. The transfer function of free space can be written as

$$H_{\mathrm{f}}(f,d) = \frac{c}{4\pi|f|d}\exp(-j2\pi f d/c) = \frac{1}{4\pi|f|t_0}\exp(-j2\pi f t_0), \quad (2)$$

where d is the TR separation distance, c is the velocity of light and $t_0 = d/c$ is the delayed time. The received waveform $v_{\mathrm{r}}(t,d)$ can be found by using

$$v_{\mathrm{r}}(t,d) = v_{\mathrm{t}}(t) \otimes h_{\mathrm{Friis}}(t,d), \quad (3)$$

where $v_{\mathrm{t}}(t)$ is the transmitted signal waveform, $\otimes$ is the convolution operator, $h_{\mathrm{Friis}}(t,d)$ is the impulse response of the extension of Friis' formula defined as

$$h_{\mathrm{Friis}}(t,d) = \mathcal{F}^{-1}\{H_{\mathrm{Friis}}(f,d)\}, \quad (4)$$

where $\mathcal{F}^{-1}\{\cdot\}$ is the inverse Fourier transform.

The spectral density function $V_{\mathrm{r,f}}$ and $V_{\mathrm{r,I_{so}}}$ the waveform in the time domain $v_{\mathrm{r,f}}$ and $v_{\mathrm{r,I_{so}}}$ of the received signal can be expressed as

$$V_{\mathrm{r,f}}(f,d) = V_{\mathrm{t}}(f)\cdot H_{\mathrm{c}}(f,d), \quad (5)$$

$$V_{\mathrm{r,I_{so}}}(f,d) = V_{\mathrm{t}}(f)\cdot H_{\mathrm{f}}(f,d), \quad (6)$$

$$v_{\mathrm{r,f}}(t,d) = \mathcal{F}^{-1}\{V_{\mathrm{r,f}}(f,d)\}, \quad (7)$$

$$v_{\mathrm{r,I_{so}}}(t,d) = \mathcal{F}^{-1}\{V_{\mathrm{r,I_{so}}}(f,d)\}, \quad (8)$$

where H_{c} is the measurement channel. At the Rx, the matched filter is introduced to maximize the SNR of the receiver output, as defined by

$$H_{\mathrm{MF}}(f) = \frac{\sqrt{2f_{\mathrm{b}}}\cdot V^{*}_{\mathrm{r,f}}(f,d)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_{\mathrm{r,f}}(f,d)|^2 df}}, \quad (9)$$

and for the isotropic case,

$$H_{\mathrm{MF,I_{so}}}(f) = \frac{\sqrt{2f_{\mathrm{b}}}\cdot V^{*}_{\mathrm{r,I_{so}}}(f,d)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_{\mathrm{r,I_{so}}}(f,d)|^2 df}}. \quad (10)$$

The spectral density function $V_{\mathrm{MF,f}}$, $V_{\mathrm{MF,I_{so}}}$ of the signal and time domain waveform $v_{\mathrm{MF,f}}$, $v_{\mathrm{MF,I_{so}}}$ at the matched filter output can be written as

$$V_{\mathrm{MF,f}}(f,d) = V_{\mathrm{r,f}}(f,d)\cdot H_{\mathrm{MF}}(f), \quad (11)$$

$$V_{\mathrm{MF,I_{so}}}(f,d) = V_{\mathrm{r,f}}(f,d)\cdot H_{\mathrm{MF,I_{so}}}(f), \quad (12)$$

$$v_{\mathrm{MF,f}} = \mathcal{F}^{-1}\{V_{\mathrm{MF,f}}(f,d)\}, \quad (13)$$

$$v_{\mathrm{MF,I_{so}}} = \mathcal{F}^{-1}\{V_{\mathrm{MF,I_{so}}}(f,d)\}. \quad (14)$$

Defining the UWB propagation loss, PL, as the maximum amplitude of the output signal waveform. Therefore, the UWB transmission loss in dB can be derived as

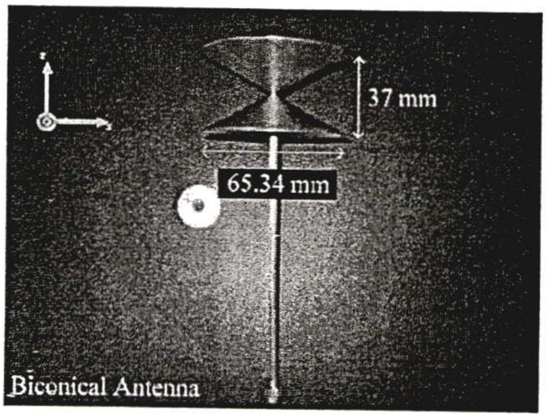


Fig. 2. Geometric and dimension of biconical antenna.

$$PL(d)[\mathrm{dB}] = -20\log(\max|v_{\mathrm{MF}}|), \quad (15)$$

where v_{MF} represents the signal in the time domain waveform at the matched filter output.

III. Description of Experiment Setup

There are two possible domains for performing the channel sounding to measure the UWB radio channel. First, the channel can be measured in the frequency domain (FD) using a frequency sweeping technique. With FD channel sounders, a wide frequency band is swept using a set of narrow-band signals, and the channel frequency response is recorded using a vector network analyzer (VNA). This corresponds to S_{21}-parameter measurement set-up, where the device under test (DUT) is a radio propagation channel. Second, the channel can be measured in the time domain (TD) by using channel sounders which based on impulse transmission or direct sequence spread spectrum signaling. However, UWB technology is proposed for short-range wireless applications. Therefore, the frequency domain approach is a good candidate to measure the UWB channel characteristics in the indoor environment [5].

A. *Measurement Equipments*

The radio channel measurement system consists of the VNA model HP-8510C, the S-parameter test set (HP-8514B), the frequency synthesized sweeper (HP-83620A), the pair of biconical antennas and the desktop computer. The VNA is operated in the response measurement mode, where PORT 1 is the Tx and PORT 2 is the Rx. The synthesized sweeper was set to sweep from 3 GHz to 11 GHz with full band of 801 frequency tones. Thus, the 801 total frequency resolutions for the FCC band can be obtained. The Tx and the Rx antennas were connected to the VNA via the double-shielded low-loss cables, which extend the channel length up to 1.70 m. The limitation of the dynamic range for the measurement system was 80 dB, including separation distance between antennas and cable losses. Fig.1 shows the instrument setup and Fig.2 shows the biconical antenna has the length of 65.34 mm and

TABLE I
EXPERIMENT PARAMETERS

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz - 11 GHz
Number of frequency point	801
Tx , Rx Antenna Height with Computer Table	1.35 m
Distance between Tx and Rx	
Tx1 and Rx	3.85 m
Tx2 and Rx	3.85 m
Tx3 and Rx	6.50 m
Tx4 and Rx	6.40 m
Height of Table	0.60 m

the wide of 37 mm. The antenna has typically an omni-directional radiation pattern, with a linearly phase response. Table 1 shows experiment setup.

B. Measurement Procedure

The UWB radio channel transfer function is measured as S_{21} in frequency domain by using the VNA. In the experiment, the antennas are placed at the height of 1.35 m for vertical polarization. The distance between Tx1 and Rx are 3.85 m, Tx2 and Rx are 3.85 m, Tx3 and Rx are 6.5 m, Tx4 and Rx are 6.4 m ,which the pair of biconicals are used. In the case of turning on and turning off all desktop computer in network at the transmitter(Tx) and the receiver(Rx) are turn on while acquiring the received signal on computer via GPIB interface.

IV. Signal Processing

A. UWB Signal Model

The UWB pulse is using amplitude shifted keying (ASK) pulse covers the FCC band (3.1 – 10.6 GHz) with the center frequency and bandwidth frequency set to f_0 = 6.85 GHz and f_b = 7.5 GHz,respectively. The transmitted pulse waveform used a single ASK pulse with the carrier frequency f_0 and the pulse length is set to be $2/f_b$. Then, the signal was band limits by the Nyquist roll-off filter with the roll-off factor α = 0 and passband $(f_0 - f_b/2, f_0 + f_b/2)$. Fig.3The transmitted UWB signal waveform.

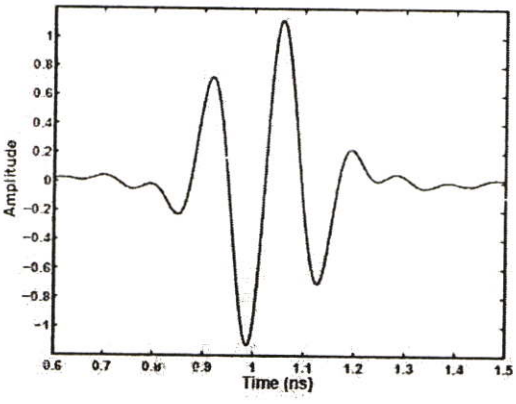


Fig. 3. The transmitted UWB signal waveform.

B. Data Processing and Analysis

The Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) is used to convert the frequency domain transfer function into the time domain channel response. After that, the antenna transfer function is analyzed by using the extension of Friis' transmission formula , which is computed from the channel transfer function and the Friis' transmission channel.Then,the transmission loss in all cases can be analyzed.

TABLE II
PATH LOSS OF OPTIMUM AND ISOTROPIC MATCHED FILTER

Case	Optimum [dB]	Optimum [dB]	Isotropic [dB]	Isotropic [dB]
	Turning on	Turning off	Turning on	Turning off
TX 1	56.094	55.305	63.347	62.972
TX 2	56.973	54.993	63.935	64.254
TX 3	56.518	58.605	66.824	67.515
TX 4	57.807	58.467	67.33	66.742

V. Results

Fig.4- Fig.7 show the power delay profile when turn on all computer in network and the power delay profile when turn off all computer in network.From the result the peak power and the delayed time of the main signals are similar. Therefore, the turning on and turning off computer network do not take effect to UWB signal [6]. Table 2 shows the list of path loss of turning on and turning off computer network for both optimum and isotropic matched filter. The difference is less than 2 dB.

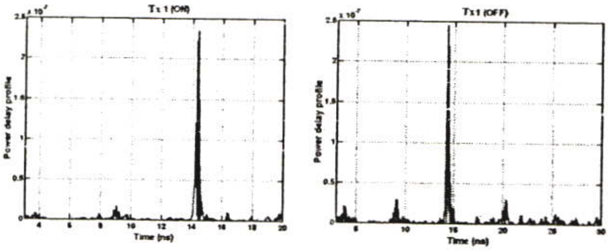


Fig. 4. The power delay profile at Tx1.

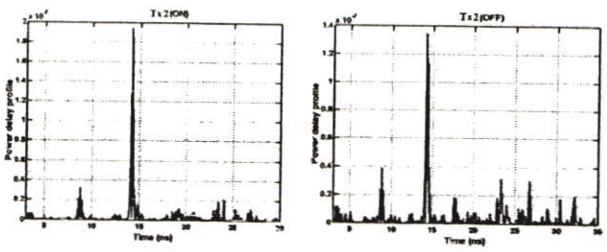


Fig. 5. The power delay profile at Tx2.

The path loss of optimum matched filter is average less than isotropic matched filter about 8.5196 dB. Table 3 shows the list of relative gain of turning on and turning off computer network for both optimum and isotropic matched filter.The difference of relative gain of turning on and turning off all computer network is not more than 3 dB. Relative gain of optimum is average less than isotropic matched filter about 8.5197 dB.

TABLE III

RELATIVE GAIN OF OPTIMUM AND ISOTROPIC MATCHED FILTER

Case	Optimum [dB]	Optimum [dB]	Isotropic [dB]	Isotropic [dB]
	Turning on	Turning off	Turning on	Turning off
TX 1	1.205	1.9935	-6.0487	-5.6734
TX 2	0.3255	2.3055	-6.6368	-6.9556
TX 3	5.3297	3.2426	-4.9759	-5.6671
TX 4	3.9065	3.2461	-5.6173	-5.0287

VI. CONCLUSION

In this paper, we report the Ultra Wideband Network in Short-Range Wireless System for Personal Compute.The Friis' transmission formula is used to consider the channel. The Tx and Rx antennas are assumed to be indentical. The turning on all computer and turning off all computer in network are considered. From the result,we can see that the turning on all computer in network do not take effect to UWB wave propagations and we can see that the turning off all computer in network do not take effect to UWB wave propagations also ,therefore we can conclude that the turning on and turning off all computer in network do not take effect to UWB wave propagations in the range from 3 GHz - 11 GHz.

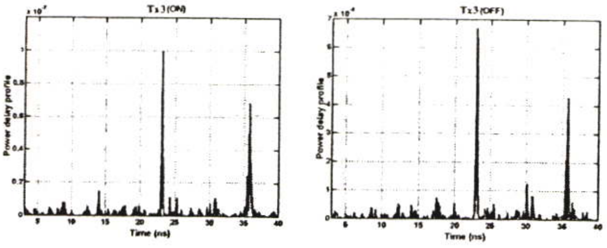


Fig. 6. The power delay profile at Tx3.

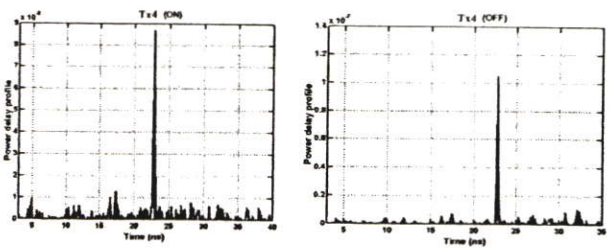


Fig. 7. The power delay profile at Tx4.

REFERENCES

[1] Federal communications commission Revision of part 15 of the commissions 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] IEEE Standard 802.15.1TM, June14, 2002. http://standard.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002_sectionone.pdf

[3] H. T. Friis,"A Note on a Simple Transmission Formula," Proc. IRE, Vol.34, no 5, pp.254-256, May 1946.

[4] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon, and P. Tangtisanon, "Path loss and matched filter gain for UWB system," in *Proc. ISAP'04*, pp. 97-100, 2004.

[5] I. Oppermann, M. Hamalaimen, and J. Iinatti, *UWB Theory and Applications*, John Wiley and Sons, Ltd.,2004.

[6] A.Khemphila and S. Promwong, , "Free Space Transmission Loss of UWB with Desktop Computer for Personal network," The International Technical Conference on Circuits/Systems,Computers and Communications(ITC-CSCC),vol.3,pp. 509-512,sept. 2006.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอัญชนา เข็มพิลา
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤศจิกายน 2521 ที่ อ.บรบือ จ.มหาสารคาม
ที่อยู่	40/192 หมู่ 3 ถนนสุขุมวิท 105 แขวงบางนา เขตบางนา กทม 10260
ประวัติการศึกษา	2543 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลงานวิจัย

พ.ศ.2549

Anchana Khemphila and Sataporn Promwong, , “Free Space Transmission Loss of UWB with Desktop Computer for Personal network,” **The International Technical Conference on Circuits/Systems,Computers and Communications(ITC-CSCC)**,vol.3, pp. 509-512, Sept. 2006.

Anchana Khemphila and Sataporn Promwong, "Ultra Wideband Network in Short-Range Wireless System for Personal Computer," **International Symposium on Communications and Information Technologies 2006 (ISCIT 2006)**, F4F-3, Oct. 2006.