การศึกษาการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่ง
ในสภาวะแวดล้อมช่องทางเดิน

A STUDY ON ULTRA WIDEBAND RADIO PROPAGATION
IN CORRIDOR ENVIRONMENTS

นิศากร ยิ่งขจร
NISAKORN YINGKAJOHN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่ง
ในสภาวะแวดล้อมช่องทางเดิน

A STUDY ON ULTRA WIDEBAND RADIO PROPAGATION IN CORRIDOR ENVIRONMENTS

นิศากร ยิ่งขจร

NISAKORN YINGKAJOHN

เลขหมู่.......................

เลขทะเบียน 74427

วัน,เดือน,ปี 28 ก.ย. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

A STUDY ON ULTRA WIDEBAND RADIO PROPAGATION IN CORRIDOR ENVIRONMENTS

NISAKORN YINGKAJOHN

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	การศึกษาการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่ง ในสภาวะแวดล้อมช่องทางเดิน
นักศึกษา	นางสาวนิศากร ยิ่งขจร
รหัสประจำตัว	46064609
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอถึงผลการศึกษาและวิเคราะห์ช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมทางเดินภายในอาคารบนพื้นฐานของข้อมูลการวัด โดยได้ออกแบบรูปแบบการวัดในสภาวะแวดล้อมทางเดินภายในอาคาร 2 รูปแบบ ซึ่งรูปแบบที่อยู่ในระดับที่สายตามองเห็นและรูปแบบที่ไม่ได้อยู่ในที่ระดับสายตา เพื่อพิจารณาถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณตลอดช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 3 กิกะเฮิร์ต ถึง 11 กิกะเฮิร์ต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัด และบันทึกผลที่ได้จากการวัดจะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์อย่างเช่น ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าการแผ่ประวิงเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งอันเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นในระดับที่สายตามองเห็นและแบบที่ไม่ได้อยู่ในที่ระดับสายตา เพื่อเป็นแนวทางสู่การนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะข้างต้นดังที่ได้กล่าวมา และเพื่อเป็นส่วนสำหรับอ้างอิงในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในส่วนของช่องสัญญาณที่ใช้งานในระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

Thesis Title	A Study on Ultra Wideband Radio Propagation in Corridor Environments Channels
Student	Miss. Nisakorn Yingkajohn
Student ID.	46064609
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This proposal proposes a study on ultra wideband radio propagation in corridor environments based on experimental data the characterization of UWB radio channel. There are two processes in measurement. First, the measurement with line-of-sight (LOS) environment. Second, the measurement non-line–of-sight (NLOS) for detected the result of signal about 3-11 GHz. By using a vector network analyzer (VNA) which is the main equipment for the measurement. From the measured, the results are take to analyzed the other parameters which show the effect of UWB channel. This proposal can be use for line of sight and non-line of sight environments and it can use for referent about to study and research for characteristic of free space channel.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัยรวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์นี้จากอาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการคุมสอบทุกท่านที่ช่วยสละเวลามาทำการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังช่วยชี้แนะและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ สุพรรณกูล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ชัย แช่มช้อย ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ อาจารย์ในกลุ่มงานวิจัยสื่อสารแบบไร้สายที่ให้คำแนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ผลการทดลองรวมทั้งคอยสั่งสอนให้มีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ อุบล และ คุณแม่สันต์หทัย ยิ่งขจร ที่ได้มอบชีวิตและคอยดูแลสั่งสอนให้ผู้วิจัยเติบโตจนถึงทุกวันนี้ด้วยความรักและความหวังดีตลอดมา อีกทั้งให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ในการเรียนมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยสามารถประสบความสำเร็จในชีวิตทั้งด้านการเรียนและการงาน

ขอขอบคุณกำลังใจพิเศษ คุณธรรมนูญ ดวงล้อมจันทร์ ที่คอยปกป้อง ดูแล ไปรับไปส่ง ไม่ว่าจะดึกขนาดไหน และให้กำลังใจผู้วิจัยด้วยดีมาตลอด อีกทั้งเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถฝ่าฝันอุปสรรคต่างๆ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณมณีรัตน์ มั่นยืน คุณรัชณีวรรณ์ วงษ์ชื่น คุณปิยะนุช ทะเสนฮด และคุณอุษา สุนทรวัฒน์ และเพื่อนๆ ที่ทำงานทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือทั้งในเรื่องงาน และเรื่องเรียน จนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในกลุ่มวิจัยการสื่อสารไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นิศากร ยิ่งขจร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...II

กิตติกรรมประกาศ...III

สารบัญ..IV

สารบัญตาราง..IX

สารบัญรูป...X

รายการคำย่อและสัญลักษณ์..XIV

บทที่ 1 บทนำ...1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา...1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา...4

1.3 สมมติฐานของการศึกษา...4

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..5

1.5 ขอบเขตการศึกษา..5

1.6 ขั้นตอนการศึกษา...6

บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง...8

2.1 กล่าวนำ..8

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง......................................10

2.2.1 พื้นฐานของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง..10

2.2.2 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง...11

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง....................................13

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา..................................13

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป...14

2.4 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง...15

2.5 การนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน...16

2.6 สรุป..17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง....................................18

3.1 กล่าวนำ..18

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง..18

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ..19

3.2.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ..20

3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง..................................21

3.4 การสูญเสียเชิงวิ..23

3.5 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรของฟรีส......................................25

3.6 แมตช์ฟิลเตอร์..25

3.7 ค่าการสูญเสียกำลังงาน...26

3.8 อัตราขยายของแถบกว้างยิ่ง...27

3.9 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP)........................27

3.10 การกระจายทางเวลา...28

3.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์..30

3.12 อัตราความผิดพลาดบิต...30

3.13 การจำลองผลโดยวิธีการประมาณค่าการถดถอยของกำลังสองแบบเชิงเส้น
ที่น้อยที่สุด (Linear Least-Squares Regression) 31

3.13.1 Least-Square Regression...32

3.13.1.1 Linear Regression...32

3.13.1.2 Polynomial Regression...35

3.14 สรุป...36

บทที่ 4 ขั้นตอนการจำลองและการวัดสัญญาณ..37

4.1 กล่าวนำ..37

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด...38

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์...38

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่...39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การจำลองการวัดภายในอาคาร.....41

4.3.1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (LOS).....41

4.3.1.1 ขั้นตอนการวัด.....41

4.3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....42

4.3.1.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง.....42

4.3.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (NLOS).....43

4.3.2.1 ขั้นตอนการวัด.....43

4.3.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....43

4.3.2.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง.....44

4.4 สรุป.....45

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....46

5.1 กล่าวนำ.....46

5.2 ผลการจำลองและการวิเคราะห์.....46

5.2.1 ผลการจำลอง.....46

5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับ.....46

5.2.1.1.1 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับแบบ LOS.....46

5.2.1.1.2 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับแบบ NLOS.....48

5.2.1.2 การวิเคราะห์อัตราการสูญเสียเชิงวิถี.....50

5.2.1.3 การวิเคราะห์ค่าประวิงเวลา.....52

5.2.1.4 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....53

5.2.1.5 การจำลองผลโดยวิธีการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้น.....55

5.2.1.5.1 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าการสูญเสียกำลังงานจากผลการวิเคราะห์.....55

5.2.1.5.2 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าการประวิงเวลาจากผลการวิเคราะห์.....56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1.5.3 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากผลการวิเคราะห์......................... 57

5.3 สรุปผลการทดลอง...57

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..60

6.1 สรุปผลการวิจัย...60

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา..61

เอกสารอ้างอิง...63

ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์...65

ประวัติผู้เขียน...76

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบการใช้แบนด์วิดท์ของเทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลไร้สาย [3], [4] 8

2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [3], [4]....14

2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [3], [4]....15

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง....34

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัด....36

5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา....51

5.2 ค่าประวิงเวลาของกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา....53

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา....57

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ประเภทของระบบสื่อสารไร้สายแบ่งตามการครอบคลุมพื้นที่.....................................2

1.2 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง [3], [4].........3

1.3 แบบแผนการศึกษาของงานวิจัย..6

2.1 สเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [3]...............................9

2.2 สเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร [3]..........................10

3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง........................18

3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น.......... 19

3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่......................19

3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนเวลา........................20

3.5 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร...21

3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีส และเพิ่มแมตซ์ฟิวเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [10].......23

3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน..26

4.1 เครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์...31

4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่..32

4.3 คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่..32

4.4 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่..................................33

4.5 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา..34

4.6 รูปแบบสัญญาณส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง..35

4.7 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา..36

4.8 รูปแบบสัญญาณส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง..37

5.1 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่าง สายอากาศทางด้านรับและส่ง 2.0 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา.........40

5.2 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนเวลาที่ระยะห่างระหว่าง สายอากาศทางด้านรับและส่ง 2.0 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา.........40

5.3 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่าง สายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา........41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.4 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนเวลาที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา.........41

5.5 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา............42

5.6 ผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนเวลาที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา............42

5.7 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...43

5.8 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...44

5.9 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...44

5.10 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...45

5.11 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...45

5.12 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...46

5.13 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 2 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา.......47

5.14 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 4.5 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...47

5.15 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 7 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา.......48

5.16 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 2 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...49

5.17 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 4.5 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...49

5.18 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 7 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา...50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.19 การสูญเสียเชิงวิถีในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาที่ได้จากการวัด....51

5.20 ค่าแผ่ประวิงเวลาในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา....53

5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและ แบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่ได้จากการวัด....54

5.22 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา....55

5.23 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าการประวิงเวลาของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา....56

5.24 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา....57

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมปลิจูด (Amplitude-Shift Keying)	ASK
หน่วยงานวิจัยชั้นสูงของสหรัฐ (Defense Advanced Research Projects Agency)	DARPA
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic field)	EM
สถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration)	FAA
คณะกรรมาธิการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
ช่องทางเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทั่วไป (General Purpose Interface Bus)	GPIB
ระบบดาวบอกพิกัด (Global Positioning Systems)	GPS
สถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	IEEE
ฟูริเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)	ITU
แนวทิศทางตรงหรือแนวระดับสายตา (Line of Sight)	LOS
ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power Delay Profile)	PDP
การสูญเสียเชิงวิถี (Path Gain)	PG
ความสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss)	PL
การมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (Pulse position modulation)	PPM
สายอากาศด้านรับ (Receiver antenna)	Rx
อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio)	SNR
สายอากาศด้านส่ง (Transmitter antenna)	Tx
ระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband)	UWB
กลุ่มทำงานเกี่ยวกับระบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band Working Group)	UWBWG
เครื่องวิเคราะห์วงจรข่าย (Vector Network Analyzer)	VNA
เทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบดับเบิ้ลซีดีเอ็มเอ	WCDMA
เครือข่ายไร้สายส่วนท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network)	WPAN

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

เดซิเบล (Decibel)	dB
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
เมตร (meter)	m
วินาที (Second)	s
นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
วัตต์ (Watt)	W
มิลลิวัตต์ (Milliwatt)	mW
ขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถดูดซึมหรือรับสัญญาณได้ (Effective area)	A_{er}
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), m	d
ความถี่ (Frequency), Hz	f
ค่าความถี่บนของระบบการสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบการสื่อสาร	f_L
อัตราขยายของสายอากาศรับ (Receiver gain), dB	G_R
อัตราขยายของสายอากาศส่ง (transmitter gain), dB	G_T
กำลังงานที่รับได้ (Receive power), W	P_R
กำลังงานที่ส่ง (Transmitt power), W	P_T
สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission coefficient)	S_{21}
ค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับ (Reflection coefficient)	S_{11}
เวลา (Time), s	t
ความยาวคลื่น (Wavelength), m	λ
อิมพีแดนซ์อินทรินซิค (Intrinsic impedance), $\eta = \sqrt{\mu/\varepsilon}, \Omega$	η
สภาพยอม (Permittivity), $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r, Fm^{-1}$	ε
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)	ε_r
สภาพยอมของอวกาศว่าง (Permittivity of free space), $\varepsilon_0 \approx 1/36\pi\times10^{-9}, Fm^{-1}$	ε_0

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

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
ค่าสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)	σ
ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง (Mean excess delay), s	$\bar{\tau}$
ค่าการแผ่ประวิง (RMS delay spread), s	σ_τ
ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)	ρ
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection coefficient)	Γ
ค่าปัจจัยการสูญเสียเนื่องจากการกระจัดกระจาย (Scattering loss factor)	ρ_s
ความสูงวิกฤต	h_c
ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพื้นผิวความสูง (The standard deviation of the height surface)	σ_h
ค่าฟังก์ชั่นเบลเซลล์อันดับที่ศูนย์ (Modified Bessel function of zero-th order)	I_0
ประสิทธิภาพสายอากาศส่ง	e_{tt}

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband: UWB) ได้เป็นที่ยอมรับว่ามีบทบาทและมีความสำคัญมากซึ่งเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้เป็นที่สนใจมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นงานวิจัยและการนำไปประยุกต์ใช้อีกทั้งมีบทบาทในชีวิตประจำวัน เนื่องจากปัจจัยรอบด้าน อย่างเช่น กลุ่มอุปกรณ์สื่อสาร ไม่ว่าจะเป็นมือถือ, ทีวี, วีดีโอ, เครื่องถ่ายเอกสาร และ เครื่อง PDA เป็นต้น อีกทั้งความสามารถในการเข้าถึงเข้าถึงข้อมูลโดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่ ทำให้ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ทำให้สามารถรองรับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่เกิดขึ้นใหม่อย่างรวดเร็วและสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น

เทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายมีการจัดกลุ่มหลายมาตรฐานที่แตกต่างกันไป เช่น คลื่นความถี่, แบนด์วิดท์, ความยาวคลื่น, การประยุกต์การใช้งาน และความสามารถในการครอบคุลมพื้นที่ให้บริการ ดังรูปที่ 1.1 แสดงประเภทของระบบสื่อสารไร้สายแบ่งตามการครอบคลุมพื้นที่ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทการครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

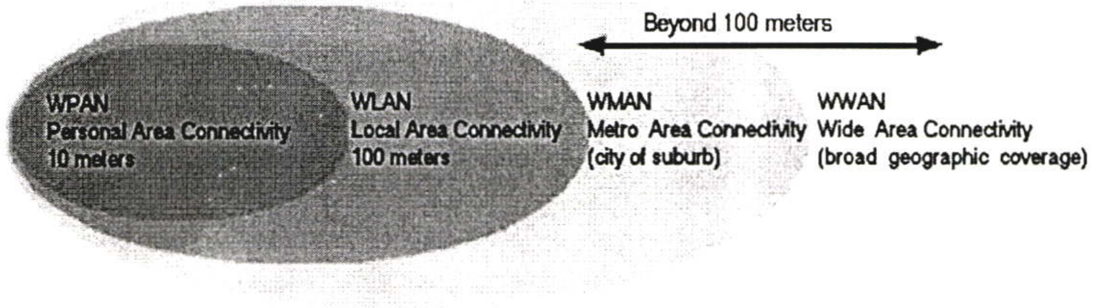
1. การเชื่อมต่อโครงข่ายบริเวณกว้างแบบไร้สาย หรือ WWAN (Wireless wide area network) มีความสามารถที่ครอบคลุมรัศมีการใช้งานมากกว่า 100 เมตร โดยจะสามารถเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างอาคารต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลกันเป็นบริเวณกว้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การเชื่อมต่อโครงข่ายระดับขอบเขตเมืองใหญ่แบบไร้สาย หรือ WMAN (Wireless metro area network) เป็นเครือข่ายสื่อสารไร้สายครอบคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง อย่างเช่น ผู้ให้บริการโทรศัพท์ มาตรฐานเทคโนโลยีที่รู้จักกันเป็นอย่างดี คือ IEEE 802.16d หรือไวแม็กซ์ทำงานที่ช่วงความถี่ 2 GHz ถึง 11 GHz

3. การเชื่อมต่อโครงข่ายเฉพาะที่แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless local area network) เป็นเครือข่ายที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อได้ในรัศมี 100 เมตร ปัจจุบันนี้โครงข่ายไร้สายเฉพาะที่พัฒนาบนมาตรฐาน IEEE 802.11 และอ้างอิงถึงมาตรฐานเครือข่าย Wi-Fi 802.11b เทคโนโลยีเครือข่ายแลนไร้สายที่ประสบความสำเร็จในเชิงการค้าเทคโนโลยีแรก WLAN ทำงานที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz ส่งข้อมูลที่ความเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

4. การเชื่อมต่อโครงข่ายบริเวณส่วนบุคคลแบบไร้สาย หรือ WPAN (Wireless personal area network) เป็นโครงข่ายไร้สายครอบคลุมพื้นที่การใช้งานในระยะรัศมีครอบคลุมไม่เกิน 10 เมตร เป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายในอาคารสำนักงาน หรือ การเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีแบบไร้สายที่นิยมคือ Wi-Fi , Bluetooth และเทคโนโลยี

ระบบสื่อสารระยะสั้น (Short range) แต่ในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้เป็นที่สนใจอย่างมากที่จะนำมาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล และเพื่อเป็นการรองรับความต้องการของผู้ใช้ในอนาคต จึงเป็นที่มาที่ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจของการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



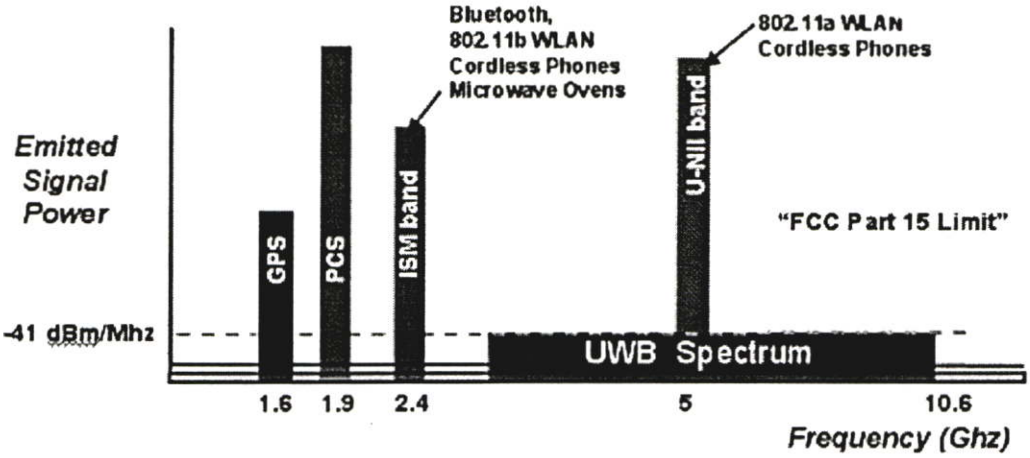
รูปที่ 1.1 ประเภทของระบบสื่อสารไร้สายแบ่งตามการครอบคลุมพื้นที่ [1]

สำหรับเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีแบบไร้สายรูปแบบใหม่ที่ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มพันธมิตร (Multi band OFDM alliance: MBOA) ที่ได้เริ่มก่อตั้งเมื่อเดือนมิถุนายน 2003 และปัจจุบันมีสมาชิกมากกว่า 50 ราย โดยเทคโนโลยีดังกล่าวจะแตกต่างจากเทคโนโลยีไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็น Wi-Fi หรือ Bluetooth ที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ในกรณีแบบแถบกว้างยิ่ง จะเป็นการส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์แคบๆ ผ่านคลื่นวิทยุความถี่กว้าง ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่ใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ ภายในระยะทาง 10 เมตร เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคล (Personal Area Network: PAN) ซึ่งช่วยให้สามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างหลากหลายเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communications commission: FCC) [2] อยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และ FCC ได้ตั้งความหวังไว้ว่าเทคโนโลยี แบบแถบกว้างยิ่ง จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบันจะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุดและจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ก็จะมีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปด้วย นอกจากนี้ยังได้นิยามสัญญาณ แบบแถบกว้างยิ่ง ว่าจะต้องมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 หรือ

สเปกตรัมแบนด์วิดท์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า สัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ดิวตีไซเคิล (Duty cycle) มีค่าต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ใช้งานต่ำไปด้วยในรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ ซึ่งทำให้อัตราการส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นเนื่องจากแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก

ในการใช้งานจริงของระบบนี้จะมีลักษณะการนำไปใช้ภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณและสัญญาณพัลส์ด้านรับในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั้นก็คือลักษณะ การส่งสัญญาณในรูปแบบที่อยู่ในระดับที่สายตามองเห็น (Line-of-sight: LOS) ได้และในรูปแบบที่ไม่ได้อยู่ในระดับที่สายตามองเห็นได้ (Non-line-of-sight: NLOS) ล้วนส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง เป็นต้น ซึ่งความผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากที่ต้องพิจารณา เนื่องจากหากสัญญาณที่รับได้ไม่ตรงกับสัญญาณที่ส่งมาโดยสิ้นเชิง นั่นแสดงว่าด้านรับจะไม่ได้ข้อมูลที่ถูกต้องทำการติดต่อสื่อสารด้วยประสิทธิภาพลง หรืออาจถือได้ว่าเป็นการล้มเหลวของการสื่อสาร และในระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลมีความต้องการความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูง เนื่องจากอยู่ในระยะทางที่สั้นๆการผิดเพี้ยนก็ไม่น่าจะมี และด้วยเทคโนโลยีของ แบบแถบกว้างยิ่ง ที่สามารถที่จะลดหรือแก้ไขปัญหานี้ได้

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาถึงการแพร่กระจายสัญญาณพัลส์หรือคุณลักษณะของช่องสัญญาณในแต่ละสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับวิจัยหรือปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณให้ดีขึ้นในระบบแถบกว้างยิ่งต่อไปในอนาคต



รูปที่ 1.2 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง [3], [4]

นอกจากนี้ประโยชน์ของระบบแถบกว้างยิ่งมีดังต่อไปนี้

1. สามารถหาตำแหน่งและระยะทางได้เที่ยงตรง เนื่องจากมีความละเอียดทางเวลาที่ดี [5]
2. มีผลกระทบจากเฟดดิงน้อย เนื่องจากมีความละเอียดทางเวลาที่ดี [6]
3. มีการเข้าถึงหลายทางเนื่องจากแบนด์วิดท์การส่งกว้างมาก [7]
4. ส่งด้วยอัตราข้อมูลความเร็วสูง [8]
5. ระบบการสื่อสารมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากส่งด้วยความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังที่ต่ำ
6. สัญญาณจะทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีเนื่องจากมีพลังงานในแถบความถี่ที่กว้าง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อทำการศึกษาช่องสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมทางเดินภายในอาคารที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณสัญญาณที่รับได้แบบแถบกว้างยิ่ง ได้พิจารณาการจำลองสภาวะแวดล้อมบริเวณทางเดินภายในอาคารอยู่ 2 รูปแบบ คือรูปแบบในระดับสายตา และรูปแบบไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับช่องสัญญาณในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz เพื่อให้ครอบคลุมย่านความถี่แบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และนำผลการจำลองและผลการวัดสัญญาณที่ได้ไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ โดยพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก คือ การลดทอนกำลังงาน ผลการกระจายทางเวลา และความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการวัดสัญญาณทั้ง 2 แบบ เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งได้นำหลักการคำนวณตามสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) [9] และประยุกต์ใช้สมการของฟรีส (Extension of Friis') [10] เพื่อมาปรับใช้กับระบบ แบบแถบกว้างยิ่ง ในการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และในงานวิจัยจากนั้นสัญญาณที่รับได้จะนำมาผ่านวงจรกรองแบบแมตช์ (Matched filter) ที่เป็นแบบอัตราขยายของวงจรกรองแมตช์ (Optimum matched filter) [10] เปรียบเทียบกับแบบในอวกาศว่าง (Isotropic matched filter) เพื่อให้ได้สัญญาณทางด้านรับที่ดีที่สุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการการใช้งานในอนาคต จึงได้มีการจำลองการวัดในสภาพแวดล้อมบริเวณทางเดินภายในอาคารซึ่งมีขนาดช่องทางเดินภายในอาคารทั่วไป โดยมีการจำลอง 2 รูปแบบด้วยกันคือรูปแบบที่ระดับสายตามองเห็น และรูปแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา การส่งสัญญาณจากสายอากาศทางด้านส่งไปยังสายอากาศทางด้านรับได้พิจารณาใช้สายอากาศแบบไบโคนิคอลมี

คุณสมบัติการกระจายคลื่นแบบรอบตัว และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) เป็นเครื่องมือสำหรับการวัดและบันทึกผลการแพร่กระจายคลื่นของช่องสัญญาณที่ได้ทำการจำลองไว้ทั้ง 2 รูปแบบจากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยพิจาณาจากพารามิเตอร์ ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าการแผ่ประวิงเวลาบนพื้นฐานสมการการส่งผ่านของฟรีส [10]

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

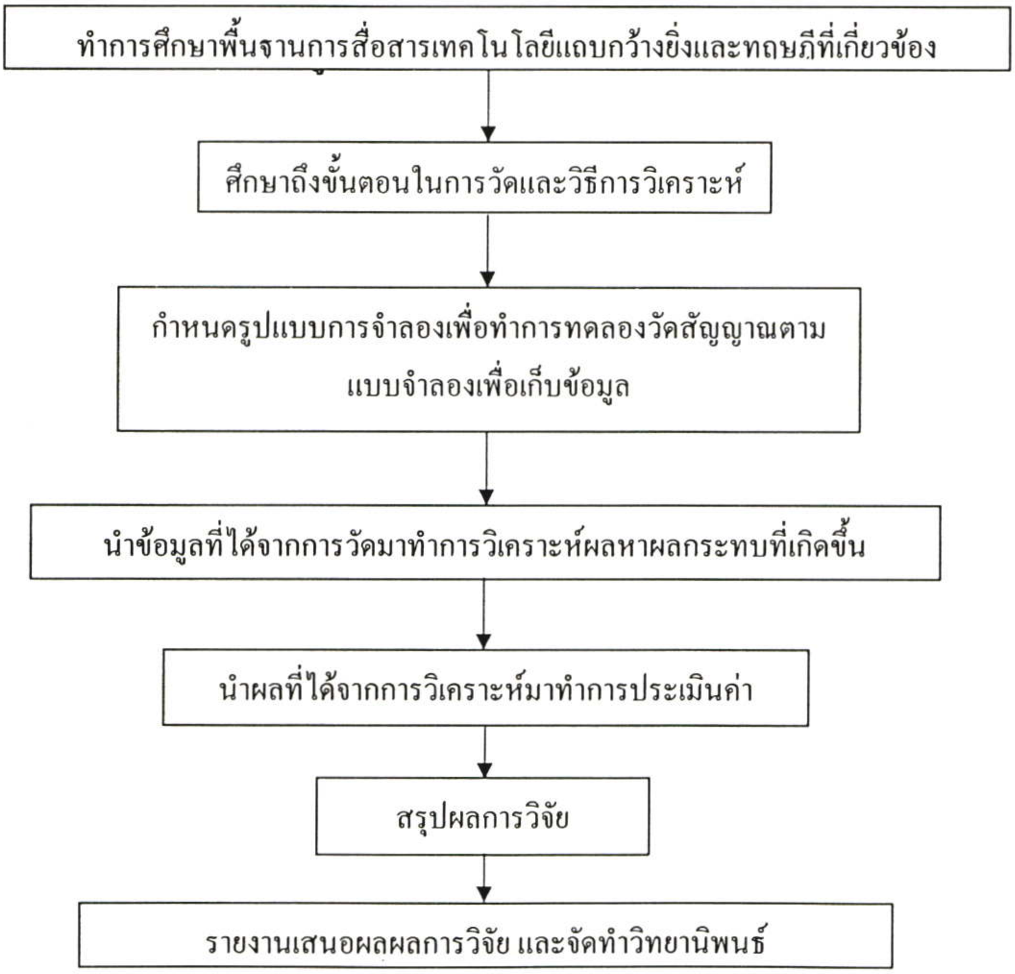
วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่งบริเวณทางเดินภายในอาคาร โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ภายใต้ข้อกำหนดของ FCC และสายอากาศที่ใช้ทั้งด้านรับและด้านส่งเป็นสายอากาศแบบไบโคนิคอลที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว (Omni-directional) และได้กำหนดรูปแบบของการวัด 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบที่หนึ่งสามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และรูปแบบที่สองไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตาได้ เพื่อเปรียบเทียบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ หลังจากที่ได้ทำการวัดแล้วจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบถึงผลการลดทอนของกำลังงานที่รับได้ทั้ง 2 แบบ โดยผลที่ได้แสดงถึงการถูกลดทอนของกำลังงานในมองเห็นได้ในระดับสายตา และแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา ตามระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและรับที่ระยะ 2 เมตร และระยะห่างเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 เมตร แต่ไม่เกิน 10 เมตร และแสดงถึงผลการกระจายทางเวลาของช่องสัญญาณ โดยลักษณะในการวัดนั้นก็ได้ทำเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาจากการวัดจะเห็นว่าจะมีการวัดในกรณีที่เป็นมองเห็นได้ในระดับสายตา และ แบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลของการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ แบบแถบกว้างยิ่ง ระหว่างแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และ แบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา จากนั้นนำสัญญาณที่รับได้มาทำการวิเคราะห์ในพารามิเตอร์หลักๆ คือ 1.การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) เพื่อทำการหาค่าการผิดเพี้ยนของสัญญาณ 2.การแผ่ประวิงเวลา (RMS delay spread) เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระจาย ทางเวลา และ 3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เพื่อหาประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณส่ง อีกทั้งยังทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณทางด้านรับโดยผ่านสมการวงจรกรองแบบแมตช์ โดยในงานวิจัยได้ทำการเลือกสมการแมตช์ฟิวเตอร์ที่เป็นแบบอัตราการขยายแมตช์ฟิวเตอร์ และ แมตช์ฟิวเตอร์กรณีในอากาศว่างนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาแมตช์ฟิวเตอร์ที่ทำให้อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR) สูงที่สุดเพื่อที่จะสามารถนำแบบจำลองที่ได้มาศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบแบบแถบกว้างยิ่งต่อไป

1.5 ขอบเขตการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเทคโนโลยีวิทยุแถบกว้างยิ่งและได้ทำการวัดการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแถบกว้างยิ่งในช่องสัญญาณบริเวณทางเดินภายในอาคาร โดยได้ทำการวัดบริเวณทางเดินภายในอาคารทั้ง 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบที่หนึ่งสามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และรูปแบบที่สองไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตาได้ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ในการวัดค่าและบันทึกผลเพื่อหาการผิดเพี้ยนของสัญญาณที่รับได้จะผ่านสมการทางคณิตศาสตร์แมตช์ฟิวเตอร์เพื่อให้ค่าสัญญาณที่รับได้มีค่า SNR สูงที่สุดและนำมาทำการวิเคราะห์ในเทอมของการสูญเสียเชิงวิถี, ค่าแผ่ประวิงเวลา และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นนั้น ในการทำวิทยานิพนธ์มีแบบแผนงานและขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แบบแผนการศึกษาของงานวิจัย

จากแบบแผนการศึกษาของงานวิจัยจึงได้ทำการแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัยและขั้นตอนการศึกษา ส่วนในบทที่ 2 จะได้กล่าวถึงระบบสื่อสาร แบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสาร แบบแถบกว้างยิ่ง กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง และบทสรุป ส่วนในบทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการวัดช่องสัญญาณของการสื่อสารย่านความถี่แถบกว้างยิ่ง เช่น การวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยใช้หลักการของฟรีส ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ค่าการประวิงกำลังงานและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นต้น และบทที่ 4 จะได้กล่าวถึงการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยอธิบายถึงขั้นตอนการออกแบบจำลองการวัดซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา และส่วนของการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด สายอากาศที่ใช้ในการวัดและทดสอบ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในการวัด และรูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับบทที่ 5 จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิจัย อีกทั้งได้ทำการวิเคราะห์สัญญาณและสรุปผลการวิจัยของการวัดคลื่นสัญญาณ สุดท้ายจะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์และผลจากการประเมินค่าโดยวิธีการปรับปรุงการวัดและสภาพแวดล้อม ส่วนในบทสุดท้ายบทที่ 6 จะได้กล่าวสรุปผลจากการวิจัยและข้อเสนอแนะของการศึกษาวิจัยที่ได้ทำมานี้ โดยได้สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงกับช่องสัญญาณในระบบ แบบแถบกว้างยิ่ง และประเมินผลของการทำวิจัยนี้ รวมไปถึงข้อเสนอแนะและแนวทางในการที่จะนำวิทยานิพนธ์นี้ไปพัฒนาต่อไป

บทที่ 2
ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

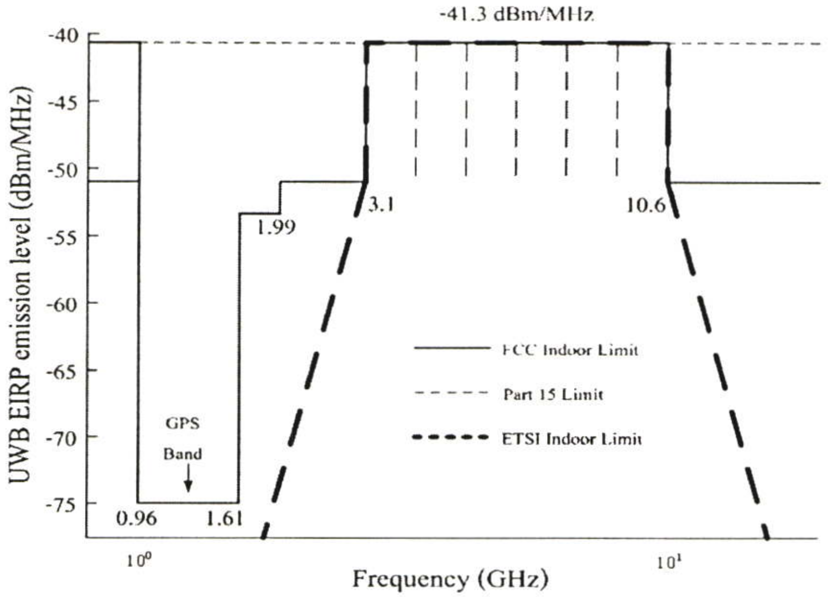
เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีประวัติย้อนหลังยาวนานตั้งแต่สมัยที่มาร์โคนี (Marconi)ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก็ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 ซึ่งใน 20 ปีที่ผ่านมาระบบแถบกว้างยิ่งถูกใช้สำหรับระบบเรดาห์ (Radar system) ระบบตรวจสอบ (Sensing) และระบบการสื่อสารของกองทัพ ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ. 2002 ที่ผ่านมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ FCC ออกมาชี้ขาดที่ระบบแถบกว้างยิ่งควรถูกใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านช่องการสื่อสารข้อมูลเช่นเดียวกับระบบเรดาห์และการใช้เพื่อความปลอดภัยและแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งที่ได้รับการจัดสรรอยู่ที่ 7.5 GHz ซึ่งเป็นแบนด์วิดท์ที่ได้รับการจัดสรรที่กว้างที่สุดเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีแถบแคบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการใช้แบนด์วิดท์ของเทคโนโลยีสื่อสารข้อมูลไร้สาย [3], [4]

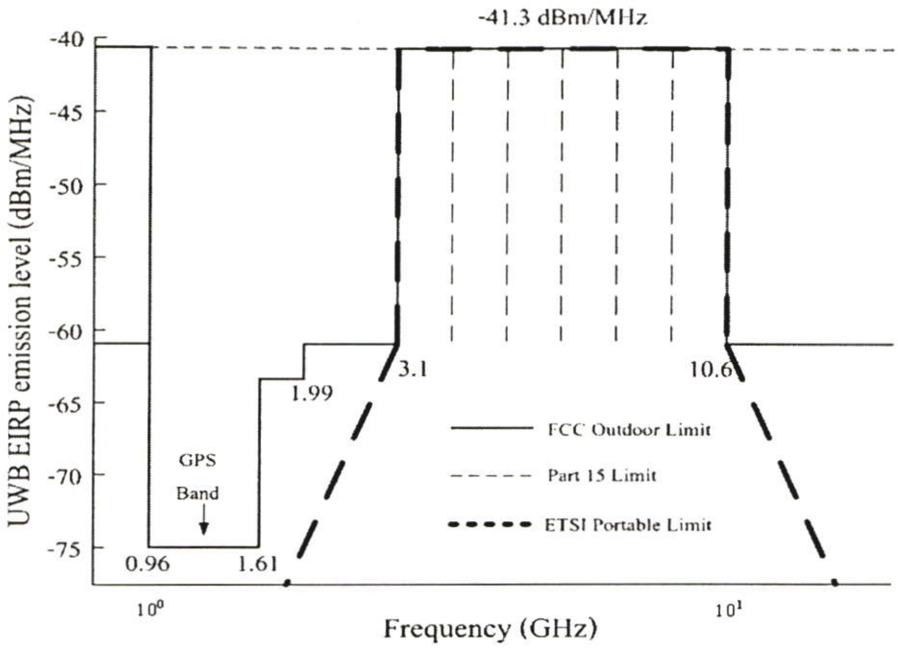
ระบบ	แบนด์วิดท์	การควบคุมในสหรัฐอเมริกา
AMPS or D-AMPS (1G or 2G cellular)	0.03 MHz	แถบความถี่ที่ต้องขออนุญาตใช้
GSM (2G cellular)	0.2 MHz	แถบความถี่ที่ต้องขออนุญาตใช้
IS-54 CDMA (2G or 3G cellular)	125 MHz	แถบความถี่ที่ต้องขออนุญาตใช้
Wideband CDMA (3G cellular)	5 MHz	แถบความถี่ที่ต้องขออนุญาตใช้
IEEE 802.11a or 802.11b (Wireless LAN)	25 MHz	อยู่ในแถบความถี่ของ ISM หรือ U-NII
UWB (communications type)	7,000 MHz	จำกัดพลังงานโดยข้อกำหนดส่วนที่ 15

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิตช์ตัดต่อที่มีความเร็วสูงทำให้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2

ประการคือ การส่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งใช้แถบความถี่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งไม่เกิน - 41.3 dBm/MHz ทั้งภายในและภายนอกอาคารดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งจากการที่ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่าง ๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากพื้นผิวที่มีความขรุขระที่มีต่อช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยี ข้อกำหนดของเทคโนโลยี ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและวิจัยในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมทางความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร [3]



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมทางความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร [3]

2.2 ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือเป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์เหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์โดยจะเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งโดยจะแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิร์ตและเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mbps ในระยะประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ดิวตีไซเคิลมีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังงานที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ โดยรูปที่ 2.3 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่

2.2.1 พื้นฐานของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึงอิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short – pulse) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrier less) แถบกว้างยวดยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างเร็ว (Fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (Mono – pulse)

ระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์และระบบเรดาห์แบบอิมพัลส์ทั้งสองระบบมีการใช้ประโยชน์จากพัลส์ที่มีขนาดสั้นมากในการส่งข้อมูล ซึ่งผลที่ได้จากสเปกตรัมที่กว้างยิ่ง สำหรับการ

ประยุกต์ใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารจะมีการใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่ง (Pulse position modulation; PPM) สัญญาณพัลส์ในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวนดังนั้นจึงทำการเกิดการบดบัง (Interception) และการตรวจจับ (Detection) ที่ค่อนข้างยากมาก เนื่องจากระดับของความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power spectral density) ที่ต่ำมาก และสัญญาณพัลส์ในระบบแถบกว้างยิ่งจะมีการแทรกสอดที่น้อยมากกับระบบวิทยุแถบแคบ (ขึ้นกับข้อกำหนดของประเทศหรือนานาชาติ)

2.2.2 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนและต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความต้องการในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up – conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในกระบวนการกลับกันการแปลงความถี่ลง (Down – conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (Pseudo – random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับชั้นของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางโดเมนเวลา (Time modulation)

มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถีและการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (Tracking)

มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตามด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั่นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรมเช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองเป็นต้น

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบระบบนี้กับเทคโนโลยีอย่าง Wi – Fi หรือ Bluetooth แล้วก็จะพบว่าระบบแถบกว้างยิ่งจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำรวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ โดยระบบแถบกว้างยิ่งจะมีความเร็วในการส่งรับข้อมูลสูงถึง 480 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตรและความเร็ว 110 Mbps ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในขณะที่ Wi – Fi สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุด 54 Mbps และหากเปรียบเทียบกับ Bluetooth ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบันระบบแถบกว้างยิ่งมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า Bluetooth ถึง 100 เท่า ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าวระบบแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประเภทให้ความบันเทิงเริงใจภายในบ้าน

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นคือการจดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra – wideband working group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European telecommunications standards institute: ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union: ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์กรบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal aviation administration: FAA) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใด ๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense advanced research project agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B_f) ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

$$B_f = 2\frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} = \frac{f_H - f_L}{f_C} \tag{2.1}$$

โดยที่ f_L คือความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

และ f_C คือความถี่กลาง

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในละภายนอกอาคาร [3], [4]

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

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทาง FCC ได้ออกกฎส่วนรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค. ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรอบคอบกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร [3], [4]

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

โดยในตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคาร ตามลำดับ

2.4 การนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งาน

เทคโนโลยี UWB คือเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะใกล้ที่ใช้แถบความถี่ในช่วงตั้งแต่ความถี่ 3.1-10.6 GHz และมีอัตราการส่งข้อมูลมากที่สุดเท่ากับ 110 Mb/s ภายในรัศมี 10 เมตร และ 200 Mb/s ภายในรัศมี 4 เมตร จะเห็นได้ว่าระบบ UWB สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก และในการใช้งานจริงเราสามารถนำ ระบบ UWB มาประยุกต์ใช้งานได้ 2 โหมด เมื่อเราแบ่งตามอัตราการส่งข้อมูล คือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลสูง หมายถึง มีอัตราการส่งข้อมูลเกินกว่า 100 Mb/s ในระยะใกล้ อีกโหมดคือ โหมดอัตราการส่งข้อมูลต่ำและค้นหาตำแหน่ง หมายถึงมีอัตราการส่งข้อมูลลดลงเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารแบบไร้สายสามารถใช้บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำเพื่อว่าในอนาคตเราจะสามารถนำเทคโนโลยี UWB มาประยุกต์ใช้งานต่างๆ ได้ ดังนั้นจึงแบ่งการใช้งานในอุตสาหกรรมและในการบริการเป็นดังนี้

2.4.1 โครงข่ายส่วนบุคคลไร้สายความเร็วสูง (High–data-rate-wireless personal area network; HOR-WPAN) คือโครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายปานกลาง (5-10 ชิ้นต่อห้อง) มีอัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 100-150 Mb/s ภายในระยะ 1 ถึง 10 เมตร

2.4.2 การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ตไร้สาย (Wireless ethernet interface link; WEIL) เป็นการขยายแนวคิดเพิ่มเติมจากการส่งสัญญาณที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูงให้สูงยิ่งขึ้นไปอีก (1 Gb/sec, 2.5 Gb/sec) ซึ่งการเชื่อมโยงไร้สายแบบนี้จะสามารถทำได้ภายในระยะสั้นมาก หรือภายในรัศมี 1-2 เมตร การเชื่อมโยงอินเตอร์เน็ตไร้สายเกิดขึ้นได้มาจากความต้องการของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการให้การเชื่อมโยงโครงข่ายอีเทอร์เน็ตที่ใช้สายเคเบิลเปลี่ยนไปใช้แบบไร้สาย

แทน และจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต้องการให้การส่งสัญญาณวีดีโอแบบไร้สายระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับฉาก LCD มีคุณภาพสูง (Wireless digital video interface)

2.4.3 โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (Intelligent wireless area network: IWAN) คือ โครงข่ายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสูงที่อยู่เป็นพื้นที่ภายในหรือพื้นที่สำนักงานทั่วไปภายในระยะ 30 เมตร

2.4.4 โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (Outdoor peer-to-peer network: OPPN) เป็นโครงข่ายสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร UWB ที่อยู่บริเวณภายนอก เป็นไปตามความต้องการของตลาดการให้บริการที่จะเกิดขึ้นมาใหม่ สำหรับ เครื่อง PDA ที่จะส่งข้อมูลหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันและอย่างร้านให้บริการข้อมูลดิจิตอล ความเร็วสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อความหนังสือพิมพ์, รูปภาพ, ให้บริการเช่าม้วนเทป วีดีโอ, วีซีดี, ดีวีดี อัตโนมัติ เป็นต้น

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

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องอาทิเช่น FCC, UWBWG, ETSI หรือ ITU รวมถึงมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง กำหนดการใช้งานไว้โดยสถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเลคทรอนิกส์ อีกทั้งแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ ที่ระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งนำมาประยุกต์ใช้งาน เป็นต้น ซึ่งหัวข้อทั้งหมดเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นองค์ความรู้เบื้องต้นของเทคโนโลยีนี้สามารถนำไปศึกษาค้นคว้าและวิจัยในระบบแถบกว้างยิ่งเพื่อเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีระบบแถบกว้างยิ่ง หรือเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอื่นๆ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.1 กล่าวนำ

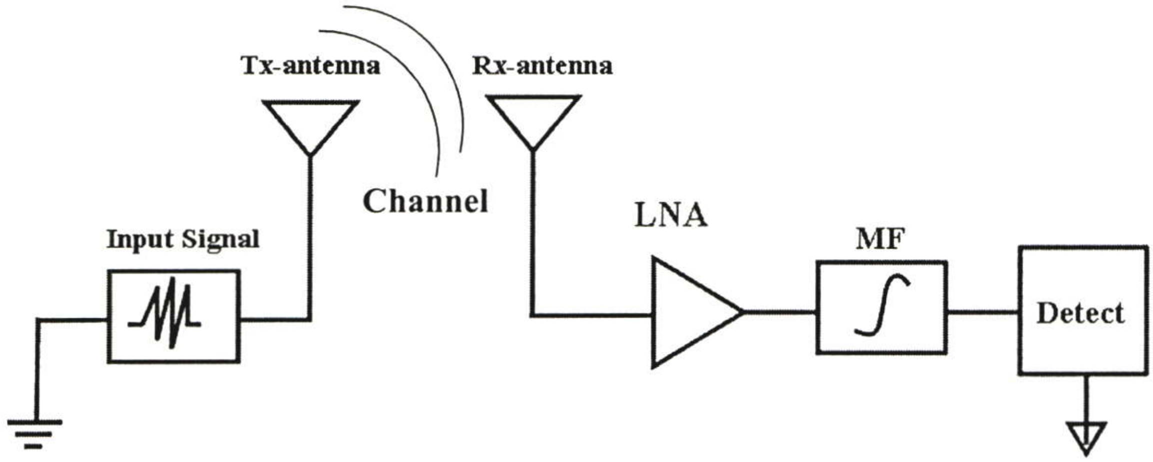
ในสภาวะแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นนั้นการส่งผ่านสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับจะเกี่ยวโยงไปถึงลักษณะของช่องสัญญาณ โดยในทฤษฎีของการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์นั้นได้มีทฤษฎีและเทคนิคในการวัดสำหรับการจำลองแบบการแพร่กระจายของสัญญาณไว้แล้ว โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งทั้งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญด้วยผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทางขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่นๆ ล้วนแล้วแต่เป็นการประเมินค่าความสำเร็จของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ถ้าช่องสัญญาณมีคุณลักษณะที่ดีแล้วผลของการรบกวนและการแทรกสอดของแหล่งกำเนิดสัญญาณอื่นๆ จะสามารถที่จะทำให้ลดลงได้โดยการออกแบบเครื่องส่งและเครื่องรับที่เหมาะสม โดยลักษณะสำคัญอีกอย่างหนึ่งของการจำลองช่องสัญญาณวิทยุคือการตรวจสอบถึงฟังก์ชันการกระจายตัวของพารามิเตอร์ช่องสัญญาณ โดยทั่วไปการกระจายตัวเหล่านี้มักจะได้มาจากผลการวัดหรือผลการจำลองบนพื้นฐานของความถูกต้องหรือมีลักษณะตามสภาวะแวดล้อมที่ชัดเจน

ในการจำลองแบบช่องสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้นมีหลักเกณฑ์จำนวนมากที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนของลักษณะการเกิดของช่องสัญญาณ โดยความแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งและเทคนิคการจำลองช่องสัญญาณเนื่องด้วยสภาพความเป็นจริงในการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งหรือผลที่ขึ้นอยู่กับความถี่ที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีพารามิเตอร์สำคัญๆ ที่เกี่ยวข้องคือ การผ่านทะลุ การสะท้อน การสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณและผลอื่นๆ ควรที่จะนำมาพิจารณาตามความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในบทที่ 3 นี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และในส่วนของการวิเคราะห์จะแสดงในบทที่ 5 ต่อไป

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นในการจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่งเนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการ

ส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์โดยผ่านแมตช์ฟิลเตอร์เพื่อให้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ว่าที่ค่าเป็นบิต 0 หรือ บิต 1 และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ

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

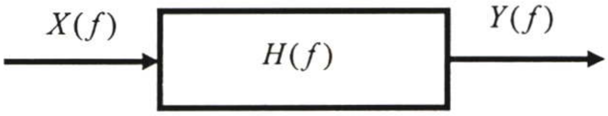
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น

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

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุทของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนความถี่

3.2.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ

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

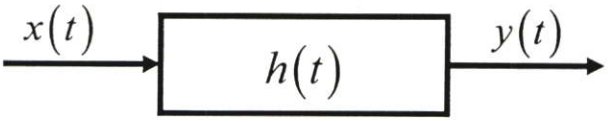
ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

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

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

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

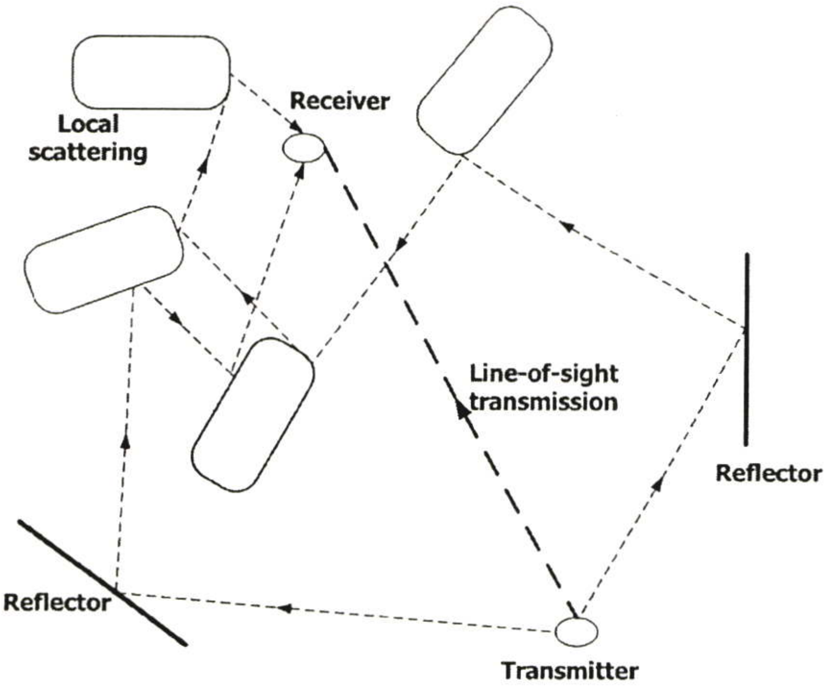
จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ (3.3) จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่าฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุทที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนตามเวลาค่าเอาต์พุท $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุท $x(t)$ ใด ๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทของระบบในโดเมนเวลา

3.3 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเทคนิคการจำลองแบบช่องสัญญาณนั้นจะทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยไม่ได้มีลักษณะตรงกันกับระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ได้พิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการจำลองแบบช่องสัญญาณอีกทั้งด้วยความสะดวกและง่ายในแบบจำลองสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งอาทิเช่น แบบจำลองความไม่ต่อเนื่องทางด้านเวลา (Discrete time) แบบจำลองหลายวิถี (Multipath) หรือแบบจำลองผลตอบสนองอิมพัลส์ เหตุเพราะว่า ตำแหน่งของเพดาน, กำแพง, ประตู, เฟอร์นิเจอร์และคนที่อยู่ภายในอาคารจะส่งผลถึงการส่งผ่านสัญญาณที่เกิดขึ้นหลายเส้นทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับดังรูปที่ 3.5 [5]



รูปที่ 3.5 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร [5]

เพราะฉะนั้นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่เข้ามาถึงยังเครื่องรับนั้นจะมีขนาด เฟส และเวลาประวิง (time delay) ที่แตกต่างกันโดยแบบจำลองนี้ในแกนของเวลาประวิงจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆที่เรียกว่า " bins" ซึ่งในแต่ละ bin นั้นได้ถูกสมมุติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบในแต่ละส่วนของสัญญาณแบบหลายวิถี โดยความเป็นไปได้ของเส้นทางของสัญญาณที่มากกว่าหนึ่งเส้นทางภายใน bin นั้นจะถูกแยกออกไปซึ่งความกว้างที่เหมาะสมของ bin นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของลักษณะจำเพาะในการวัดนั้น ๆ โดยปรากฏการณ์ของการเกิดการแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีนั้นสามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นไปตามผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่ต่อเนื่องของช่องสัญญาณดังสมการที่ (3.4)

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

โดยที่ α_l คือ เฟคเตอร์การลดทอนทางแอมปลิจูดในเส้นทางที่ l และเป็นฟังก์ชันของเวลาและระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

T_m คือ ความละเอียดทางเวลาที่น้อยที่สุดของพัลส์

L คือ จำนวนขององค์ประกอบหลายวิถี

$\delta(t)$ คือ ฟังก์ชัน Dirac delta

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ช่องสัญญาณ

3.4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณโดยใช้หลักการของฟรีส

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สายโดยปรกตินั้นนิยมที่จะใช้สมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formula) [9] ในการวิเคราะห์แต่ว่าสมการนี้ไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสมการนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณที่ส่งไปนั้น อาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจาก คุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศจึงได้มีการขยายสมการของฟรีส (Extension of Friis') [10] เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีส ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f)G_r(f)G_t(f) \tag{3.5}$$

ซึ่งเมื่อ G_r และ G_t คือ อัตราการขยายสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่ง

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \tag{3.6}$$

ซึ่งเขียนในรูปแบบของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณคือ

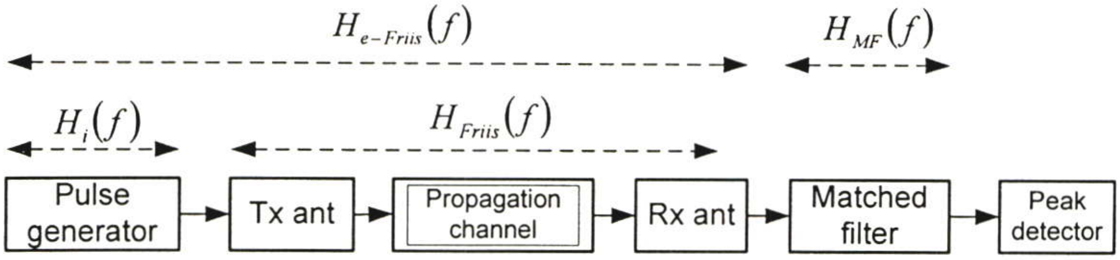
$$H_{Friis}(f) = H_f \mathbf{H}_r . \mathbf{H}_t , \tag{3.7}$$

ในการปรับปรุงสมการการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งเรียกว่าการขยายสมการของฟรีส ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่จะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันการส่งผ่าน โดยการเพิ่มฟังก์ชันการส่งผ่านของวงจรกรองกำเนิดพัลส์ (Pulse generator filter, H_i) เพื่อใช้ในการหาค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณจะได้ดังนี้

$$H_{e\text{-}Friis}(f) = H_f H_i \mathbf{H}_r . \mathbf{H}_t \tag{3.8}$$

และสำหรับกรณี ไอโซโทรปิค (Isotropic)

$$H_{e\text{-}Friis, Iso}(f) = H_f . H_i \tag{3.9}$$



รูปที่3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการส่งสัญญาณที่ได้มีการขยายจากสมการการส่งผ่านของฟรีส และเพิ่มแมตช์ฟิวเตอร์ทางด้านรับเพื่อนำมาใช้กับระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง [10]

3.4.2 แมตช์ฟิวเตอร์ (Matched filter)

แมตช์ฟิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้สัญญาณมีอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR) มากที่สุด โดยดูจากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าได้เพิ่มแมตช์ฟิวเตอร์เข้ามาหลังจากสายอากาศด้านรับด้วย

โดย H_f นั้นเป็นฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ $\mathbf{H}_r$ และ $\mathbf{H}_t$ เป็นเป็นฟังก์ชั่นการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศด้านรับและด้านส่งตามลำดับ โดยที่สายอากาศด้านรับนั้นได้ใช้สมการแมตช์ฟิลเตอร์ในการนำมาวิเคราะห์กับ $H_{Friis}(f)$ เพื่อในการถูกนำมาหาค่าสูงสุดของสัญญาณเอาท์พุตทางด้านรับโดยสมการแมตช์ฟิลเตอร์ในการกรองความถี่ $H_{Friis}(f)$ สามารถหาคำนวณได้สมการที่ 3.10

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}\,H^*_{e\text{-}Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e\text{-}Friis}(f)\right|^2 df}} \tag{3.10}$$

และสำหรับแมตช์ฟิลเตอร์ในกรณีสมการไอโซโทรปิค

$$H_{MF,Iso}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}\,H^*_{e\text{-}Friis,Iso}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{e\text{-}Friis,Iso}(f)\right|^2 df}} \tag{3.11}$$

ซึ่งจากสมการที่ได้ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนที่ได้จะมีค่าคงที่ดังสมการต่อไปนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left|H_{MF}(f)\right|^2 df = 2f_b \tag{3.12}$$

โดยในกรณีนี้รูปร่างของสัญญาณเอาท์พุตที่ได้มาจากแมตช์ฟิลเตอร์ $v_{MF}(t)$ จะเป็นดังนี้

$$v_{MF}(t) = h_{e-Friis}(t) \otimes h_{MF}(t)$$
$$= \frac{\sqrt{2f_b} h_{e-Friis}(t) \otimes h_{e-Friis}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis}^2(t)dt}}$$

(3.13)

และสำหรับในกรณี ไอโซโทรปิค(Isotropic)

$$v_{MF,Iso}(t) = h_{e-Friis}(t) \otimes h_{MF,Iso}(t)$$
$$= \frac{\sqrt{2f_b} h_{e-Friis,Iso}(t) \otimes h_{e-Friis,Iso}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h_{e-Friis,Iso}^2(t)dt}}$$

(3.14)

สำหรับสเป็กตรัมของเอาท์พุตที่มาจากแมตช์ฟิลเตอร์ $V_{MF}(f)$ คือ

$$V_{MF}(f) = H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f)$$
$$= \frac{\sqrt{2f_b} H_{e-Friis}(f)^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df}} \qquad (3.15)$$

ค่าสูงสุดของสัญญาณจะได้เป็น

$$\max_t v_{MF}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f)df$$

$$= \sqrt{2f_b \int_{-\infty}^{\infty} \left|H_{e-Friis}(f)\right|^2 df} \qquad (3.16)$$

อัตราการขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 3.17 สำหรับกรณีโดยทั่วไปที่มีการใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) นั้นโดยที่กำหนดให้ $H_{Iso}(f) = 1$ ดังนั้นค่าความสัมพันธ์ของอัตราการขยายในการส่งในย่านแถบความถี่กว้างยิ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF,Iso}(t)} \tag{3.17}$$

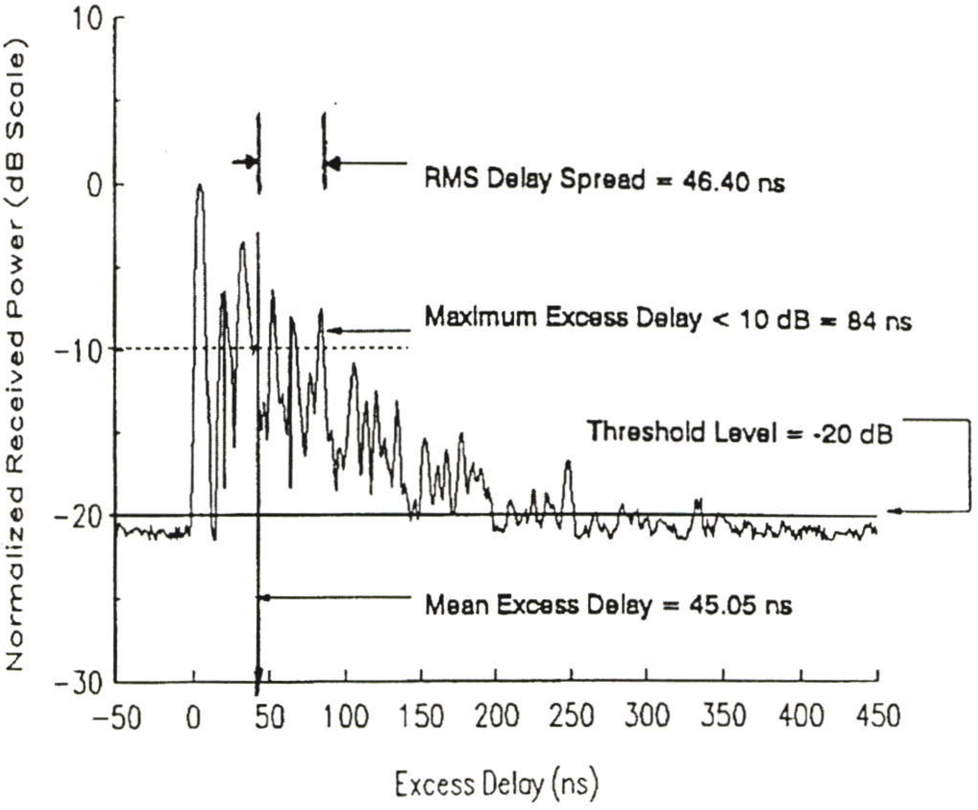
3.4.3 การประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ (Power delay profile; PDP)

ค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ เป็นพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนของสัญญาณในหลายทิศทาง หรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) ประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (RMS delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เสนอส่วนขั้นตอนของการตรวจสอบผลกระทบจากหุ่นยนต์นั้น เราได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกเลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ และกำลังงานที่ถูกลดทอนลง ซึ่งในส่วนของการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงผลจากการหมุนสายอากาศและหุ่นยนต์โดยค่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ ได้นิยามไว้ดังนี้

$$P_{(\tau)} = \left|h(t,\tau)\right|^2 \tag{3.18}$$

โดยที่ $h(t,\tau)$ คือ ผลตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ (Channel impulse response)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

3.4.4 การเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay: τ_m) และการแผ่เวลาประวิง (RMS delay spread: τ_{rms})

ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงและค่าการแผ่เวลาประวิง เป็นตัวแปรในช่องสัญญาณแบบหลายวิถี ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก ค่าการประวิงกำลังงานของช่องสัญญาณ โดยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงและค่าการแผ่เวลาประวิงเป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพของช่องสัญญาณ โดยค่าเฉลี่ยของเวลาประวิงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.19

$$\tau_m = \frac{\int_0^{\infty} \tau . |h(\tau)|^2 \, d\tau}{\int_0^{\infty} |h(\tau)|^2 \, d\tau} \tag{3.19}$$

โดยที่ $h(\tau)$ คือ ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ

τ คือ เวลาประวิงที่เกิดขึ้นของสัญญาณ

ค่าการแผ่เวลาประวิงนั้นหมายถึงค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานช่วงเวลาที่ล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นหรือสะท้อนจากสภาพแวดล้อมเป็นสัดส่วนกับพลังงานของสัญญาณที่เกิดสะท้อน ดังสมการที่ 3.20

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^\infty (\tau - \tau_m)^2 . |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_0^\infty |h(\tau)|^2 d\tau}} \tag{3.20}$$

3.4.5 การสูญเสียกำลังงาน

การสูญเสียกำลังงานเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่จะแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย ค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณนั้นพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) ดังแสดงในสมการที่ 3.21

$$L_{dB} = 20\log\left(\frac{v_t(t)}{v_r(t)}\right) \tag{3.21}$$

โดยที่

v_t คือ ระดับแรงดันที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับแรงดันที่รับได้

หลักการวิเคราะห์การสูญเสียกำลังงานในทุกระบบโดยเฉพาะในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20\log\left[\frac{\max|v_t(t)|}{\max|v_r(t,d)|}\right] \tag{3.22}$$

โดยในสมการที่ 3.23 กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการได้ใหม่คือ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20\log\left[\max\left|v_r(t,d)\right|\right] \tag{3.23}$$

3.4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่าง ค่าอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.24 ถึงสมการที่ 3.25 ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max\left|r_{ab}(\tau)\right|}{\max\left|\sqrt{r_a(\tau)r_b(\tau)}\right|} \tag{3.24}$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้ามคือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau)v_r(t+\tau)\,dt \tag{3.25}$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau)v_t(t+\tau)\,dt \tag{3.26}$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau)v_r(t+\tau)\,dt \tag{3.27}$$

โดยที่

$v_t(t)$ คือ สัญญาณแรงดันส่ง

$v_r(t)$ คือ สัญญาณแรงดันที่รับได้

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ช่องสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นส่วนสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้อันประกอบด้วยรายละเอียดของคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณลักษณะของช่องสัญญาณรวมไปถึงระบบการวัดที่มีอยู่ 2 แบบหลัก ๆ คือการวัดในโดเมนเวลาและในโดเมนความถี่ ซึ่งระบบการวัดแบบที่ 2 นั้นจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบถึงผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในบทต่อไป จากนั้นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็น ผลการลดทอนของกำลังงาน การผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ผลการกระจายทางเวลา ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อันเนื่องด้วยผลกระทบจากปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ท้ายสุดผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะถูกนำมาจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าวิธีการประมาณค่าการถดถอยของกำลังสองแบบเชิงเส้นที่น้อยที่สุด (Linear Least-Squares Regression) ซึ่งจะแสดงขั้นตอนในการจำลองผลในบทต่อไป

บทที่ 4
ขั้นตอนการจำลองและการวัดสัญญาณ

4.1 กล่าวนำ

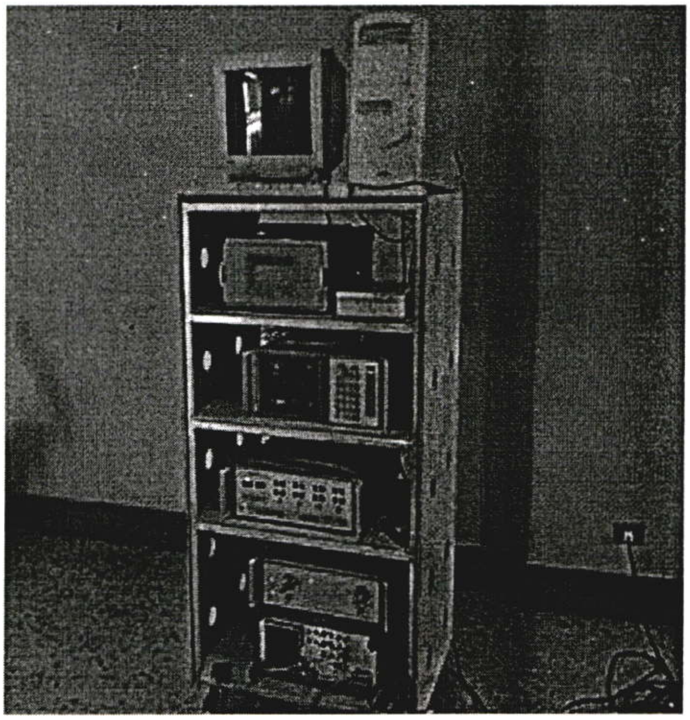
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย จากการใช้รูปแบบการจำลองช่องสัญญาณบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัดโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากสัญญาณบริเวณช่องทางเดินภายในอาคาร ในการออกแบบจำลองการวัดค่าสัญญาณคลื่นในระบบแถบกว้างยิ่ง มี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตาและแบบที่ 2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตานั้น ได้ใช้บริเวณทางเดินของอาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งมีมีความกว้างเท่ากับ 19.2 เมตร ยาวเท่ากับ 22.19 เมตร ความสูงจากพื้นถึงเพดานเท่ากับ 2.98 เมตรและความกว้างของทางเดินหน้าห้องเท่ากับ 3.4 เมตร ซึ่งเป็นช่องทางเดินอาคารที่มีลักษณะตามมาตรฐานทั่วไปของอาคารเรียนที่มีต่อคุณลักษณะของช่องสัญญาณและสัญญาณที่รับได้ของระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะพิจารณาบนพื้นฐานของการจำลองช่องสัญญาณและการวัด

การกำหนดรูปแบบหรือจำลองการวัดจะประกอบด้วยอุปกรณ์และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยรายละเอียดดังกล่าวจะอธิบายในบทนี้ ซึ่งการกำหนดรูปแบบหรือแบบจำลองของการตรวจสอบจากการจำลองช่องสัญญาณกับการตรวจสอบจากการวัดโดยจะพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างสายอากาศด้านรับและด้านส่ง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบหลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ผลจากการวัดทั้ง 2 แบบ ที่มีต่อช่องสัญญาณและรูปสัญญาณพัลส์ด้านรับในระบบแบบแถบกว้างยิ่งในส่วนของการลดทอนและการผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณ ซึ่งสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ว่าเมื่อส่งสัญญาณในแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ผลกระทบและการสูญเสียของระดับกำลังจากทางด้านส่งแตกต่างกันอย่างไร โดยจะนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของรูปแบบการจำลองการวัดทั้ง 2 แบบนี้มาเปรียบเทียบกัน อีกทั้งสัญญาณที่รับได้จะนำมาผ่านวงจรกรองแมตซ์ที่สัญญาณดีที่สุดที่เป็นแบบ Optimum Matched Filter และแบบ Isotropic Matched Filter เพื่อหาวงจรกรองแมตซ์ที่สัญญาณดีที่สุดระหว่างสองสมการนี้ที่ทำให้ค่า SNR ของสัญญาณที่รับได้มีค่าสูงสุด

4.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด

4.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์

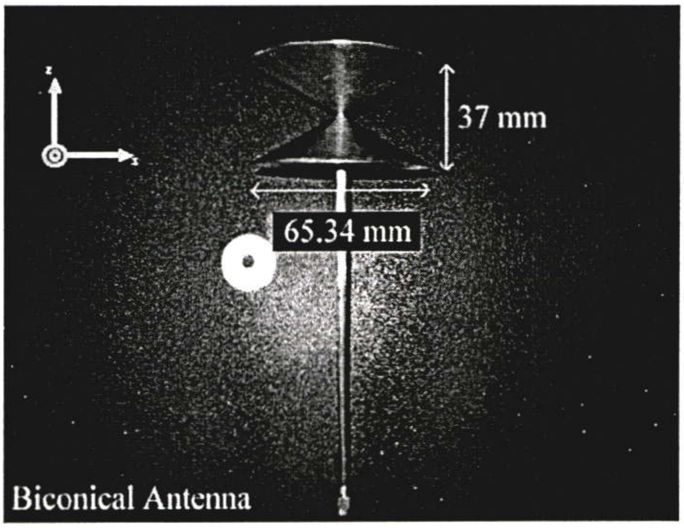
ในระบบการวัดช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะใช้เครื่องวัดเฉพาะทางอันประกอบไปด้วย เครื่องมือวัดและวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B และตัวสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่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



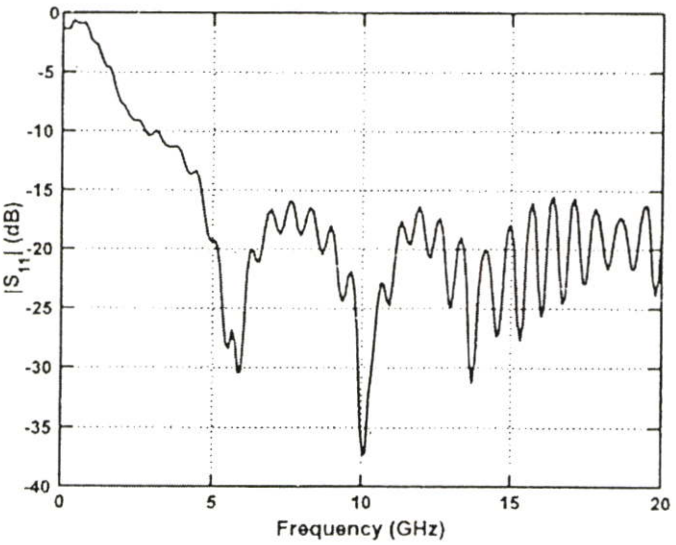
รูปที่ 4.1 เครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์

4.2.2 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna) เป็นสายอากาศที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองโดยมีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราการขยาย (Gain) อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 15.0 dBi ซึ่งการทดลองนี้จะใช้สายอากาศแบบกรวยคู่นี้ทั้งด้านรับและด้านส่งของการจำลองรูปแบบการวัดทั้ง 2 แบบ รูปที่ 4.2 ถึง 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้ [12]



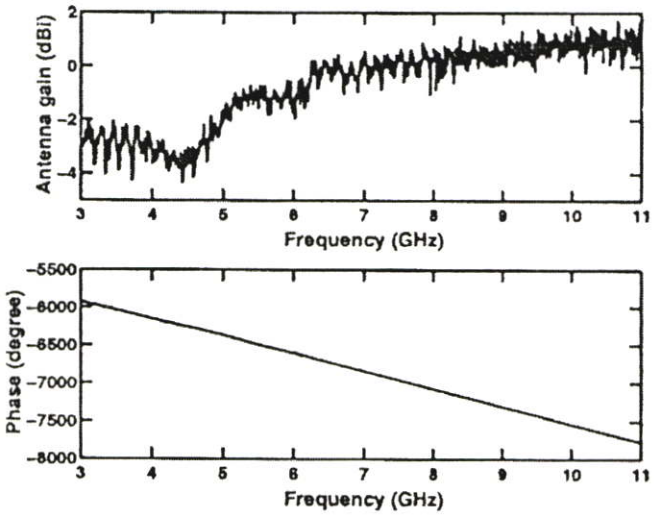
รูปที่ 4.2 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแบบกรวยคู่



รูปที่4.3 คุณสมบัติของสายอากาศแบบกรวยคู่ $|S_{11}|$

กรวยคู่เป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว โดยกรวยด้านบนของสายอากาศใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุขณะที่กรวยด้านล่างใช้ติดต่อกับกราวด์ รูปที่ 4.3 แสดงถึงค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) $|S_{11}|$ ของสายอากาศกรวยคู่ ให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการสะท้อนกลับนั้นมีค่าต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz

ในส่วนของการแสดงถึงขนาดของฟังก์ชั่นการส่งผ่านและเฟสที่ใช้ในการส่งผ่านของสายอากาศซึ่งเป็นคุณลักษณะของสายอากาศกรวยคู่ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศแบบกรวยคู่

4.3 การจำลองการวัดภายในอาคาร

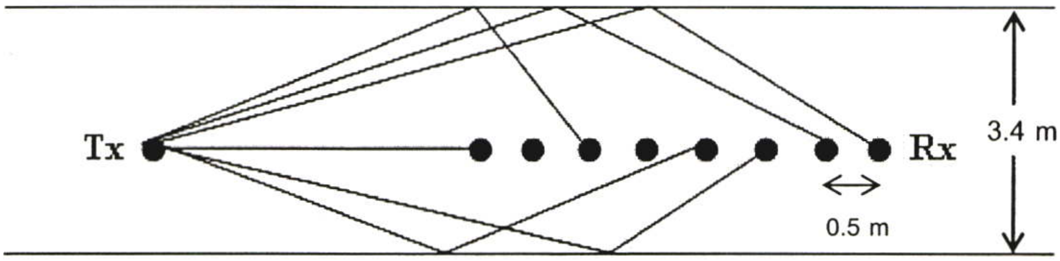
ในการจำลองการวัดภายในอาคาร ได้ทำการออกแบบจำลองไว้ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา แบบที่ 2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา ซึ่งในแต่ละแบบจะแสดงให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณในแต่ละสภาพแวดล้อมหรือเงื่อนไข ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในการออกแบบและขั้นตอนการจำลองในหัวข้อถัดไป

4.3.1 แบบจำลองการวัดสัญญาณระดับสายตา (LOS)

4.3.1.1 ขั้นตอนการวัด

ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน (Transfer function) ของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่าเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการวัดและบันทึกผลที่ได้

จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป ในการทดลองนั้นได้ทำการวัดในบริเวณทางเดินหน้าห้องของอาคารชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ โดยสายอากาศที่เป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวจะใช้เป็นสายอากาศทางด้านส่งและรับ ในการวัดสัญญาณระดับสายทางด้านส่ง (Tx) จะตั้ง ณ. ตำแหน่งดังรูปและจะไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะทำการเลื่อนด้านรับ (Rx) ซึ่งสายอากาศทั้งคู่จะอยู่ห่างจากพื้นดิน 1.5 เมตรและวางห่างที่ระยะเริ่มต้น 2 เมตร กำหนดให้สายอากาศทางด้านส่งยึดติดอยู่กับที่และให้สายอากาศทางด้านรับเพิ่มระยะห่างขึ้นทีละ 0.5 เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณในระดับสายตา

4.3.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

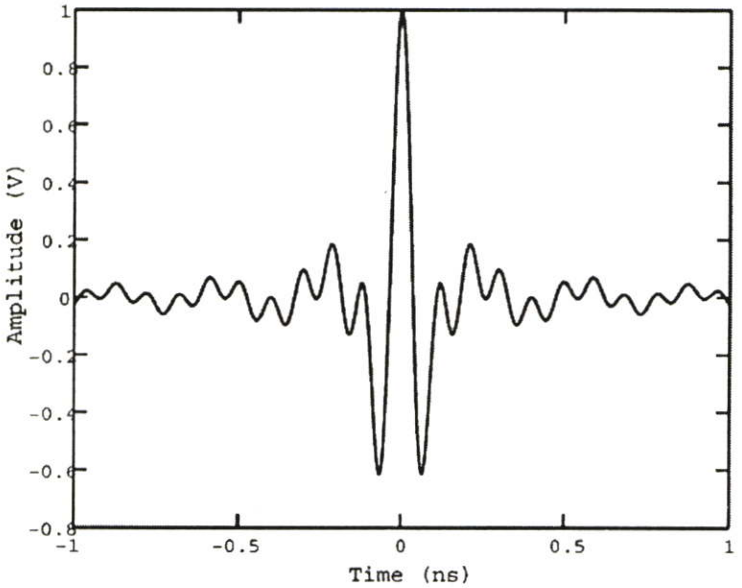
ในการจำลองในส่วนนี้ได้กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการจำลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการทดลองวัด

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง(Tx)	1.5 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ(Rx)	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2-7 เมตร
ระยะห่างสายอากาศทางด้านรับเพิ่มขึ้นครั้งละ	0.5 เมตร

4.3.1.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง

ในขั้นตอนของการตรวจสอบการสูญเสียกำลังของสัญญาณนั้นรูปแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม เท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้นเราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่มอดูเลตแบบ pass band rectangular ในการวิเคราะห์โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{min}) เท่ากับ 3.1 GHz, ความถี่สูงสุด (f_{max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัม แบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz ซึ่งในรูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์



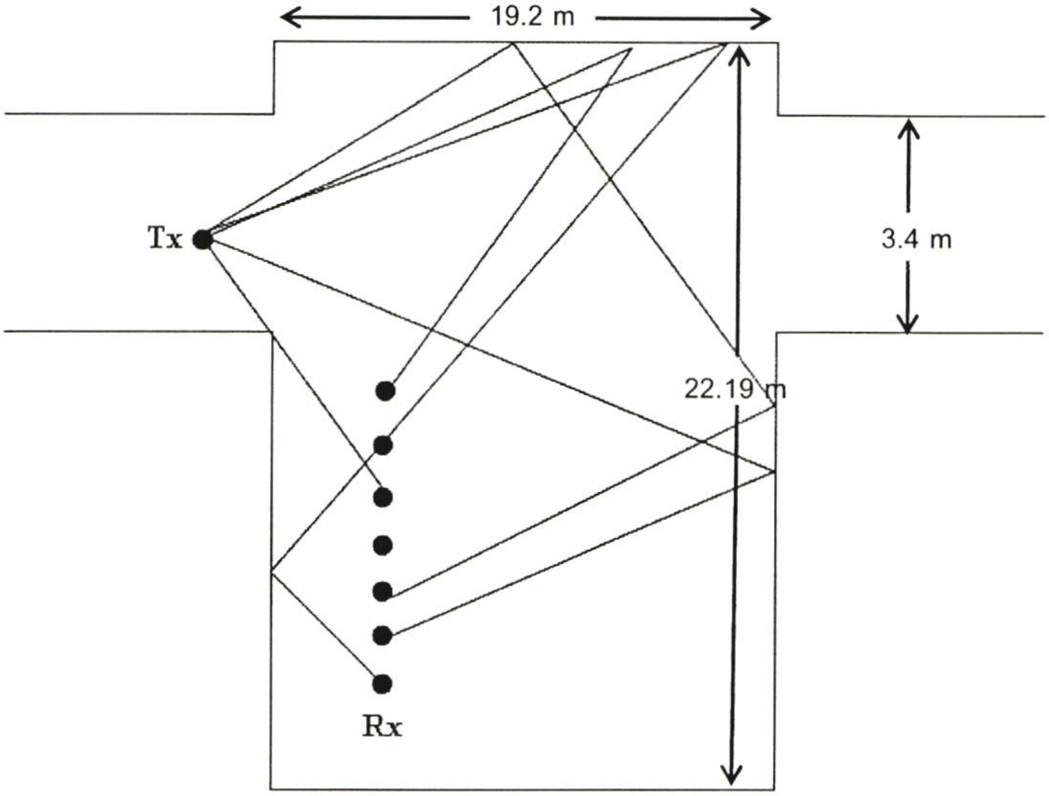
รูปที่ 4.6 รูปแบบสัญญาณส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง

4.3.2 แบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตา (NLOS)

4.3.2.1 ขั้นตอนการวัด

ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งถูกวัดในลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน S_{21} ในโดเมนของความถี่โดยใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่าเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแบบเวคเตอร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการวัดและบันทึกผลที่ได้จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไป ในการทดลองนั้นได้ทำการวัดในบริเวณทางเดินหน้าห้องของอาคารชั้น 12 อาคารวิศวกรรมศาสตร์ โดยสายอากาศที่เป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ ซึ่งเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวจะใช้เป็นสายอากาศทางด้านส่งและรับ ในการวัดสัญญาณระดับสายทางด้านตัวส่ง (Tx) จะตั้ง ณ. ตำแหน่งดังรูปและจะไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะทำการเลื่อนด้านตัวรับ

(Rx) ซึ่งในแบบจำลองการวัดสัญญาณที่ไม่อยู่ในระดับสายตานี้จะมีการเริ่มวัดจุดแรกประมาณระยะที่เริ่มมีการบัง และเพิ่มระยะห่างครั้งละ 0.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 รูปแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณที่ไม่มองเห็นได้ในระดับสายตา

4.3.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

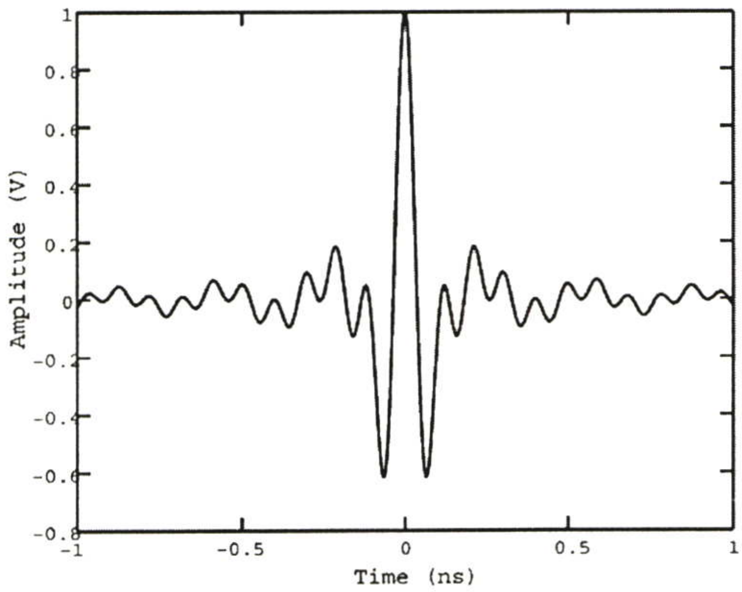
ในการจำลองในส่วนนี้ได้กำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับการจำลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของการทดลองวัด

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่ที่ทำการทดลอง	3.0 ~ 11.0 GHz
จำนวนของตำแหน่งความถี่	801
พิสัยพลวัตของกำลังงาน	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง(Tx)	1.5 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ(Rx)	1.5 เมตร
ระยะห่างระหว่างด้านส่งกับด้านรับ	2-7 เมตร
ระยะห่างสายอากาศทางด้านรับเพิ่มขึ้นครั้งละ	0.5 เมตร

4.3.2.3 แบบจำลองของสัญญาณที่ใช้ส่ง

ในขั้นตอนของการตรวจสอบการสูญเสียกำลังของสัญญาณนั้นรูปแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในการส่งได้ถูกกำหนดไว้ คือเราจะพิจารณาในส่วนของสัญญาณอิมพัลส์ซึ่งมีความถี่ครอบคลุมตลอดทั้งช่วงที่ FCC กำหนด คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยมีความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิดท์รวม เท่ากับ 6.85 GHz และ 7.5 GHz ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองนั้นเราได้ใช้สัญญาณพัลส์ที่มอดูเลตแบบ pass band rectangular ในการวิเคราะห์โดยกำหนดความถี่ต่ำสุด (f_{min}) เท่ากับ 3.1 GHz, ความถี่สูงสุด (f_{max}) เท่ากับ 10.6 GHz และสเปกตรัม แบนด์วิดท์ (f_b) เท่ากับ 7.5 GHz ซึ่งในรูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบของสัญญาณพัลส์ที่ใช้วิเคราะห์



รูปที่ 4.8 รูปแบบสัญญาณส่งผ่านของแถบกว้างยิ่ง

4.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนจำลองช่องสัญญาณและการวัดช่องสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องที่มีลักษณะการส่งสัญญาณที่ด้านส่งและด้านรับอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยระดับสายตา

การวัดช่องสัญญาณ จะใช้สายอากาศกรวยคู่ที่ตอบสนองช่วงความถี่ได้กว้าง ประกอบกับการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดบนโดเมนความถี่ การจำลองและการวัดช่องสัญญาณเพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเฉพาะกรณีที่เกิดการบดบังของสัญญาณภายใต้สภาพแวดล้อมที่ทำการจำลองสะท้อนของสัญญาณในระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและรับตามที่กำหนดไว้และความสูงของสายอากาศ

ด้านรับและด้านส่งตามที่กำหนดไว้เช่นกัน โดยข้อมูลการจำลองและการวัดที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และแสดงผลในพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังจะแสดงในบทต่อไป

บทที่ 5

ผลการจำลองวิจัยและการวิเคราะห์ผล

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดช่องทางเดินภายในอาคารทั้ง 2 แบบคือ รูปแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา โดยจะแสดงให้เห็นถึงผลจากที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณในระยะทางที่แตกต่างกันคือมีระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและทางด้านรับห่างกันตั้งแต่ระยะ 2 เมตรและเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 เมตรจนถึงระยะ 7 เมตร และนำมาวิเคราะห์ในพารามิเตอร์หลัก 3 ตัว คือ การสูญเสียเชิงวิถี ค่าประวิงเวลา และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ อีกทั้งสัญญาณที่รับได้ผ่านสมการ แมตช์ฟิวเตอร์ โดยนำมาแสดงในลักษณะที่เปรียบเทียบกันระหว่างการจำลองการวัดแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา ซึ่งเป็นประเด็นหลักของการพิจารณาวิทยานิพนธ์นี้

5.2 ผลการจำลองและการวิเคราะห์

ในการการจำลองได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสายอากาศระยะทางระหว่างสายอากาศด้านรับและด้านส่งแบบจำลอง ซึ่งรายละเอียดของขั้นตอนการจำลองนั้นได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 และขั้นตอนการวิเคราะห์ผลและผลของการจำลองได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมนานาชาติ [13], [14]

5.2.1 ผลการจำลอง

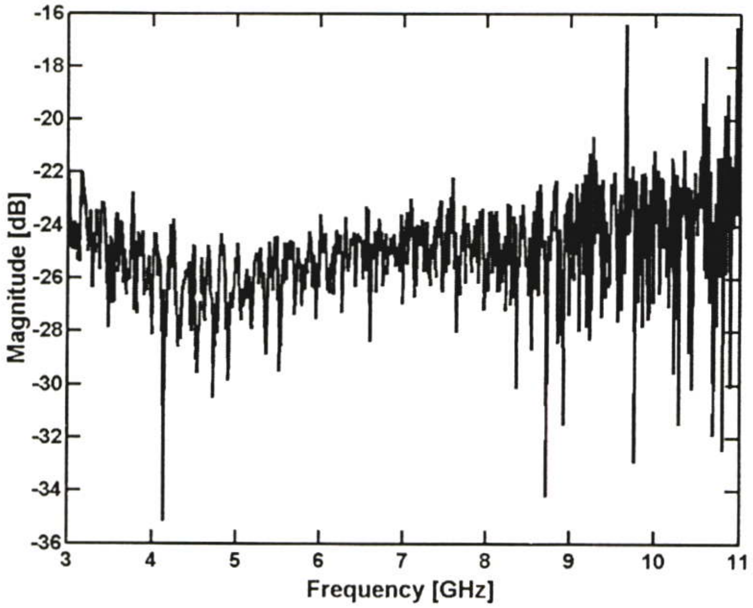
5.2.1.1 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับ

ผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ ซึ่งแสดงทั้งในโดเมนของความถี่และโดเมนของเวลาเนื่องจากการที่ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ส่งสัญญาณในโดเมนของความถี่ผ่านช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง ก่อนที่ด้านรับจะทำการตรวจจับและแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนของเวลาเพราะระบบ UWB สนใจระดับของสัญญาณในโดเมนของเวลามากกว่าโดเมนของความถี่

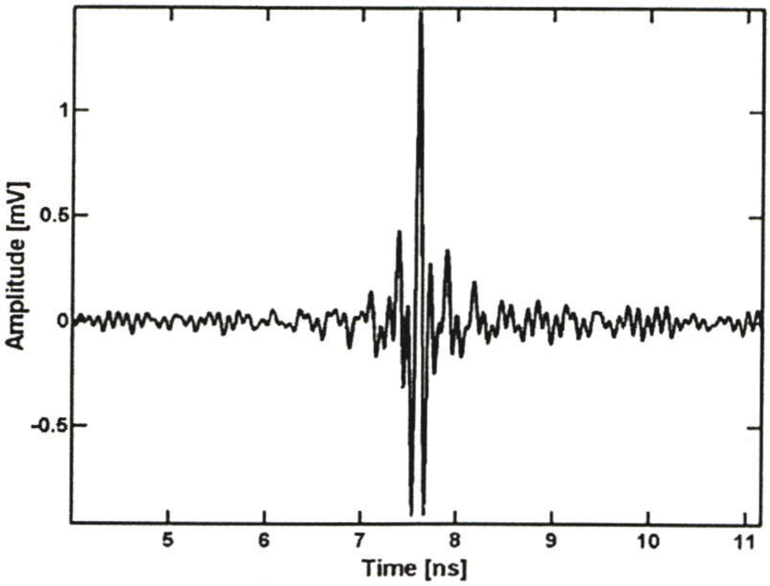
5.2.1.2.1 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของช่องสัญญาณทางด้านรับกรณี LOS

ในการวัดสัญญาณระดับสายทางด้านตัวส่ง (Tx) จะตั้ง ณ. ตำแหน่งดังรูปและจะไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะทำการเลื่อนด้านตัวรับ (Rx) โดยเริ่มตั้งแต่ระยะห่างเท่ากับ 2 เมตร และเพิ่มระยะห่างครั้งละ 0.5 เมตร จนถึงที่ระยะ 7 เมตร จากรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.6 จะแสดงตัวอย่างผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่และในโดเมนเวลา ซึ่งเลือกแสดงตัวอย่างที่ระยะทาง 2, 4.5 และ 7 เมตรตามลำดับ

รูปที่ 5.1 และ 5.2 จะแสดงผลตอบสนองของช่องสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่งที่ระยะทาง 2.0 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อความถี่ตั้งแต่ 8.8 ถึง 11 GHz เป็นต้นไปจะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการแกว่งของสัญญาณสูงตลอดช่วงความถี่และจากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 1.475 มิลลิโวลต์ ที่เวลา 7.6 ns

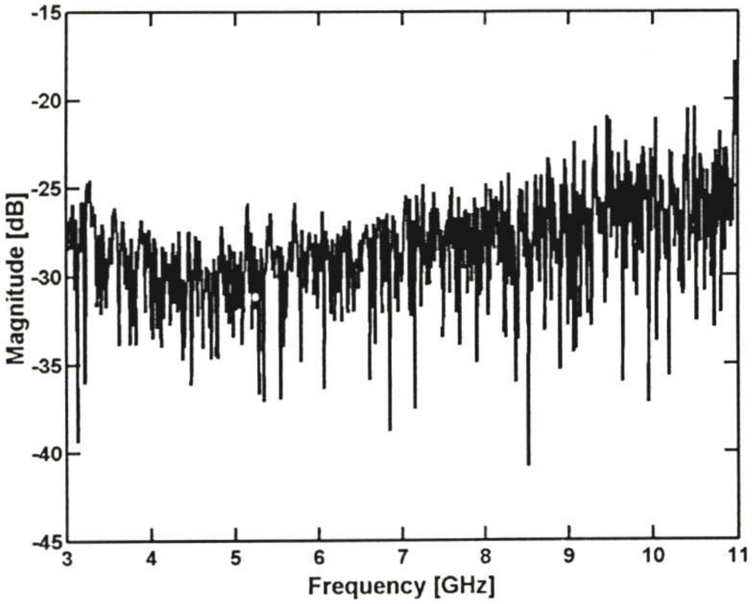


รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2.0 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

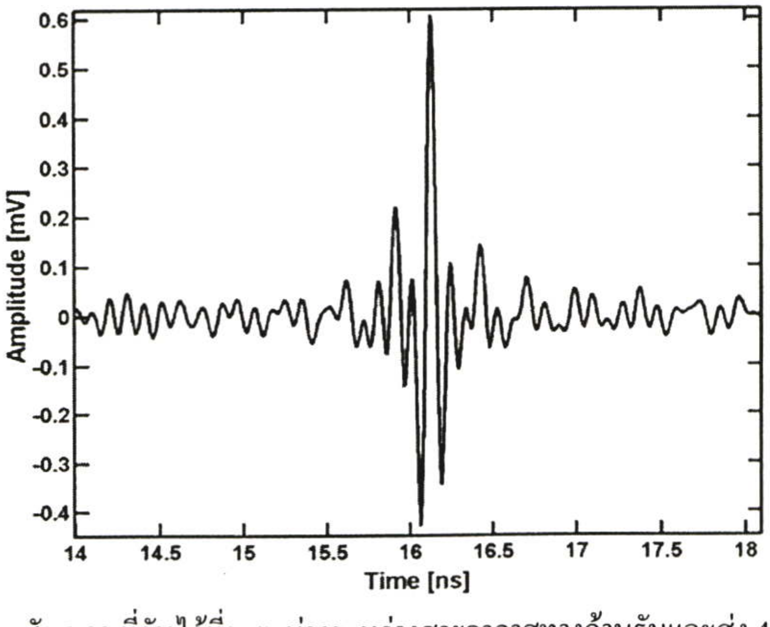


รูปที่ 5.2 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2.0 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

รูปที่ 5.3 และ 5.4 จะแสดงผลตอบสนองของช่องสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่งที่ระยะทาง 4.5 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นสังเกตเห็นได้ว่าในโดเมนความถี่นั้นช่วงที่ความถี่ตั้งแต่ 6.8 ถึง 11 GHz ความถี่จะมีสัญญาณรบกวนตลอดช่วงความถี่ และจากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 0.61 มิลลิโวลท์ ที่เวลา 16.13 ns

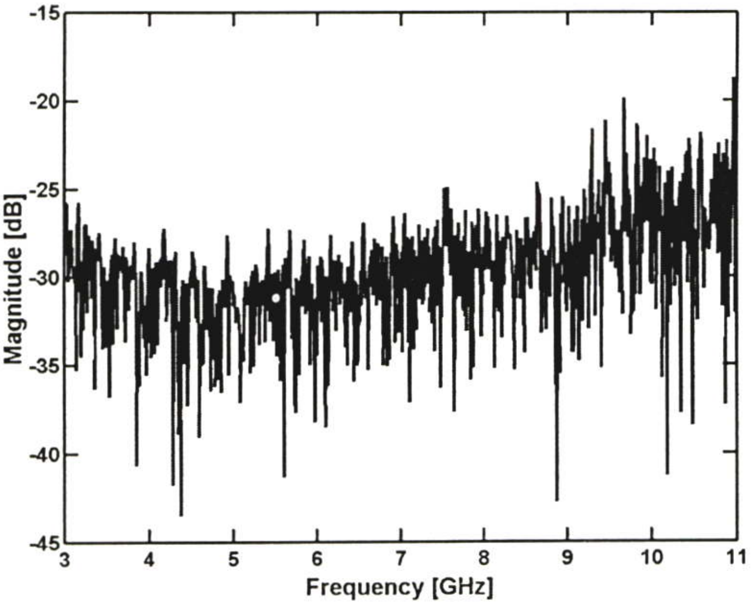


รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

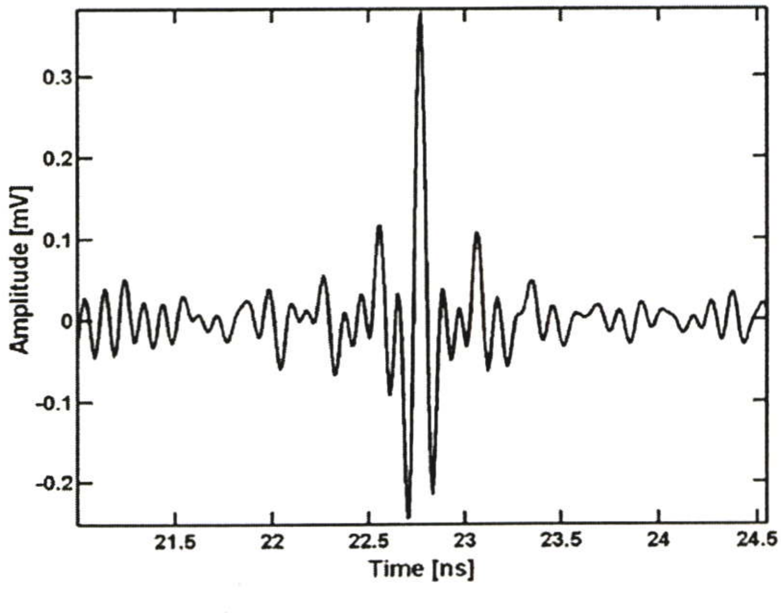


รูปที่ 5.4 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

รูปที่ 5.5 และ 5.6 จะแสดงผลตอบสนองของช่องสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่งที่ระยะทาง 7 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นสังเกตเห็นได้ว่าในโดเมนความถี่นั้นช่วงที่ความถี่ตั้งแต่ 4.2 ถึง 11 GHz ความถี่จะมีสัญญาณรบกวนตลอดช่วงความถี่ และจากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 0.38 มิลลิโวลท์ ที่เวลา 22.77 ns



รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

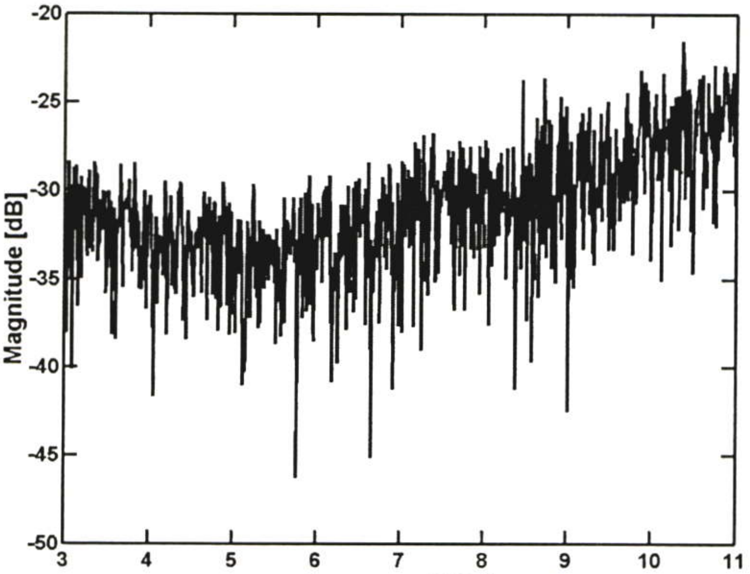


รูปที่ 5.6 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

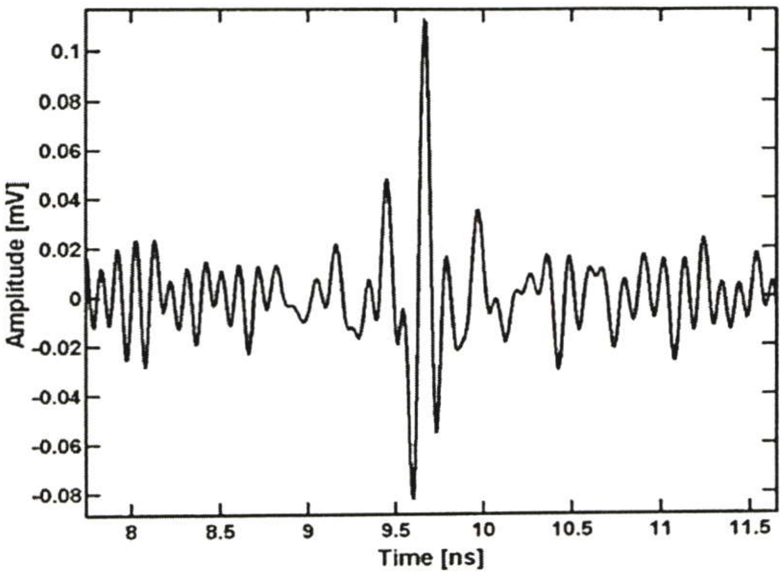
5.2.1.2.2 การวิเคราะห์ผลการตอบสนองของช่องสัญญาณทางด้านรับกรณี NLOS

ผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ ซึ่งแสดงทั้งในโดเมนของความถี่และโดเมนของเวลา เนื่องจากการที่ระบบ UWB ส่งสัญญาณในโดเมนของความถี่ผ่านช่องสัญญาณแบบอวกาศว่าง ก่อนที่ด้านรับจะทำการตรวจจับและแปลงสัญญาณให้อยู่ในโดเมนของเวลา เพราะ UWB สนใจระดับของสัญญาณในโดเมนของเวลามากกว่าโดเมนของความถี่ ทั้งนี้ผลที่ได้เริ่มจากการตั้งสายอากาศทางด้านรับและทางด้านส่งให้มีระยะทางห่างกันตั้งแต่ 2 เมตร โดยทำการตั้งสายอากาศทางด้านรับและส่งในระดับที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้โดยมีการบดบังของมุมตึกกั้นระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง หลังจากนั้นทำการเพิ่งระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและด้านส่งให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 เมตร ไปเรื่อยๆ จนถึงระยะทาง 7 เมตร จากรูปที่ 5.7 ถึงรูปที่ 5.12 จะแสดงตัวอย่างผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่และในโดเมนเวลาที่ระยะทาง 2, 4.5 และ 7 เมตรในแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา ตามลำดับ

รูปที่ 5.7 และ 5.8 จะแสดงผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะทาง 2.0 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา สังเกตเห็นได้ว่าในโดเมนความถี่นั้นที่ความถี่ตั้งแต่ 5.85 ถึง 11 GHz เป็นต้นจะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาตลอดช่วงความถี่ และจากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 0.113 มิลลิโวลท์ ที่เวลา 9.66 ns

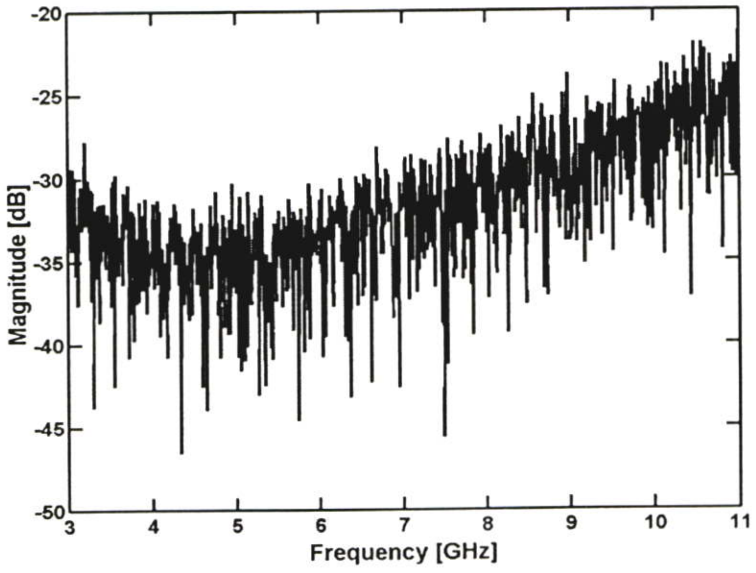


รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

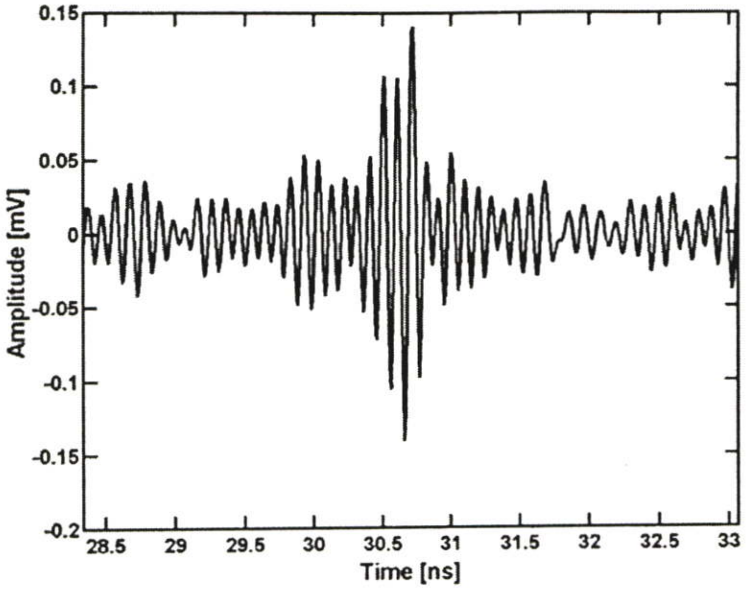


รูปที่ 5.8 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 2 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

รูปที่ 5.9 และ 5.10 จะแสดงผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะทาง 4.5 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา สังเกตเห็นได้ว่าในโดเมนความถี่นั้นที่ความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 7.5 GHzจะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง และจากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 0.1465 มิลลิโวลท์ ที่เวลา 30.71 ns

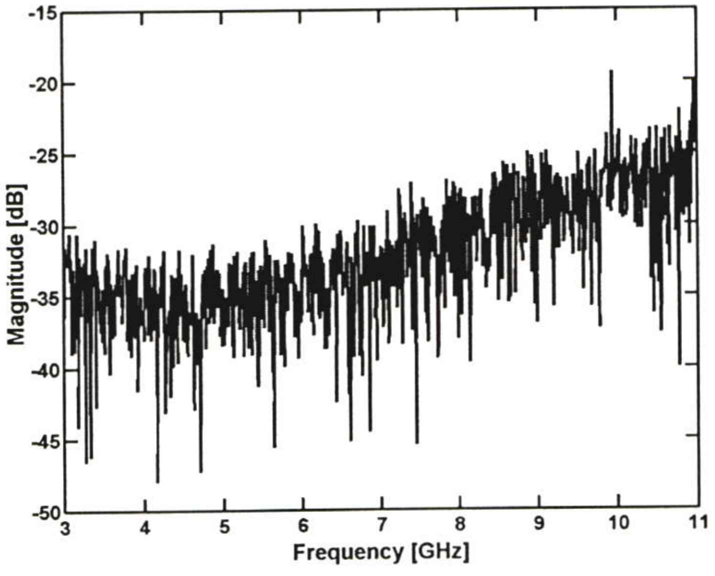


รูปที่ 5.9 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

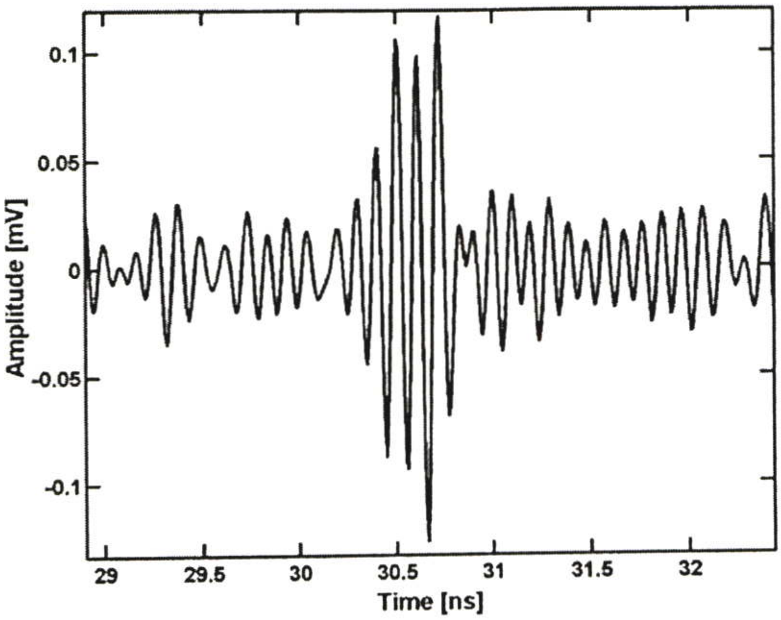


รูปที่ 5.10 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 4.5 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

รูปที่ 5.11 และ 5.12 จะแสดงผลตอบสนองของสัญญาณทางด้านรับในโดเมนความถี่ที่ระยะทาง 2.0 เมตร ในสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา สังเกตเห็นได้ว่าในโดเมนความถี่นั้นที่ความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 11 GHzจะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูงตลอดช่วงความถี่ และจากรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าความสูงแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับมีค่าอยู่ที่ 0.141 มิลลิโวลท์ ที่เวลา 30.722 ns



รูปที่ 5.11 ผลตอบสนองสัญญาณที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

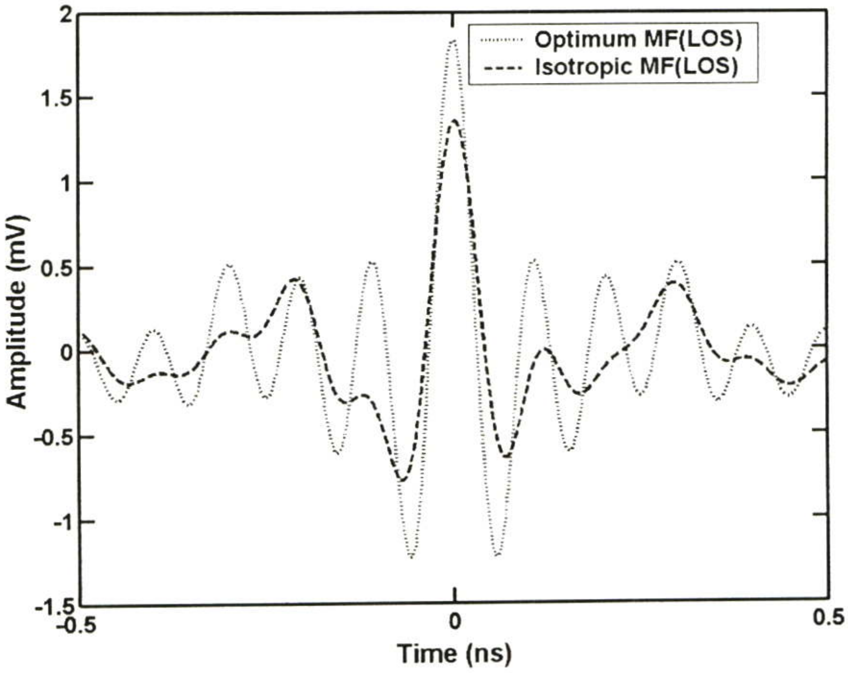


รูปที่ 5.12 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่ง 7 เมตร ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

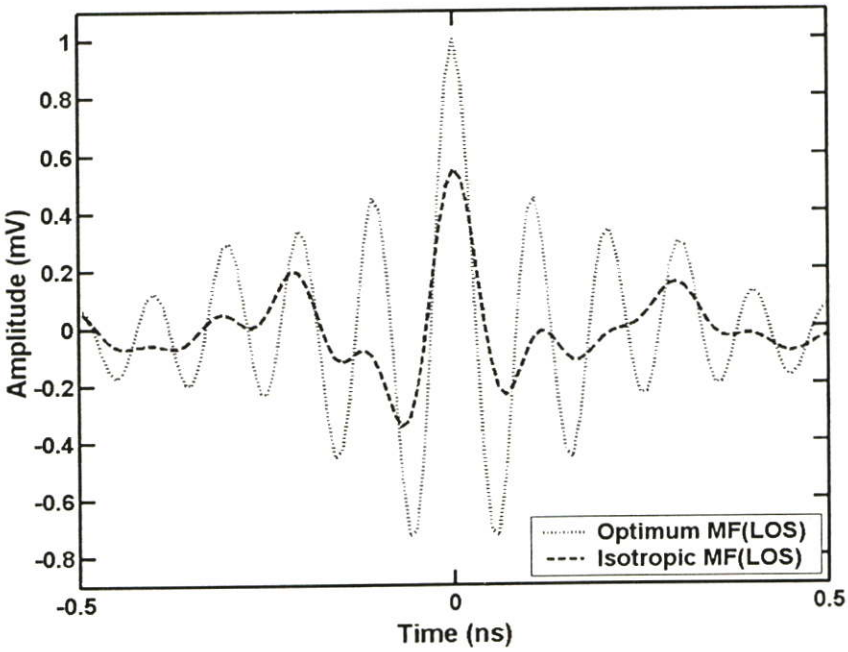
5.2.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณทางด้านรับในกรณีที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่าง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดช่องทางเดินภายในอาคาร สัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านช่องสัญญาณจะเห็นได้รูปของสัญญาณทางด้านรับผิดเพี้ยนไปจากเดิมเป็นอย่างมาก อีกทั้งการสื่อสารในระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีการส่งสัญญาณเป็นแบบพัลส์เพื่อให้การ Detect สัญญาณที่ง่ายขึ้นดังนั้นการทำให้สัญญาณมีค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณกับสัญญาณรบกวนสูงสุดจึงมีความจำเป็นมากต่อรูปของสัญญาณที่รับได้ในระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่ง จึงได้มีการนำวงจรกรองแบบแมตซ์ที่สัญญาณดีที่สุดมาใช้ โดยที่สมการวงจรกรองแบบแมตซ์นั้นมีหลายรูปแบบด้วยกันแต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วงจรกรองแบบแมตซ์ 2 แบบด้วยกันคือ วงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาว่าวงจรกรองแบบแมตซ์แบบไหนที่ให้ค่าสัญญาณทางด้านรับมีค่าอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนสูงที่สุด ซึ่งเราจะนำวงจรกรองแบบแมตซ์ทั้ง 2 แบบนี้มาทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดในแบบจำลองทั้ง 2 รูปแบบ คือ แบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา โดยในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา จะทำแสดงดังรูปที่ 5.13 5.14 และ 5.15 และในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา จะแสดงดังรูปที่ 5.16 5.17 และ 5.18 ที่ระยะ 2, 4.5 และ 7 เมตร ตามลำดับ

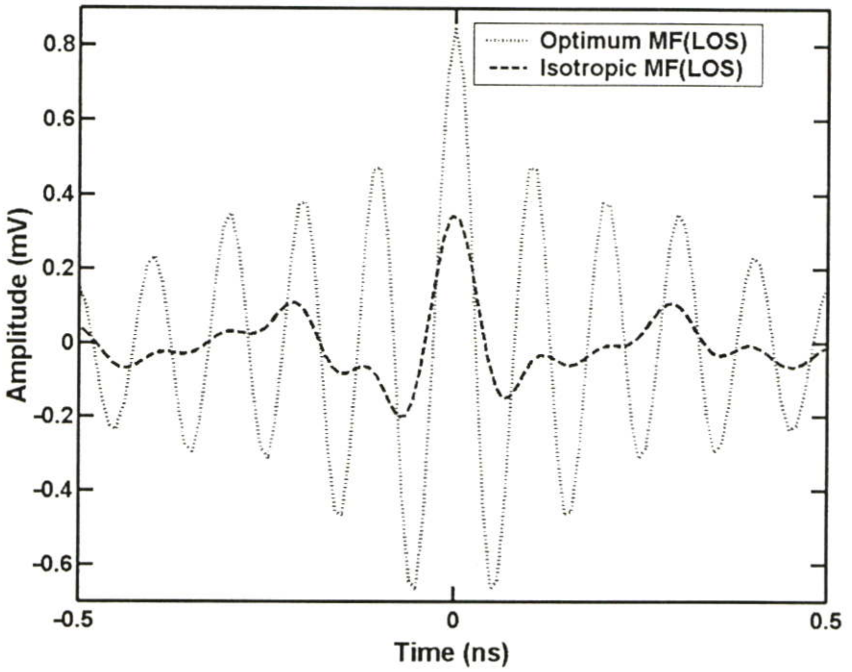
5.2.1.2.1 สัญญาณที่รับได้กรณีที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



รูปที่ 5.13 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 2 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



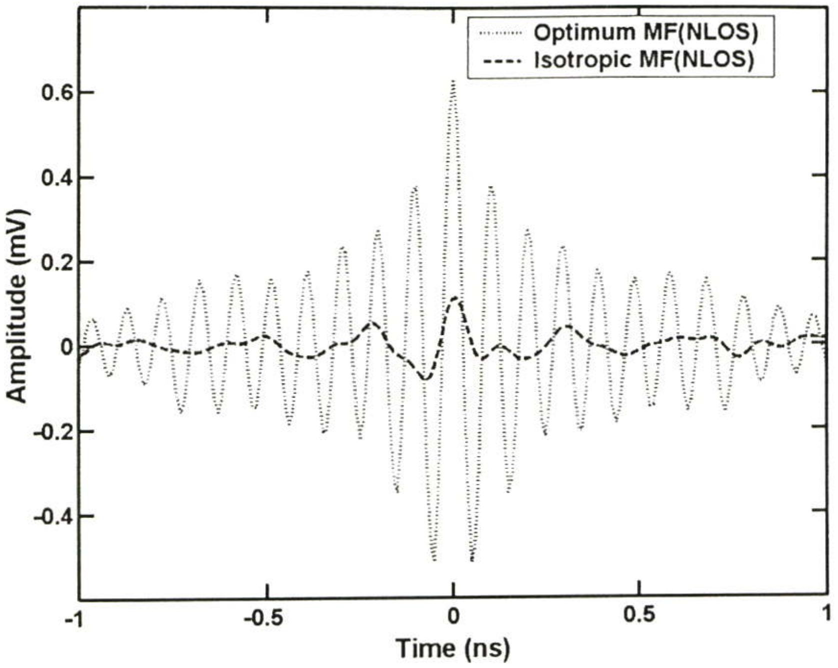
รูปที่ 5.14 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 4.5 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



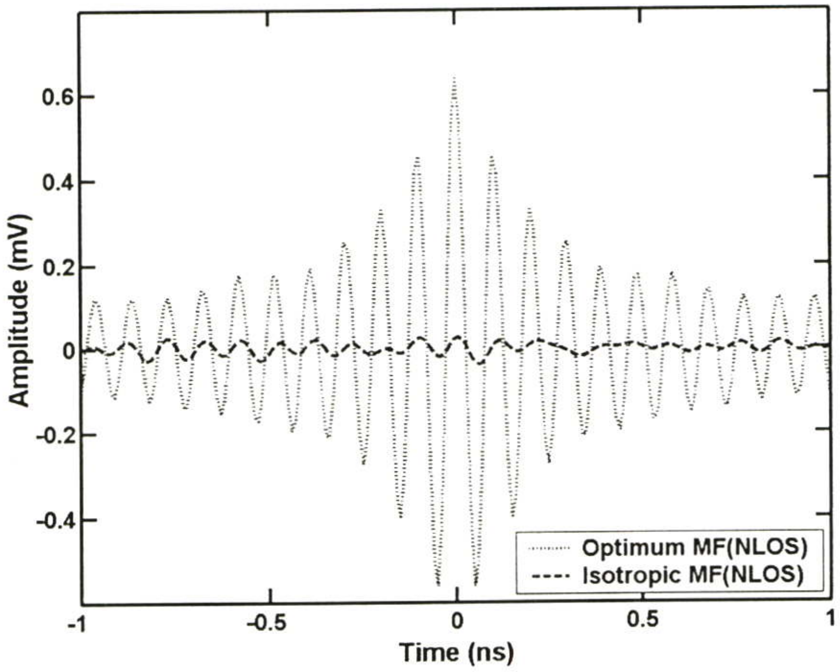
รูปที่ 5.15 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 7 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

จากรูปที่ 5.13, 5.14 และ 5.15 กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านสมการแมตช์ฟิวเตอร์ ทั้ง 2 แบบ กรณีแมตช์ฟิวเตอร์แบบที่ดีที่สุดจะให้ค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณดับสัญญาณรบกวนมีค่าสูงสุด โดยสังเกตได้จากแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าสูงและรูปคลื่นของสัญญาณที่รับได้มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณที่ใช้ส่งมากมากที่สุด โดยสมการแมตช์ฟิวเตอร์จะกรองความถี่ด้านข้างสัญญาณที่รับได้ทำให้ลูกคลื่นมีรูปร่างที่ดีขึ้นและมีรูปร่างใกล้เคียงกับสัญญาณที่ใช้ส่ง และเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นค่าแอพลิจูดของสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่ผ่านแมตช์ฟิวเตอร์แบบที่ดีที่สุดและกรณีที่ผ่านแมตช์ฟิวเตอร์ในอวกาศว่างแอมพลิจูดสัญญาณจะลดต่ำลงโดยเฉพาะในกรณีของแมตช์ฟิวเตอร์ในอวกาศว่างเมื่อระยะเพิ่มมากขึ้นค่าของแอมพลิจูดของสัญญาณจะลดต่ำลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของแมตช์ฟิวเตอร์ที่ดีที่สุดจนสังเกตเห็นได้ชัดโดยเฉพาะที่ระยะทาง 7 เมตร ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณกรณีของแมตช์ฟิวเตอร์ที่ดีที่สุดจะสูงกว่าถึง 0.4 มิลลิโวลท์

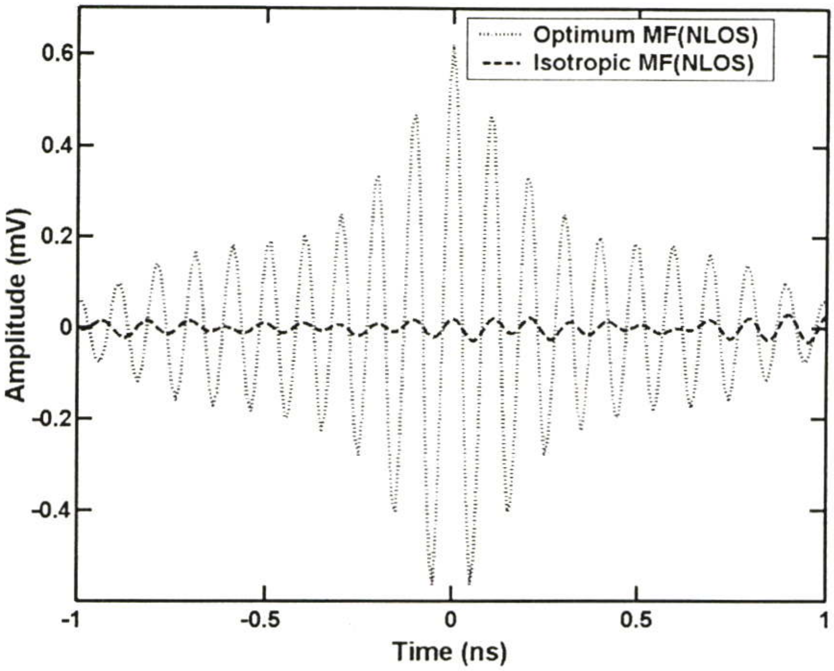
5.2.1.2.2 สัญญาณที่รับได้กรณีที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตช์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



รูปที่ 5.16 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 2 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



รูปที่ 5.17 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 4.5 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา



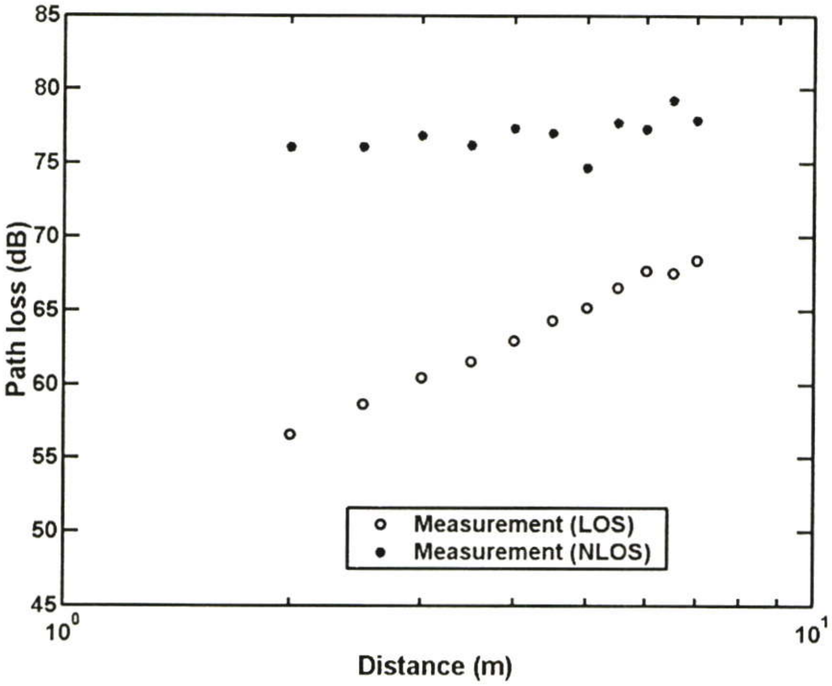
รูปที่ 5.18 รูปแบบสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทาง 7 เมตร กรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

จากรูปที่ 5.16, 5.17 และ 5.18 จะเห็นได้ว่ากรณีแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา สัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ ทั้ง 2 แบบ กรณีผ่านวงจรกรองแบบเมตซ์ที่ดีที่สุดจะให้ค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณกับสัญญาณรบกวนมีค่าสูงสุด เช่นเดียวกันกับกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา แต่ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตานั้นสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างนั้นที่ระยะตั้งแต่ 4.5 จนถึง 7 เมตร ไม่สามารถทำการตรวจจับสัญญาณได้

5.2.1.3 การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีจะมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 56.62 dB ที่ระยะเริ่มต้นระยะ 2 เมตร ในแบบที่ระดับสายตามองเห็นจากนั้นค่าการสูญเสียจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ค่าสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการวัดซึ่งจะมีทั้งการสะท้อนของคลื่น การลดทอน และการดูดกลืน จากอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น กำแพง หน้าต่าง ฯลฯ และจากผลที่วิเคราะห์ได้ระยะทางที่เพิ่มเป็นสาเหตุสำคัญของค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มขึ้นในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ส่วนในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเริ่มต้นอยู่ที่ 76.065 dB ซึ่งมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่าแบบที่ระดับสายตามองเห็นอยู่ที่ 19.515 dB เนื่องจากแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา นั้นเป็นการจำลองให้สายอากาศทางด้านรับและส่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยระดับสายตา และถูกบดบัง

ด้วยมุมกำแพงของตึกระหว่างทางเดินตลอดระยะทางในการวัด ดังรูปแบบการวัดที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 จากรูปที่ 5.19 จะแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา มาเปรียบเทียบกันตลอดระยะทางตั้งแต่ 2 เมตรจนถึง 7 เมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมจริง แล้วนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพร้อมทั้งแสดงผลด้วยกราฟ



รูปที่ 5.19 การสูญเสียเชิงวิถีในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาที่ได้จากการวัด

ตารางที่ 5.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

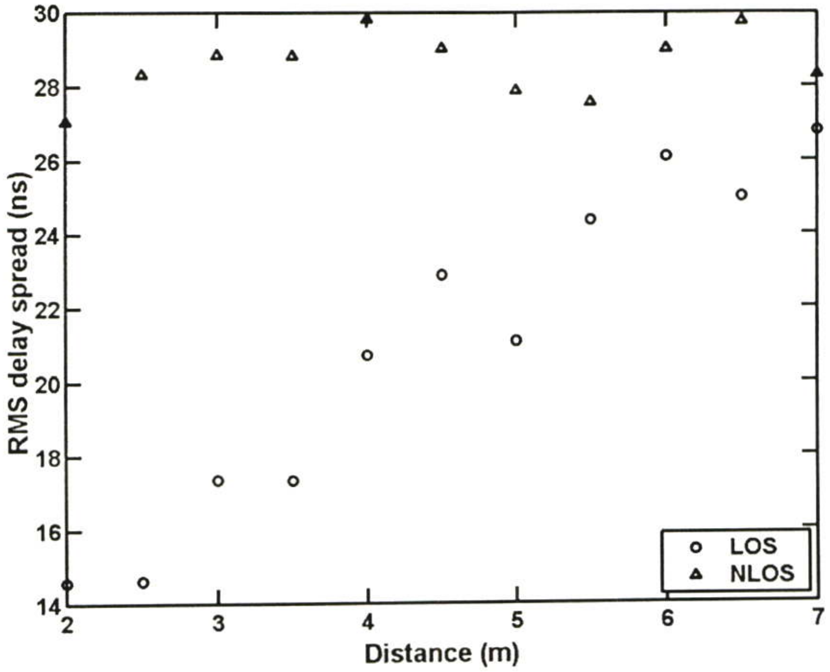
ระยะทาง (เมตร)	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB)	
	LOS	NLOS
2	56.62	76.065
2.5	60.31	81.62
3	61.97	81.93
3.5	63.76	75.50

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ค่าการสูญเสียเชิงวิถีกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

ระยะทาง (เมตร)	**ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB)**	
	ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (dB)	**ระยะทาง (เมตร)**
4	64.11	79.38
4.5	65.25	79.80
5	66.87	81.89
5.5	67.58	81.96
6	67.82	81.82
6.5	68.28	82.87
7	70.48	88.15

5.2.1.4 การวิเคราะห์ค่าแผ่ประวิงเวลา

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่ากรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตานั้นค่าการแผ่ประวิงเวลาจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากผลการทดลองที่ระยะทาง 2 เมตรจะมีค่าประวิงเวลาเริ่มต้นอยู่ที่ 14.58 ns ส่วนในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาจะมีค่าแผ่ประวิงเวลาอยู่ที่ 27.13 ns และจะเพิ่มขึ้นจากนี้ไม่มากนักจนถึงระยะทางที่ 7 เมตร ซึ่งจะห็นได้ว่าค่าการแผ่ประวิงเวลานั้นในการส่งผ่านสัญญาณในระดับสายตามองเห็นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางแต่ในกรณีการส่งผ่านสัญญาณแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตาค่าการประวิงเวลาที่ได้จะไม่เพิ่มขึ้นตามระยะทางแต่ที่ระยะ 2 เมตร จะมีค่าการประวิงเวลาห่างกันอยู่ที่ 12.55 ns



รูปที่ 5.20 ค่าแผ่ประวิงเวลาในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

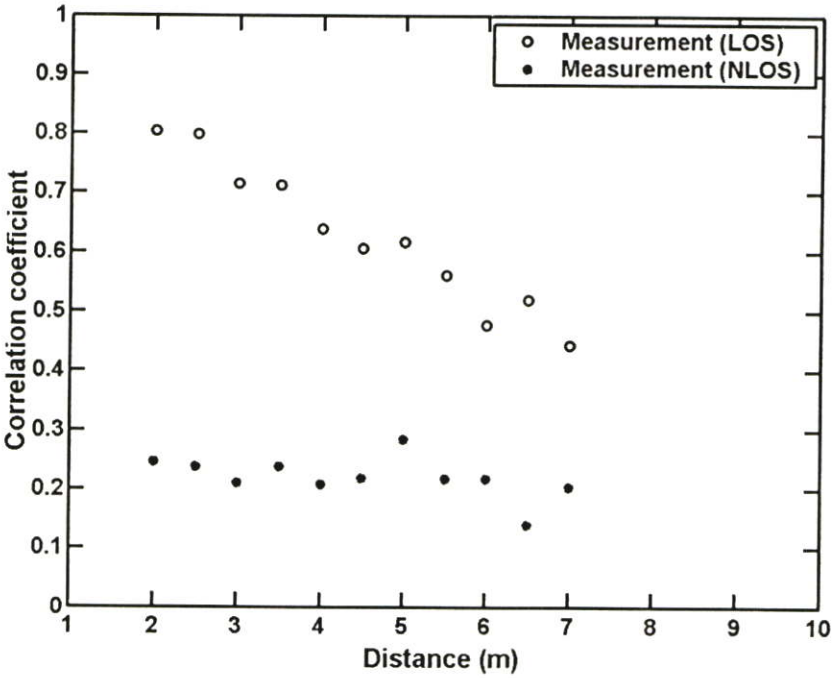
ตารางที่ 5.2 ค่าประวิงเวลาของกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

ระยะทาง (เมตร)	**ค่า RMS Delay Spread (ns)**	
	LOS	**NLOS**
2	19.1	29.2
3	24	29.5
4	24.2	29.4
5	26	29.4
6	27	29.8
7	28	28.2

5.2.1.4 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณโดยแสดงในผลของการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ใช้ส่งและสัญญาณที่รับได้ในระยะทางต่าง ๆ โดยมี

ระยะทางตั้งแต่ 2 ถึง 7 เมตร จากรูปที่ 5.21 จะแสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรณีการส่งผ่านสัญญาณแบบที่ระดับสายตามองเห็นและการส่งผ่านสัญญาณแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตานำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นว่ากรณีที่สามารถมองเห็นได้ในการส่งผ่านแบบที่ระดับสายตามองเห็นได้นั้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่ามากโดยที่ระยะทาง 2 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.80 แต่เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าต่ำลงตามระยะทาง เนื่องจากเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณทางด้านรับ และระยะทางที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าของสัญญาณที่รับได้ต่ำลงไปด้วย อีกทั้งสภาพแวดล้อมที่ทำการวัดรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดล้วนแล้วแต่มีผลต่อค่าที่ได้ทั้งสิ้น ส่วนกรณีไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่ระยะทาง 2 เมตรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.25 จะเห็นว่าที่ระยะทาง 2 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กรณีการส่งผ่านสัญญาณในแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา มีค่าต่ำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าการส่งผ่านสัญญาณแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตามองเห็นอยู่ 0.55 และเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ก็จะลดต่ำลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



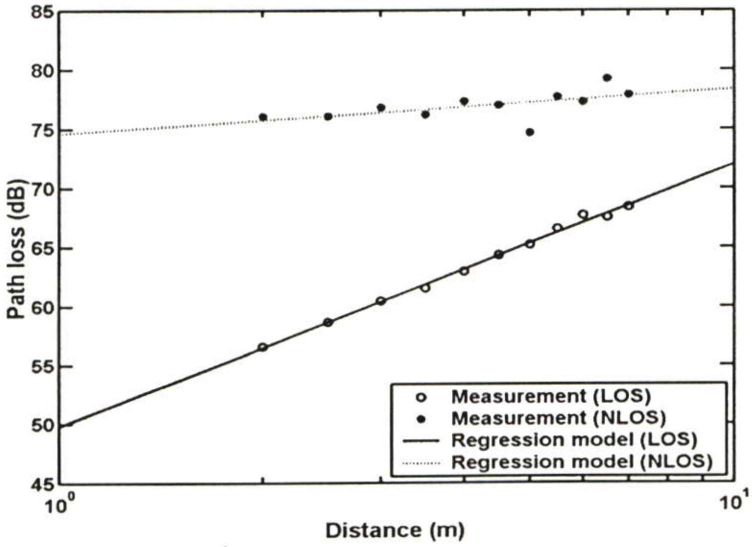
รูปที่ 5.21 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นและ แบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่ได้จากการวัด

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาและไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

ระยะทาง (เมตร)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	
	LOS	NLOS
2	0.80	0.25
2.5	0.88	0.38
3	0.84	0.41
3.5	0.84	0.62
4	0.77	0.51
4.5	0.86	0.47
5	0.85	0.43
5.5	0.75	0.44
6	0.81	0.39
6.5	0.82	0.43
7	0.64	0.45

5.2.1.5 การจำลองผลโดยวิธีการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้น

5.2.1.5.1 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าการสูญเสียกำลังงานจากผลการวิเคราะห์

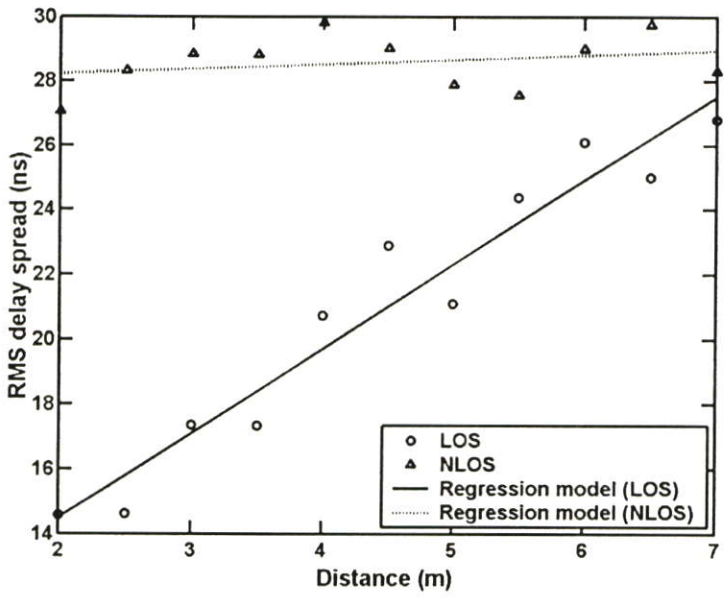


รูปที่ 5.22 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา

จากรูปที่ 5.22 กราฟเส้นตรงทั้ง 2 เส้นแสดงถึงแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น (โพลิโนเมียลกำลัง 1) ที่เราจะใช้เพื่ออธิบายภาพรวมของค่าการสูญเสียเชิงวิถี ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งผลของการใช้แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นจะได้พารามิเตอร์เพื่อใช้ในการสร้างสมการเส้นตรงและค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนของเส้นตรงนั้นๆ

จากรูปที่ 5.22 เมื่อเรามองสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของค่าการสูญเสียเชิงวิถี จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นนั้น สมการเส้นตรงจะมีความชันมากกว่าแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตานั้นมีการสูญเสียจากสิ่งแวดล้อมสูงและได้รับผลกระทบจากระยะทางน้อยกว่าแบบที่สามาาถมองเห็นได้ในระดับสายตา

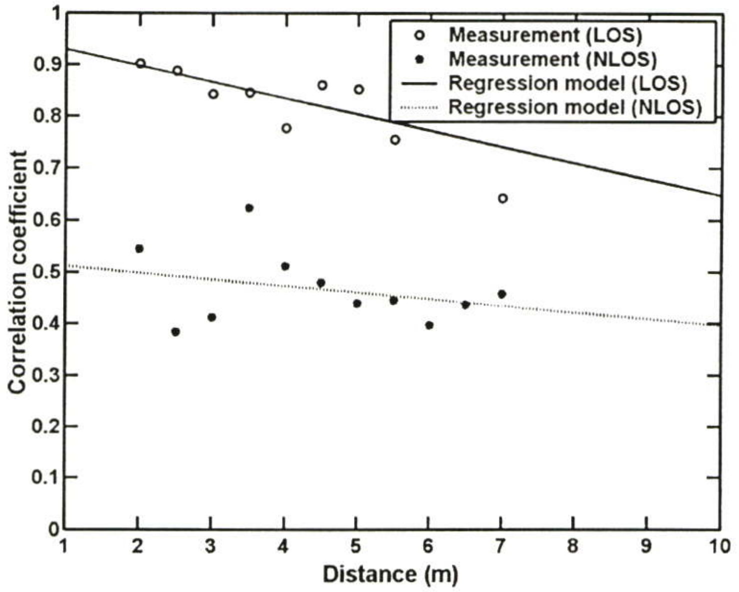
5.2.1.5.2 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าการประวิงเวลาจากผลการวิเคราะห์



รูปที่ 5.23 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าการประวิงเวลาของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา

จากรูปที่ 5.23 เมื่อเรามองสมการเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของค่าประวิงเวลา จะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นนั้น สมการเส้นตรงจะมีความชันมากกว่าแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตานั้นมีการสูญเสียจากสิ่งแวดล้อมสูงและได้รับผลกระทบจากระยะทางน้อยกว่าแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

5.2.1.5.3 ผลการประมาณค่ารีเกรสชันเชิงเส้นที่ใช้แทนชุดข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากผลการวิเคราะห์



รูปที่ 5.24 ค่ารีเกรสชันเชิงเส้นของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ กรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา

จากรูปที่ 5.24 กราฟเส้นตรงทั้ง 2 เส้นแสดงถึงแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นที่เราจะใช้เพื่ออธิบายภาพรวมของค่าการสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งรูปกราฟเส้นตรงที่ได้นั้น จะมีลักษณะผกผันกับค่าการสูญเสียเชิงวิถี ในลักษณะใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่าสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าสูงจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางเปลี่ยนไป

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการวัดช่องสัญญาณในแบบสภาพแวดล้อมแบบที่ระดับสายตามองเห็นและแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา บริเวณทางเดินภายในอาคารนี้จะเห็นว่าผลการตอบสนองของช่องสัญญาณ ในแบบที่ระดับสายตามองเห็นจะมีผลที่ดีกว่าเนื่องจากสัญญาณที่ได้นั้นเกิดการจางหายของสัญญาณน้อยกว่าแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา เมื่อเปรียบเทียบในระยะทางที่เท่าๆ กัน แต่ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นการเกิด จางหายของสัญญาณ จะมีค่าสูงตลอดช่วงความถี่ที่ทำการส่งสัญญาณและสัญญาณที่รับได้เมื่อมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนเวลาค่าแอมพลิจูดของสัญญาณทางด้านรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตามีค่าแอมพลิจูดของ

สัญญาณมากกว่ากรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะทางเท่ากัน แต่สัญญาณที่รับได้นั้นเกิดการผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นสัญญาณที่ใช้ส่ง และเกิดการลดทอนกำลังของสัญญาณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำสมการ แมตช์ฟิวเตอร์ มาใช้เพื่อทำให้รูปคลื่นของสัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนน้อยลงอีกทั้งเพื่อให้ค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากระบบการสื่อสารแบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้นมีการส่งสัญญาณเป็นแบบพัลส์เพื่อให้สามารถดีเทคสัญญาณทางด้านรับได้ง่ายขึ้นจึงมีความจำเป็นมากที่ต้องทำให้ค่าสัญญาณที่รับได้มีค่า SNR ที่สูงที่สุด โดยวงจรกรองแบบแมตซ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้ด้วยกัน 2 แบบ คือ วงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่าง เพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้กรณีที่ผ่านวงจรกรองแบบแมตซ์ทั้ง 2 แบบนี้ว่าวงจรกรองแบบแมตซ์แบบไหนที่ให้ทำให้ค่าอัตราส่วนของระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงที่สุด จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญหลักๆ 3 ส่วนด้วยกัน คือ 1. การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี 2. การวิเคราะห์ค่าแผ่ประวิงเวลา และ 3. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ผลการวิเคราะห์ของส่วนที่ 1 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี จะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งในสภาพแวดล้อมกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตานั้นจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีมากกว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นอยู่ที่ 19.515 dB (ในระยะเริ่มต้นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่งอยู่ที่ 2 เมตร) แต่ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในแบบที่ระดับสายตามองเห็นจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นตามระยะทางเห็นได้ชัดมากกว่าแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา โดยที่ระยะ 2 เมตร กรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีอยู่ที่ 56.62 dB และเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 7 เมตร ค่าการสูญเสียจะมีค่าสูงถึง 70.48 dB ซึ่งมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้น 13.86 dB ส่วนกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตาที่ระยะ 2 เมตรมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีอยู่ที่ 76.06 dB และที่ระยะ 7 เมตรจะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีอยู่ที่ 88.15 dB ซึ่งมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้น 12.1 dB ในส่วนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าการแผ่ประวิงเวลาซึ่งเป็นค่าที่ชี้วัดถึงระยะเวลาที่สัญญาณที่เดินทางมาถึง ในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา มีค่าการแผ่ประวิงเวลา (ที่ระยะห่างระหว่างการรับ-ส่ง 2 เมตร) มากกว่าแบบที่ระดับสายตามองเห็น อยู่ที่ 12.55 ns แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างการรับ-ส่งมากขึ้น จะพบว่าค่าประวิงเวลาเริ่มมีค่าเวลาไล่เลี่ยกัน ส่วนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นการวัดแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา นั้น มีค่าน้อยกว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบที่ระดับสายตามองเห็นอยู่ที่ 0.55 (ในระยะเริ่มต้นที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทางด้านรับและส่งอยู่ที่ 2 เมตร) สุดท้ายงานวิจัยนี้ยังได้นำสัญญาณที่รับได้ผ่านสมการวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดและวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างมาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อหาวงจรกรองแบบแมตซ์ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด เนื่องจาก

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ผลการแพร่กระจายคลื่นในระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งจึงจำเป็นต้องหาวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด เพราะมีผลต่อการดีเทค สัญญาณในระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง จากผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบทั้ง 2 แบบนี้จะเห็นว่าสัญญาณที่วงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดนั้นทำให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด จากรูปที่ 5.14, 5.15 และ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบวงจรกรองแบบแมตซ์ทั้ง 2 แบบนี้ในกรณีแบบที่ระดับสายตามองเห็นและจากรูปที่ 5.17, 5.18 และ 5.19 จะเปรียบเทียบในกรณีแบบที่ไม่สามารถมองเห็นในระดับสายตา โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นเมื่อเราพิจารณาถึงสภาวะการนำไปใช้งานจริงบริเวณช่องทางเดินภายในอาคารที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกันอันประกอบไปด้วยอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง กำแพง เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วส่งผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นแบบแถบกว้างยิ่งทั้งสิ้น ซึ่งผลกระทบดังกล่าวนั้นส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณในภาครับ

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการการใช้งานของการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นได้ในอนาคต เนื่องจากเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีจุดเด่นตรงที่มีแบนด์วิดท์ที่กว้าง, ราคาถูก และกำลังส่งที่ต่ำ จึงเป็นปัจจัยหลักทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้เป็นที่สนใจในการทำวิจัยอย่างกว้างขวาง ในส่วนของการวิเคราะห์วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเอาหลักการและทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งเป็นหลักการการหาค่าการส่งผ่านของสัญญาณคลื่นวิทยุในแถบแคบทั่วไปซึ่งประกอบไปด้วยการส่งผ่านของสายอากาศทางด้านส่ง, การส่งผ่านของสายอากาศทางด้านรับ และการส่งผ่านของช่องสัญญาณ แต่เมื่อต้องมาปรับใช้ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจำเป็นต้องมีการปรับสูตรสมการส่งผ่านของฟรีสโดยทำการเพิ่มในส่วนของรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ส่งเป็นแบบพัลส์เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะส่งสัญญาณเป็นแบบพัลส์ และวงจรกรองแบบแมตช์ที่สายอากาศทางด้านรับเพื่อให้สัญญาณที่ได้มีค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงที่สุด จากนั้นนำผลที่ได้สามารถหาค่าการเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ รวมถึงประสิทธิภาพของสัญญาณที่รับได้

การจำลองการวัดการส่งผ่านของช่องสัญญาณนี้จะทำการจำลองบริเวณทางเดินภายในอาคารซึ่งมี 2 รูปแบบด้วยกันคือรูปแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในบริเวณช่องทางเดินภายในอาคาร ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองประกอบด้วยสายอากาศรับและส่งซึ่งเป็นสายอากาศแบบกรวยคู่ และใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวคเตอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัดและบันทึกผลค่าที่ได้จากจำลองการส่งสัญญาณระหว่างการส่งผ่านระหว่างสายอากาศทางด้านรับและสายอากาศทางด้านส่ง เพื่อนำค่าเหล่านั้นไปป้อนเข้าโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ ในแง่มุมต่างๆ กัน

การวิเคราะห์อันดับแรก คือการวิเคราะห์อัตราการสูญเสียเชิงวิถี หรือค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามภายใต้สภาพแวดล้อมทั้ง 2 แบบ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองชี้ให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา และแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา นั้นมีค่าการสูญเสียกำลังงานเพิ่มขึ้นตามระยะทาง โดยในกรณีที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา นั้นมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยกว่าแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา แต่กรณีที่สามารถ

มองเห็นได้ในระดับสายตา นั้นจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าการสูญเสียเชิงวิถีเพิ่มขึ้นตามระยะทางอย่างเห็นได้ชัดมากกว่ากรณีของแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา

การวิเคราะห์อันดับต่อมา คือการวิเคราะห์ค่าแผ่ประวิงเวลา ค่าประวิงเวลาเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงช่วงเวลารอคอยที่เกิดขึ้นก่อนที่จะมีการสื่อสารข้อมูล และส่งผลต่อความเร็วในการสื่อสารนั้นๆ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าในระยะทางสั้นๆ ของสภาพแวดล้อมแบบที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา นั้น จะมีค่าประวิงเวลาที่ต่ำ แต่เมื่อเพิ่มระยะทางมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าประวิงเวลาจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในสภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่มีค่าประวิงเวลาสูงคงที่ในทุกๆระยะทางที่ทำการทดลอง นั่นจึงกล่าวได้ว่าค่าประวิงเวลา หรือ ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลภายใต้ สภาวะแวดล้อม ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา นั้น ไม่ค่อยได้รับประโยชน์จากระยะทางที่สั้นเท่าไรนัก ซึ่งต่างกับ สภาวะแวดล้อมที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่ได้รับประโยชน์อย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้เรายังทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการรับ-ส่ง, ซึ่งการวิเคราะห์ค่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่เกิดขึ้น เนื่องจากทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณที่ส่งว่ามีการผิดเพี้ยนไปเท่าไร ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าภายใต้สภาพแวดล้อมแบบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตานั้น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าต่ำ และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงจากการเพิ่มระยะทาง (อีกนัยหนึ่งคือมีการผิดเพี้ยนสูง และ คงที่ โดยไม่ได้รับผลกระทบจากระยะทางเท่าไร) และในสภาพแวดล้อม ที่สามารถมองเห็นได้ในระดับสายตา ที่ได้ค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงค่อนข้างคงที่นั่นหมายความว่า การผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากระยะทางเท่าไรนัก แต่จะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในแต่ละแบบเสียมากกว่า

และสุดท้ายในงานวิจัยนี้ยังได้มีการนำวงจรกรองแบบแมตซ์มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้สัญญาณที่รับได้มีค่า SNR สูงที่สุด จึงได้เลือกวงจรกรองแบบแมตซ์ที่เป็นที่ดีที่สุดวงจรกรองแบบแมตซ์ในอวกาศว่างมาใช้ในการวิเคราะห์และทำการเปรียบเทียบกันเพื่อหาวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง และผลที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรกรองแบบแมตซ์ที่ดีที่สุดเป็นวงจรกรองแบบแมตซ์ที่ทำให้ให้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

จากแนวคิดที่ได้ทำการทดลองวิจัยและวิเคราะห์การใช้งานระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งภายใต้สภาพแวดล้อมทั้งสองลักษณะบริเวณทางเดินภายในอาคาร ซึ่งสภาพแวดล้อมทางเดินอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นทางเดินที่มีลักษณะทั่วไปภายในอาคาร ทั้งนี้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองช่องสัญญาณที่ได้จากสภาพแวดล้อมจริงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ที่มีลักษณะเดียวกันได้ จากงานวิจัยพบว่าตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการทำการทดลอง มีเพียงสองปัจจัยที่เห็นได้

ชัด นั่นคือ ระยะทาง และ สิ่งกีดขวาง ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการลดทอนสัญญาณ ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ ในสภาพแวดล้อม เช่น วัสดุต่างๆ ที่อยู่ในสภาพแวดล้อม, ปริมาณของสถานที่ทำการทดลอง, ทิศทางและการสะท้อนในสถานที่ทำการทดลองนั้น ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ค่อนข้างซับซ้อน, จำต้องใช้เครื่องมือวัดที่แตกต่างออกไป อีกทั้งวัดผลได้ยาก ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาต่อคือ ควรเพิ่มปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติมในสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลอง เพื่อวัดผลการใช้งานระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งในแง่มุมต่างๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] J.D. Taylor, **"Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems,"** CRC press, London, UK, pp. 670, 1995.

[2] Federal Communication Commission, "**Revision of part 15 of the commission's rules regarding UWB Transmission Systems,**" First Report, FCC 02-48, Apr.2002

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

[4] IEEE Standard 802.15.1TM, June14, 2002. http://standard.ieee.org/getieee802/download/802.15.1-2002 sectionone.pdf

[5] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering**. England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.

[6] Theodore S. Rappaport. **Wireless Communications Principles and Practice**. USA : Prentice-Hall Inc. 1996.

[7] M.Z. Win and R.A. Scholtz, **"On the Energy Capture of Ultra-Wideband Width Signals in Dense Multipath Environments," IEEE Comm.Lett.**, vol.2, pp. 245-247, Sep. 1998.

[8] F. Ramirez-Mireles, "Performance of Ultrawideband SSMA Using Time Hopping and Mary PPM," **IEEE J.SEL. Areas Comm**., vol. 19, pp.1186-1196, Jun. 2001

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

[10] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani,**"Extension of Friis' Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems,"** IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.

[12] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, **"Free Space Link Budget Evaluation of UWBIR Systems,"** 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (UWBST&IWUWBS), pp. 312--316, May 2004.

[13] N. Yingkajohn, S. Promwong, P. Supanakoon. **"Evaluation of LOS/NLOS Propagation channel for UWB Radio Communications"** ITC-CSCC 2006', vol.III, pp.501-504, July. 2006

[14] N. Yingkajohn, S. Promwong, P. Supanakoon. "**Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Corridor for Short Range Wireless Systems**" ECTI-CON 2007',vol.II, pp.888-891, May 9-12. 2007

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

[1] **N. Yingkajohn**, S. Promwong, P. Supanakoon. "Evaluation of LOS/NLOS Propagation channel for UWB Radio Communications" ITC-CSCC 2006',vol.III, pp.501-504, July. 2006

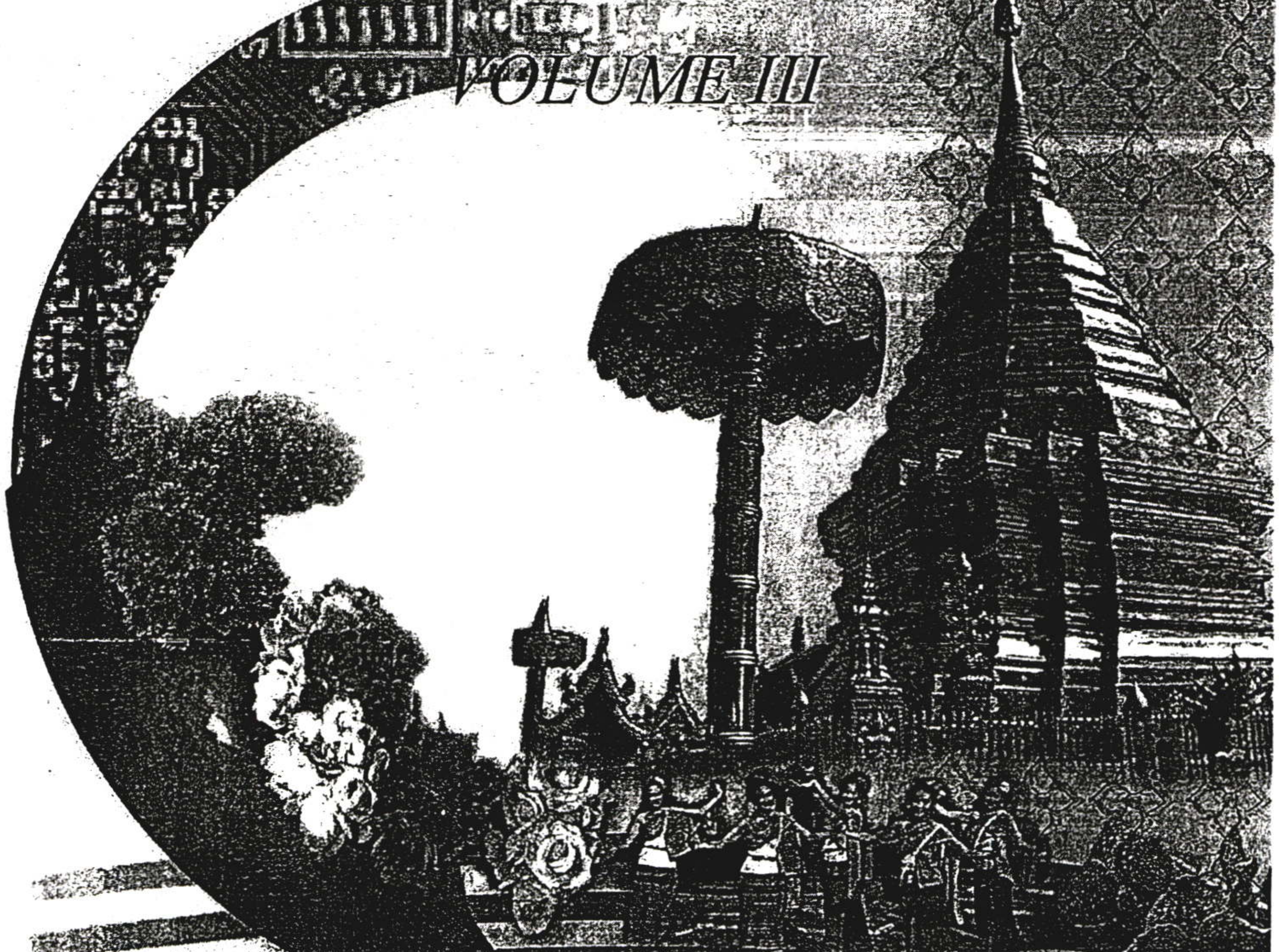
[2] **N. Yingkajohn**, S. Promwong, P. Supanakoon. "Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Corridor for Short Range Wireless Systems" ECTI-CON 2007',vol.II, pp.888-891, May 9-12. 2007

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 INFORMATION 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

EVALUATION OF LOS/NLOS PROPAGATION CHANNEL FOR UWB RADIO COMMUNICATIONS

Nisakorn Yingkajohn, Sathaporn Promwong and Pichaya Supanakoon

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: s6064609,kpsathap and kspichay @kmitl.ac.th

ABSTRACT

Ultra-wideband (UWB) is currently interesting technology of wireless communication in building and home environments, so the line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) propagation channels are the important parameters. In this paper, the LOS and NLOS propagation channel for UWB radio communications are evaluated. A vector network analyzer (VNA) is used to measure the frequency transfer functions of the radio propagation channels cover the frequency from 3.1 ~ 10.6 GHz. The biconical antennas are used for transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The measurement is performed in the corridor with LOS and NLOS (concrete wall obstruction) environments along the distance from 0.5 to 7 m. The matched filer is used in Rx equipment to approve the received signal. The attenuation, time dispersion and distortion are investigated in the terms of path loss, RMS delay spread and correlation coefficient, respectively. These results are discussed in the conclusion.

Keywords: ultra wideband, UWB, path loss, biconical antennas.

1. INTRODUCTION

Ultra Wideband (UWB) technology, a revolution approaches to the radio communications, allows systems to operate across a range of frequency band defined by the Federal Communications 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. The UWB technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power, and low cost indoor communication systems such as wireless personal area networks (WPANs) [2],[3]. However, this channel model is mainly aimed for short range applications (i.e. < 10 m).

Indoor environment is one of the operating environments defined in [4] based on the applications envisioned for IEEE 802.15.4a standard as identified in [5]. Several channel measurements based on the indoor environments have been reported in [6]-[9], but most of these measurements were conducted on the IEEE 802.15.4a standard, which was conducted in a flat. Furthermore, these measurements were aimed to investigate propagation channel for long range applications. This implies that more channel measurements are required in order to gain more profound knowledge of the UWB channel behaviors in this environment.

This paper reports an extensive UWB measurement campaigns conducted in the corridor within the building. The aims of this paper are present the measurement of line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS, concrete wall obstruction) environments along the distance from 0.5 to 7 m. The frequency transfer functions of the radio propagation channels are measured by using a vector network analyzer (VNA) over the frequency from 3.1 ~ 10.6 GHz. The biconical antennas are used for transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The analysis results of the measurement data in terms of path loss, RMS delay spread and correlation coefficient are shown. Based on these parameters, they can be provided for the standardization activities in IEEE 802.15.3a channel modeling.

2. MEASUREMENT SETUP

2.1. Instrument setup

The UWB radio channel transfer function is measured in frequency domain. The measurement system consists of the VNA (HP-8510C), the S-parameter test set (HP-8514B), the frequency synthesized sweeper (HP-83620A), the biconical antenna pair and the personal computer. The VNA is operated in the response measurement mode, where port 1 is the Tx which is connected to Tx antenna via the semi-rigid cable and port 2 is the Rx which is connected to the Rx antennas via the double-shield low-loss cable and low noise amplifier (LNA). The configuration of this measurement is shown in Fig. 1 and the measurement setup parameters are listed in Table 1.

The biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm are used as the Tx and Rx antennas. The geometric and dimension of biconical an-

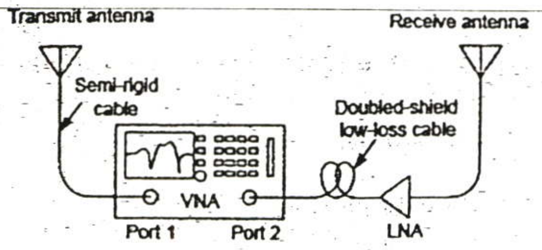


Fig.1: The configuration of measurement.

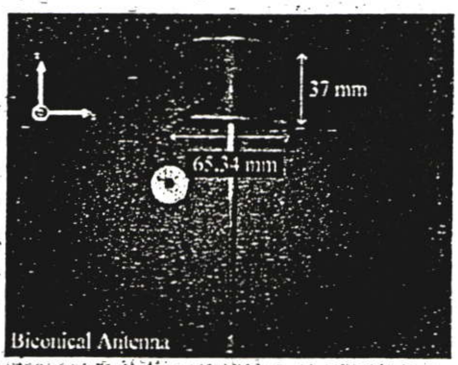


Fig.2: Geometric and dimension of biconical antenna.

tenna is shown in Fig.2. The biconical antenna typically has an omni-directional radiation pattern, with a linearly phase response. Magnitude and phase of the transfer function of this antenna are shown in Fig. 3.

The measurement is conducted on 12th floor Engineering Building at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). There are two models, which are considered as the LOS and NLOS environments, respectively. The measurement models are shown in Fig. 4.

2.2. Transmitted Signal Model

The UWB signal model for transmitted signal waveform is the rectangular passband pulse, $v_t(t)$. The expressions of this waveform in time domain can be written as

where f_{min} and f_{max} is the minimum and maximum frequencies, respectively, $f_b = f_{max}$-f_{min} is the spectral band-

Table 1: Measurement setup parameters

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz - 11 GHz
Number of frequency point	801 points
Dynamic power range	80 dB
Tx antenna height	1.5 m
Rx antenna height	1.5 m
Distance between Tx and Rx antennas	0.5-7 m(each 0.5m)
Distance increment	0.5 m

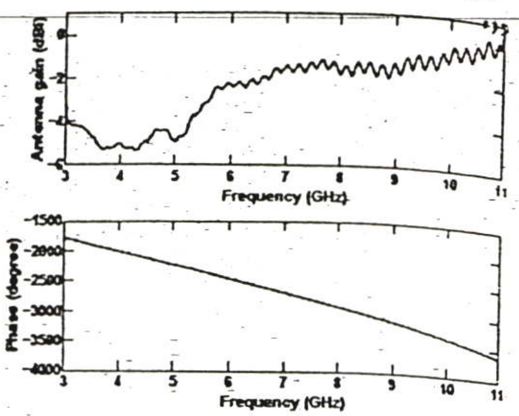


Fig.3: Magnitude and phase of the transfer function of biconical antenna.

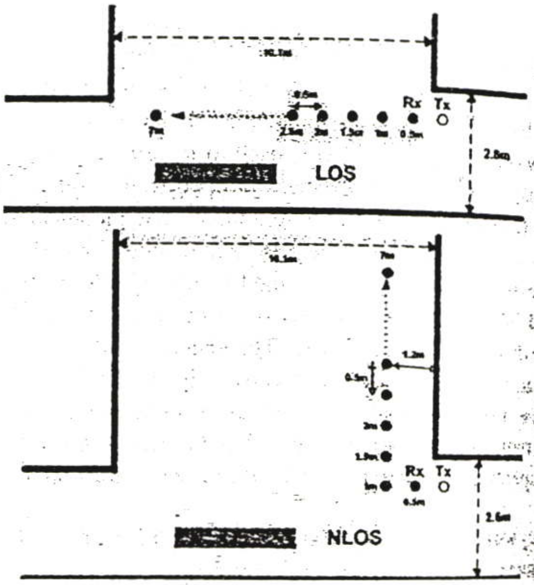


Fig.4: Measurement setup.

width; $f_c = (f_{max} + f_{min})/2$ is the center frequency and $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$.

This UWB transmitted signal waveform is shown in Fig. 5, which 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

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

3. RESULT AND ANALYSIS OF MEASUREMENT

This paper, the LOS and NLOS propagation channels for UWB radio communications are evaluated and analyzed in the terms of path loss, RMS delayed spread and correlation coefficient. The results are shown in this section

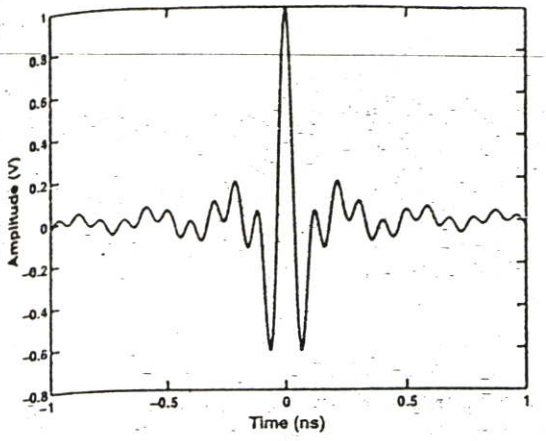


Fig.5: Transmitted signal waveform.

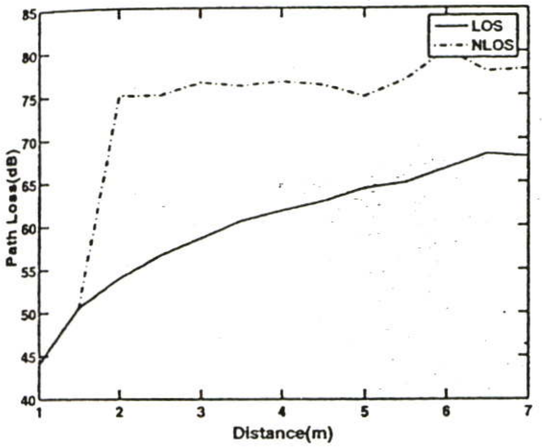


Fig.6: Path losses of LOS and NLOS environments.

3.1. Path Loss

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

$$PL(dB) = 20\log\left(\frac{\max|v_t(t_0)|}{\max|v_r(t')|}\right), \tag{2}$$

where $v_t(t)$ and $v_r(t)$ are the amplitudes of the transmitted and received signal waveforms, respectively.

The path losses of LOS and NLOS environments are shown in Fig. 6. The path losses are increased along the distance between Tx and Rx antennas for both LOS and NLOS environments. The path loss of NLOS environment is more than that of LOS environment about 10.93 dB. This value can be considered as the attenuation quantity of concrete wall.

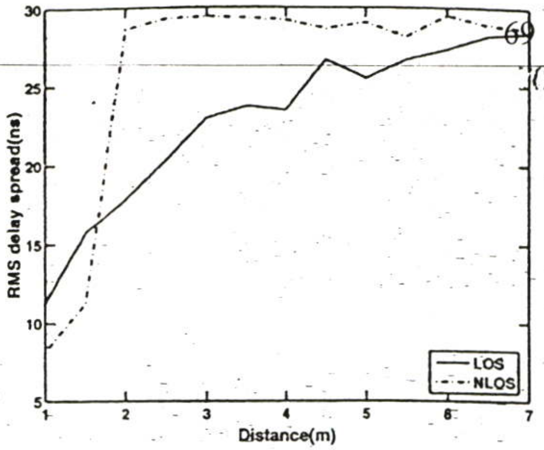


Fig.7: RMS delay spreads of LOS and NLOS environments.

3.2. RMS delay spread

Time dispersion is indicator to quality of channel. Time dispersion usually shows in the parameters such as mean excess delay and RMS delay spread. Parameters mean excess delay (τ) and RMS delay spread (σ) are defined by

$$\tau = \frac{\int_0^\infty t|v_r(t)|^2dt}{\int_0^\infty |v_r(t)|^2dt}, \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\int_0^\infty (t-\tau)^2|v_r(t)|^2dt}{\int_0^\infty |v_r(t)|^2dt}}. \tag{4}$$

The RMS delay spreads of LOS and NLOS environments are shown in Fig.7. The RMS delay spreads are increased along the distance between Tx and Rx antennas for both LOS and NLOS environments. The RMS delay spread of NLOS environment is more than that of LOS environment about 3.09 ns. This value can be considered as the time dispersion quantity of concrete wall.

3.3. Correlation coefficient

The correlation coefficient can be considered as the ratio between the cross correlation between the transmitted and received signal waveforms and the square root of multiplication between auto correlation of transmitted and received signal waveforms, which can be written as below.

$$\rho(\mathrm{d}) = \frac{\max|r_{ab}(\tau)|}{\max\sqrt{|r_a(\tau)r_b(\tau)|}}, \tag{5}$$

where r_{ab} is cross correlation between signals a and b and r_a, r_b is auto correlation of signals a and b, respectively.

The correlation coefficients of LOS and NLOS environments are shown in Fig. 8. The correlation coefficients are

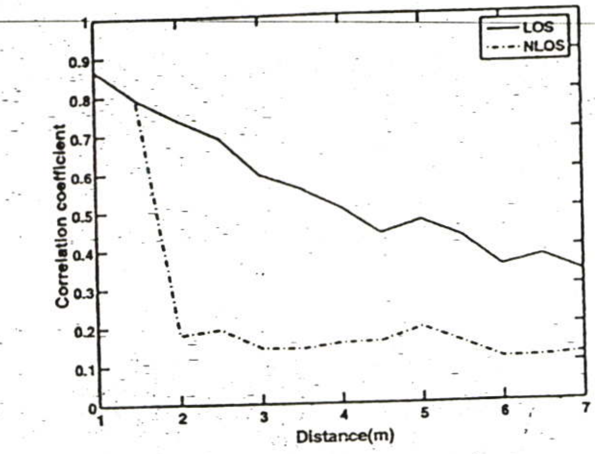


Fig.8: Correlation coefficients of LOS and NLOS environments.

decreased along the distance between Tx and Rx antennas for both LOS and NLOS environments. The correlation coefficient of NLOS environment is less than that of LOS environment about 0.29. This value can be considered as the distortion quantity of concrete wall.

4. DISCUSSION

This paper, the LOS and NLOS propagation channel for UWB radio communications is evaluated and analyzed. The results demonstrate the attenuation, time dispersion and distortion quantities of concrete wall affected to UWB signal. The effect of concrete wall increases the path loss and RMS delay spread about 10.93 dB and 3.09 ns, respectively, while that decreases the correlation coefficient about 0.29.

5. 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] M. Ghavami, L.B.Michael,R.Kohno ,"*Ultra wideband signals and systems in communcation engineering*," John Wiley-Sons,Ltd, 2004.

[3] T. B. Welch, R. L. Musselman, B. A. Emessiene, P. D. Gift, D. K. Choudhury, D. N. Cassadine, and S. M. Yano, "The effects of the human body on UWB signal propagation in an indoor environment," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 20, no. 9, pp. 1778 – 1782, Dec. 2002.

[4] A. F. Molisch, B. Kannan, C. C. Chong, S. Emami, A. Fort, J. Karedal, J. Kunisch, H. Schantz, U. Schuster and K. Siwiak, IEEE 802.15.4a Channel Model Final Report, IEEE 802.15-04-0662-00-004a, San Antonio, TX, USA, Nov. 2004.

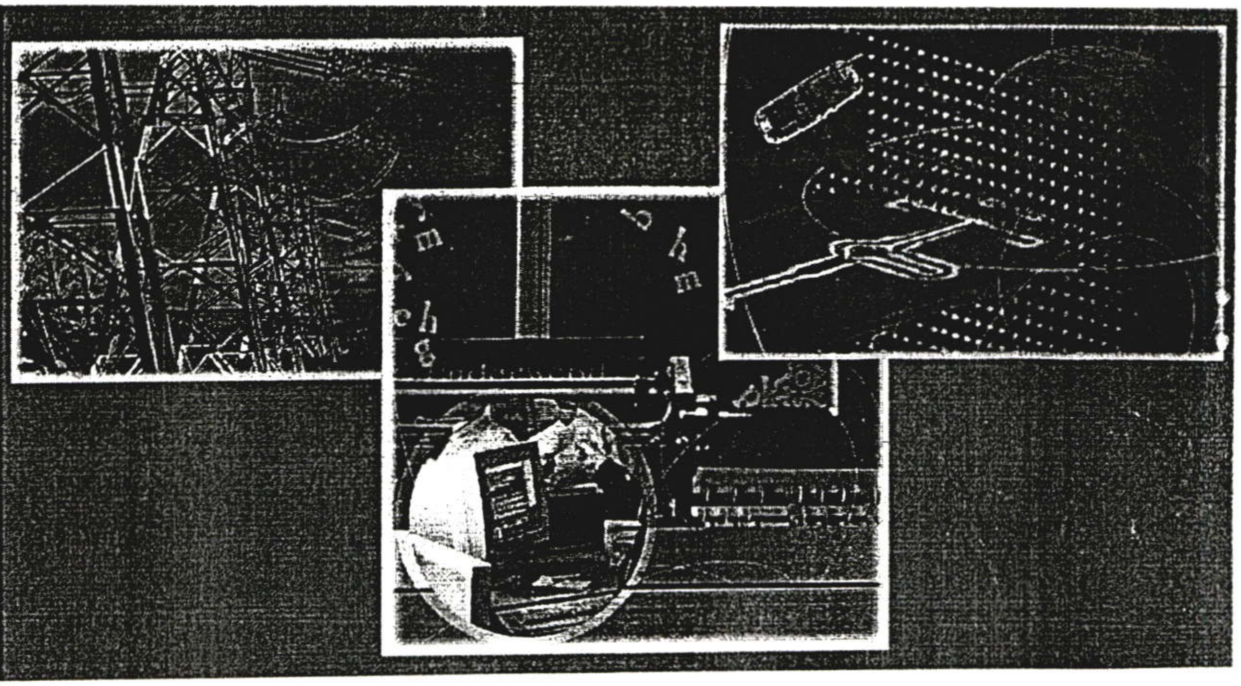
[5] Application Requirement Analysis. IEEE P802.15-03/0489r4.

[6] S. S. Ghassemzadeh, R. Jana, C. Rice, W. Turin and V. Tarokh, Measurement and modeling of an ultra-wide bandwidth indoor channel, IEEE Trans. Commun., vol. 52, no. 10, pp. 1786-1796, Oct. 2004.

[7] J. Foerster and Q. Li, UWB Channel Modelng Contribution from Intel, IEEE P802.15-02/445r1-SG3a, Jun. 2002.

[8] M. Pendergrass and W. C. Beeler, Empirically based statistical UWB channel model, IEEE P802.15-02/240SG3a, Jul. 2002.

[9] J. Keignart, J. B. Pierrot, N. Daniele, A. Alvarez, M. Lobeira, J. L. Garcia, G. Valera and R. P. Torres, Radio Channel Sounding Results and Model, Deliverable D31, IST-2001-32710-U.C.A.N., Nov. 2002.

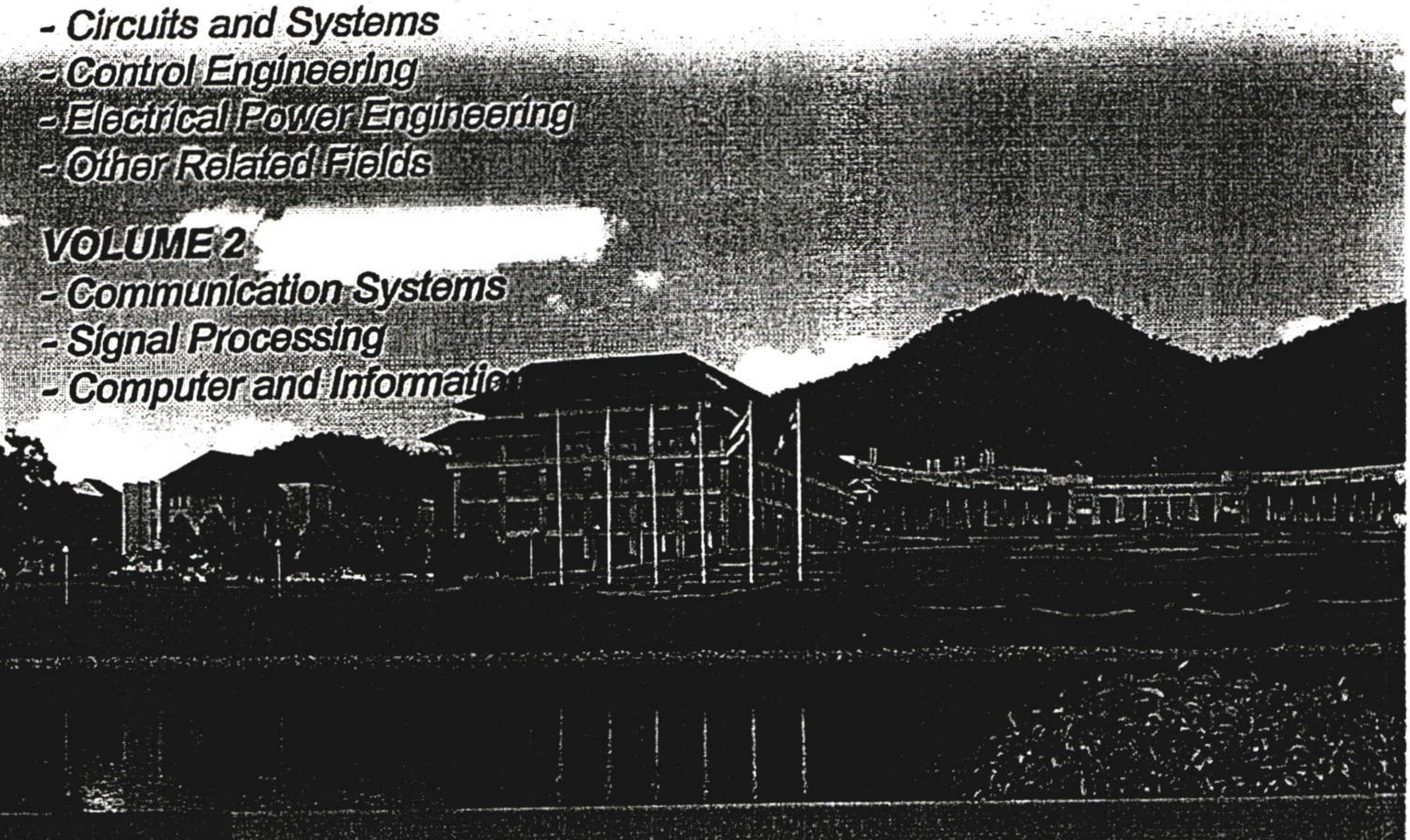


ECTI-CON 2007

Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007

VOLUME 1
- *Circuits and Systems*
- *Control Engineering*
- *Electrical Power Engineering*
- *Other Related Fields*

VOLUME 2
- *Communication Systems*
- *Signal Processing*
- *Computer and Informatio*



ECTI Association IEEE THAILAND SECTION NECTEC WD Western Digital

Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Corridor for Short Range Wireless Systems

Nisakorn Yingkajohn[1], Sathaporn Promwong[1], and Pichaya Supanakoon[1]
[1]Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: {s6064609,kpsathap,kspichay}@kmitl.ac.th

***Abstract*— Ultra wideband (UWB) is currently wide interesting technology of wireless communication technology in building and home entertainment so the line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) environments have effect on attenuation and other. In this paper, the LOS/NLOS propagation channel for UWB radio communications are evaluated. A vector network analyzer (VNA) is used to measure the frequency transfer functions of the radio channels over the frequency ranged from 3.1 10.6 GHz. The biconical antennas are used as transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The measurement is performed in the corridor with LOS and NLOS (wall obstruction) environments along the distance from 1-7 m. The matched filter is used at the receiver to maximize signal-to-noise ratio (SNR) of the received signal. The results are discussed in the conclusion.**

***Keywords:* UWB line-of-sight, non-line-of-sight, path loss**

I. Introduction

Ultra Wideband (UWB) technology, a revolutionary approach to radio communications, allows systems to operate across a range of frequency bands defined by FCC [1] with negligible interference to existing systems in that band. This is because UWB uses very low power spectral density (PSD), while maintaining a high data rate. The UWB techniques can also provide reliable location information, high resolution imaging and work efficiently in a cluttered environment. The UWB technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power and low cost indoor communication systems such as wireless personal area networks (WPANs) [2], [3]. Moreover, this channel model was mainly aimed for short range applications (i.e. < 10 m).

Indoor environment is one of the operating environments defined in [4] based on the applications envisioned for IEEE 802.15.4a standard as identified in [5]. Several channel measurements based on the indoor environments have been reported in the literature [6]-[9], but most of these measurements were conducted on the IEEE 802.15.4a standard, which was conducted in a flat. Furthermore, these measurements were aimed to investigate propagation channel for long range applications. This implies that more channel measurements are required in order to gain more profound knowledge of the UWB channel behaviors in this environment.

This paper report an extensive UWB measurement campaigns conducted in the types of corridor. The aim of this paper is to present the measurement of line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS, wall obstruction) environments along the distance from 2 to 7 m. The UWB path loss is evaluated and shown. The path loss characteristics are discuses. The frequency transfer functions of the radio channels are measured by using a vector network analyzer (VNA) over the frequency ranged from 3.1 GHz $\sim$ 10.6 GHz. The biconical antennas are used as transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The measurement data in term of the distance and frequency dependency of transmission gain are analyzed. Based on this, more measurement results can be provided for the standardization activities in IEEE 802.15.3a channel modeling.

II. Ultra Wideband Analysis

A. UWB transmission theory

The Friis' transmission formula [10] has been widely used to evaluate the link budget for the narrowband LOS channels. The UWB transmission signal waveform, its distortion due to the channel, and the receiver. Friis' transmission formula is extended for calculating the UWB free space link budget. For free space model, channel transfer function H_c are expressed as

$$H_{c,f}(f,d) = H_f(f,d)\vec{H}_r(f,\frac{\pi}{2},\pi)\cdot\vec{H}_t(f,\frac{\pi}{2},0), \quad (1)$$

where H_f is the free space transfer function which is expressed as

$$H_f(f,d) = \frac{c}{4\pi f d}e^{-j2\pi f d/c}. \quad (2)$$

The complex transfer function vector of the antenna $\vec{H}_a$ relative to the isotropic antenna towards the $(\theta,\ \varphi)$ direction

$$\vec{H}_a(f,\theta,\varphi) \ = \ \hat{\theta}H_{a\theta}(f,\theta,\varphi)+\hat{\varphi}H_{a\varphi}(f,\theta,\varphi), \quad (3)$$

where $a = \mathrm{r}\ or\ \mathrm{t}$, θ and φ are the azimuthal and polar angles of spherical coordinates. Unit vectors $\hat{\theta}$, $\hat{\varphi}$ express the polarization and are defined with respect to the local spherical coordinates of the antennas.

The receiver input voltage $v_r(t)$ of free space model is given as

$$v_r(t,d) = \int_{-\infty}^{\infty} H_{c,f}(f,d)V_t(f)e^{j2\pi f t}df, \quad (4)$$

where $V_t(f)$ is the spectral density of the transmitted signal that is calculated by using Fourier transform of its time domain waveform as

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) e^{-j2\pi f t} dt. \tag{5}$$

At the receiver, the matched filter $H_{MF}(f)$ is using for improvement signal-to-nosie ratio (SNR) of the received signal waveform that can be written as below

$$H_{MF}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} H^*_{Friis}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{Friis}(f)|^2 df}}, \tag{6}$$

which satisfies the following constant noise output power condition

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{MF}(f)|^2 df = 1. \tag{7}$$

In this case, the output waveform when $E_i = 1$, and the spectrum of the receiver output are $h_{e-Friis}(t)$ and $H_{e-Friis}(f)$, respectively. The waveform of the output from the match filter $v_{MF}(t)$ and the spectrum of the output from the matched filter $V_{MF}(f)$ are

$$\begin{aligned} v_{MF}(t) &= h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(t) \\ &= \frac{h_{e-Friis}(t) * h_{MF}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{e-Friis}(t) dt}}, \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} V_{MF}(f) &= H_{e-Friis}(f) H_{MF}(f) \\ &= \frac{|H_{e-Friis}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \end{aligned} \tag{9}$$

take its maximum as

$$\max_t v_{MF_t} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} V_{MF}(f) df}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{e-Friis}(f)|^2 df}}, \tag{10}$$

Eq.(10)is the UWB extension of Friis' transmission formula. It includes three elements, namely the frequency characteristics of free space propagation, and the spectrum of the transmit signal. It is clear from Eq.(10)that the transmission gain of the UWB cannot be defines as the product of gains of antenna and a free space channel as a Friis' formula[10]. Instead, the total transmission gain including the effect of the waveform can be obtained as Eq.(10).

B. Path loss

The path loss PL [11] can be defined as the ratio between the maximum amplitude of the transmitted signal waveforms and output waveform of the matched filter

$$PL(dB) = 20 \log \frac{max|v_t(t)|}{max|v_{MF}(t)|}. \tag{11}$$

TABLE I

PARAMETERS OF EXPERIMENT

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz - 11 GHz
Number of frequency point	801
Dynamic power range	80
Tx antenna height	1.5 m
Rx antenna height	1.5 m
Distance between Tx and Rx	1-7 m
Distance increment step by	0.5m

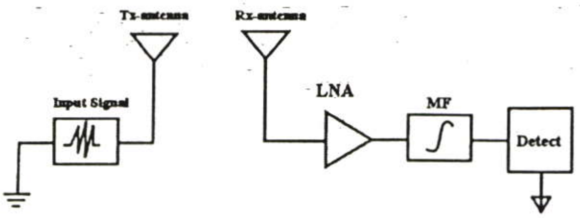


Fig. 1. Block diagram of System Analysis for UWB.

III. EXPERIMENTAL SYSTEM

A. Experiment setup

The UWB radio channel transfer function is measured. The measurement system consists of the VNA model HP-8510C, the S-parameter test set (HP-8514B), the frequency synthesized sweeper (HP-83620A), the biconial antenna pair and the personal computer. The VNA is operated in the response measurement mode, where PORT1 is the Tx port and PORT2 is the Rx port. The biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm are used as the Tx and Rx antennas. Table 1 lists the main parameters of the experiments.

The measurement is done on 12 floor Engineering Building at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Two models are considered for the LOS and NLOS environments, respectively. The first model for LOS environment and second model for NLOS environment are shown in Fig 2.

B. Transmitted signal waveform

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the impulse radio signal with center frequency is at the center of lower band of preliminary UWB transmission mask for impact analysis of Japan. That is $f_c = 4.1$ GHz. Three cases of the spectral bandwidths are considered. The bandwidths are set to be $B = 0.5$, 0.95 and 1.4 GHz, which are the minimum UWB bandwidth defined by FCC, middle and maximum UWB bandwidths of the lower band. The UWB transmitted signal in the simulation was the passband rectangular pulse. Figure 3 shows the transmitted pulse waveforms with 0.5, 0.95 and 1.4 GHz bandwidths. The expression of this pulse in time domain

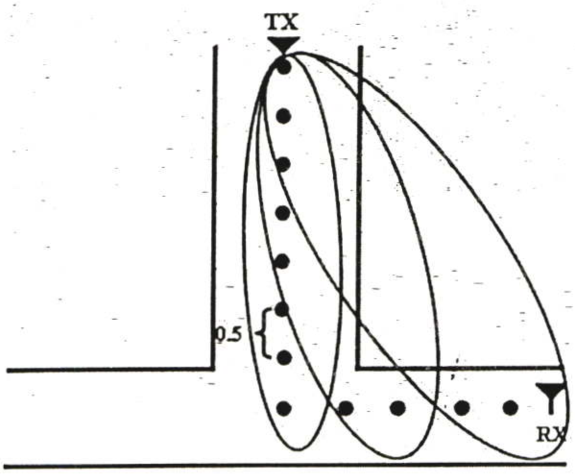


Fig. 2. The measurement model with corridor.

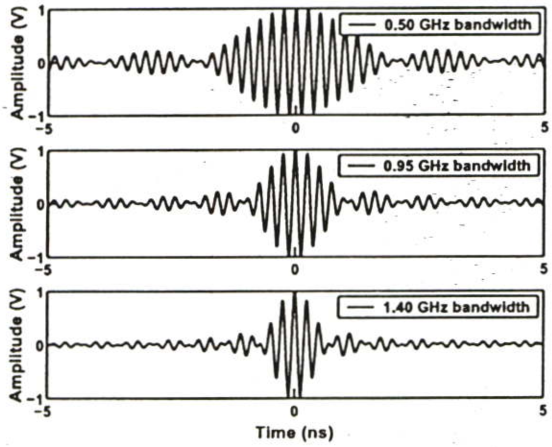


Fig. 3. UWB transmitted signal waveform.

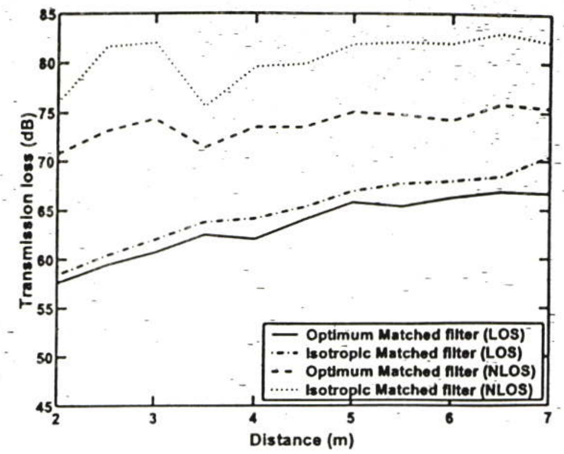


Fig. 4. Transmission losses of 0.5 GHz bandwidth along the distance from 2 to 7 m.

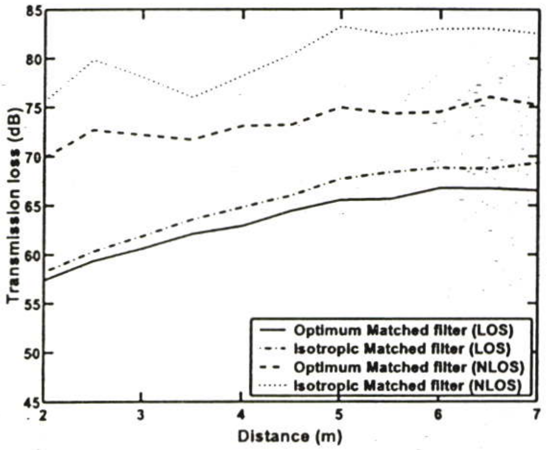


Fig. 5. Transmission losses of 0.95 GHz bandwidth along the distance from 2 to 7 m.

$v_t(t)$ and its spectral density function $V_t(f)$ were

$$v_t(t) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{B}}\left[\, f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)\,\right], \quad (12)$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2B}} & ||f| - f_c| \le \frac{B}{2} \\ 0 & ||f| - f_c| > \frac{B}{2} \end{cases}, \quad (13)$$

where $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x)/(\pi x)$, $f_L = f_c - B/2$ and $f_H = f_c + B/2$ are the lower and upper frequencies.

IV. Results and Discussion

The transmission losses of UWB signals with optimum and isotropic matched filters in corridor LOS and NLOS environments are evaluated. The three cases of signal bandwidths, that are 0.50, 0.95 and 1.40 GHz, are considered. Fig. 4 shows the transmission losses of 0.50 GHz signal bandwidth with optimum and isotropic matched filters in corridor LOS and NLOS environments along the distance from 2 to 7 m. The transmission loss of optimum matched filter is less than that of isotropic matched filter about 1.8 and 6.79 dB for the LOS and NLOS, respectively. The obstruction loss is about 12.47 dB.

The transmission losses of 0.95 GHz signal bandwidth with optimum and isotropic matched filters in corridor LOS and NLOS environments along the distance from 2 to 7 m are shown in Fig. 5. The transmission loss of optimum matched filter is less than that of isotropic matched filter about 1.65 and 6.70 dB for the LOS and NLOS, respectively. The obstruction loss is about 12.94 dB.

Fig. 6 shows the transmission losses of 1.40 GHz signal bandwidth with optimum and isotropic matched filters in corridor LOS and NLOS environments along the distance from 2 to 7 m. The transmission loss of optimum matched filter is less than that of isotropic matched filter about 1.71 and 6.70 dB for the LOS and NLOS, respectively. The obstruction loss is about 12.42 dB.

V. Conclusion

In this paper, UWB radio propagation channel with corridor for short range wireless systems. From the results, the

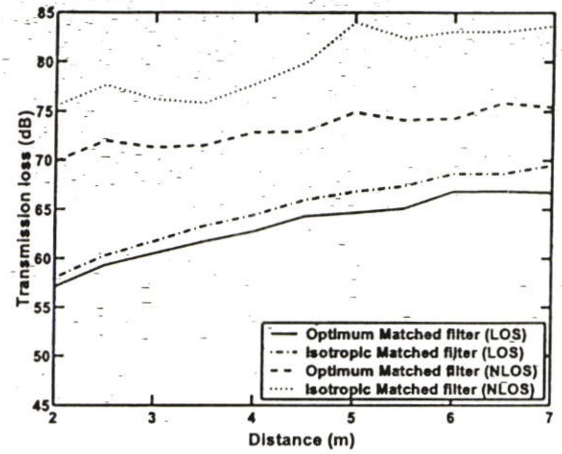


Fig. 6. Transmission losses of 1.4 GHz bandwidth along the distance from 2 to 7 m.

transmission loss of the optimum matched filter is better than that of the isotropic matched filter for all cases of the signal bandwidths. The obstruction loss of each signal bandwidth is almost the same. Based on this, the measurement results can be used for the standardization activities in IEEE 802.15.3a channel modeling.

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] M. Ghavami, L.B.Michael,R.Kohno, "*Ultra wideband signals and systems in communcation engineering*," John Wiley-Sons,Ltd, 2004.

[3] T. B. Welch, R. L. Musselman, B. A. Emessiene, P. D. Gift, D. K. Choudhury, D. N. Cassadine, and S. M. Yano, "The effects of the human body on UWB signal propagation in an indoor environment," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 20, no. 9, pp. 1778 – 1782, Dec. 2002.

[4] A. F. Molisch, B. Kannan, C. C. Chong, S. Emami, A. Fort, J. Karedal, J. Kunisch, H. Schantz, U. Schuster and K. Siwiak, IEEE 802.15.4a Channel Model Final Report, IEEE 802.15-04-0662-00-004a, San Antonio, TX, USA, Nov. 2004.

[5] Application Requirement Analysis. IEEE P802.15-03/0489r4.

[6] S. S. Ghassemzadeh, R. Jana, C. Rice, W. Turin and V. Tarokh, Measurement and modeling of an ultra-wide bandwidth indoor channel, IEEE Trans. Commun., vol. 52, no. 10, pp. 1786-1796, Oct. 2004.

[7] J. Foerster and Q. Li, UWB Channel Modelng Contribution from Intel, IEEE P802.15-02/445r1-SG3a, Jun. 2002.

[8] J. Keignart, J. B. Pierrot, N. Daniele, A. Alvarez, M. Lobeira, J. L. Garcia, G. Valera and R. P. Torres, Radio Channel Sounding Results and Model, Deliverable D31, IST-2001-32710-U.C.A.N., Nov. 2002.

[9] M. Pendergrass and W. C. Beeler, Empirically based statistical UWB channel model, IEEE P802.15-02/240SG3a, Jul. 2002.

[10] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, Extension of Friis Transmission Formula for Ultra-Wideband Systems, IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.

[11] United States of America, Path Loss Calculations for Ultra Wideband Signals in Indoor Environments, ITU-R Document 3K/30-E, pp. 1-14, Nov. 2003.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนิศากร ยิ่งขจร
วัน เดือน ปีเกิด	12 ตุลาคม 2522 ที่ จ.นครราชสีมา
ที่อยู่	437 ซ.เบญจรงค์ 1 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
ประวัติการศึกษา	2543 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (โทรคมนาคม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2544-2548	ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
พ.ศ. 2548-ปัจจุบัน	ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลงานวิจัย

พ.ศ. 2549	**Evaluation of LOS/NLOS Propagation channel for UWB radio Communications** CSCC2006, Chaiangmai Kard Suan Kaew Hotel, Chaingmai Thailand, July 2005
พ.ศ. 2550	**Ultra Wideband Radio Propagation Channel with Corridor for Short Range Wireless Systems** ECTI-CON 2007, Mae Fah Luang University, Chaing Rai Thailand, May 2007