สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้าง สำหรับการสื่อสารระยะสั้น

A STUDY OF ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION PERFORMANCE FOR SHORT RANGE COMMUNICATION

T117899

ธวัชชัย เสรีวัฒนพงษ์
THAWATCHAI SEREEWATTANAPONG

ภท
ธ395ก
2554

เลขหมู่.............
เลขทะเบียน 117899
วัน,เดือน,ปี 22 ส.ค. 2554

b. 12318946
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

KMITL 2011-EN-M-230-020

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF ULTRA WIDEBAND TRANSMISSION PERFORMANCE FOR SHORT RANGE COMMUNICATION

THAWATCHAI SEREEWATTANAPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL 2011-EN-M-230-020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น
นักศึกษา	นายธวัชชัย เสรีวัฒนพงษ์
รหัสนักศึกษา	52611316
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพแถบกว้างยิ่งสำหรับการสื่อสารระยะสั้น รูปคลื่นส่งได้ใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรากเรสโคซายน์ที่เป็นไปตามหน้ากากสเปคตรัมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาและแถบความถี่ร่วม การขยายสูตรการส่งผ่านของฟรีสในเทอมเชิงซ้อนสามารถนำมาประยุกต์สำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ได้ใช้สายอากาศชนิดกรวยคู่และสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกโดยพิจารณาเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์แบบไอโซทรอปิก ทำการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ในห้องไร้การสะท้อน หลังจากนั้นทำการประเมินและแสดงอัตราขยายการส่งผ่านและอัตราความผิดพลาดบิต แบบแผนการประเมินนี้สามารถนำมาใช้พิจารณาประสิทธิภาพแถบกว้างยิ่งที่มีสายอากาศและเครื่องรับชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Ultra Wideband Transmission Performance for Short Range Communication
Student	Mr. Thawatchai Sereewattanapong
Student ID.	52611316
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

In this thesis, ultra wideband (UWB) performance for short range communication is studied. The rectangular passband and root raised cosine passband waveforms satisfying Federal Communications Commission (FCC) and common band frequency spectral masks are used as transmitted waveforms. The extension of Friis' transmission formula in complex form is applied to use for UWB transmission. The biconical and log-periodic antennas are used. The received signal and isotropic correlation receivers are considered. The vector network analyzer (VNA) is used to measure the transfer function in the anechoic chamber room. The transmission gain and bit error rate (BER) are evaluated and shown. This evaluation scheme can be used to consider the UWB performance of other antennas and receivers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ สุพรรณกูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ อบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงงานวิจัยอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ทั้งสองท่าน จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์, รศ.ดร.ปิติเขต สู้รักษา, รศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย, ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์, ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ที่ให้คำแนะนำและคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆในห้องวิจัย UWBRS ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธวัชชัย เสรีวัฒนพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...II

กิตติกรรมประกาศ...III

สารบัญ..IV

สารบัญตาราง.. VII

สารบัญรูป.. VIII

บทที่ 1 บทนำ... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา... 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา... 2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 3

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย.. 3

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการนำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน 3

1.6 ขอบเขตการวิจัย.. 4

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.. 4

บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง 5

2.1 กล่าวนำ... 5

2.2 ประวัติความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง 6

2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 7

2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง... 8

2.4 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง 8

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา................................ 9

2.5 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง 11

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน 11

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย 12

2.6 บทสรุป 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง..13
3.1 กล่าวนำ..13
3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง...13
3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ 14
3.2.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ...15
3.3 การสูญเสียเชิงวิถี...16
3.4 การประเมินผลการเชื่อมโยงในอวกาศว่าง...18
3.4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR..18
3.4.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์..19
3.4.3 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แบบเหมาะที่สุด.......................21
3.4.4 อัตราขยายการส่งผ่าน..21
3.5 อัตราความผิดพลาดบิต..22
3.6 บทสรุป...23

บทที่ 4 แบบการจำลองและการวัดช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.......................................24
4.1 กล่าวนำ...24
4.2 แบบแผนการศึกษาทดลองวิจัย..24
4.2.1 รูปคลื่นสัญญาณส่งของแถบกว้างยิ่ง..24
4.2.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศและรูปแบบของการวัด...............................26
4.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย 27
4.2.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์...27
4.2.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย...28
4.2.4.1 สายอากาศแบบกรวยคู่ 29
4.2.4.2 สายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก...30
4.2.5 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองวิจัย...31
4.3 บทสรุป 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง.....33

5.1 กล่าวนำ.....33

5.2 ผลการทดลองวิจัย..... 33

5.2.1 กรณีผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบกรวยคู่.....33

5.2.2 กรณีผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก.....36

5.2.2.1 อัตราความผิดพลาดบิต..... 39

5.3 บทสรุป.....40

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ.....41

6.2 ผลการทดลองวิจัย.....41

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางกาวิจัยต่อไปในอนาคต.....42

บรรณานุกรม.....44

ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....47

ประวัติผู้เขียน.....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร 9
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดคุณลักษณะฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆ และแถบกว้างยิ่ง.......... 7

2.2 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร โดย FCC 10

2.3 การจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร โดย FCC 10

2.4 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน.. 11

2.5 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย.... 12

3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชั่นการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.......... 14

3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น.......... 14

3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่.......... 15

3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา.......... 16

3.5 การสื่อสารไร้สายในอวกาศว่าง.......... 16

3.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง.......... 18

3.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสหสัมพันธ์สำหรับสัญญาณ UWB-IR.......... 21

4.1 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของเรสโคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค FCC 25

4.2 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของเรสโคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คแถบความถี่ร่วม.......... 26

4.3 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด.......... 26

4.4 ชุดเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์.......... 28

4.5 โครงสร้างของสายอากาศกรวยคู่.......... 29

4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศกรวยคู่.......... 30

4.7 โครงสร้างของสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก (Watkins-Johnson AR7-15A)....... 30

4.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก 31

5.1 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่.......... 34

5.2 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่.......... 35

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ ใช้ได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.3 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่..... 35

5.4 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมแถบความถี่ร่วม รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่..... 36

5.5 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกและไดโพลแบบรายคาบล็อก.....37

5.6 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกและไดโพลแบบรายคาบล็อก.....38

5.7 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมแถบความถี่ร่วมแบบรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อกและรายคาบล็อก..... 38

5.8 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คแถบความถี่ร่วม รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกและไดโพลแบบรายคาบล็อก.....39

5.9 ผลการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตของการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งกรณีเครื่องแบบสหสัมพันธ์แบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์แบบไอโซทรอปิก..... 40

6.1 โครงข่ายมัลติมิเดียไร้สายระยะสั้นแถบกว้างยิ่ง.....42

6.2 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย..... 42

6.3 โครงข่ายไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการทหาร.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารหรือระหว่างเครือข่ายด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (WPAN) เครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายในที่พักอาศัย เนื่องจากปัจจุบันนี้ระบบการสื่อสารไร้สายแบบมัลติมีเดียได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระบบการสื่อสารแบบนี้มีความต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงและมีความต้องการการส่งข้อมูลในปริมาณที่มาก เทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งจึงได้กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญในการวิจัย เนื่องจากระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งสามารถตอบสนองและรองรับความต้องการของระบบได้ โดยการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารความถี่วิทยุ (Radio frequency) อื่นๆ อยู่ 2 ประการหลักๆ ประการแรกนั้นคือได้กำหนดให้การสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งมีช่วงสเปกตรัมความถี่เริ่มต้นที่ 3.1 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ และมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ซึ่งมากกว่าแบนด์วิธของเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุในปัจจุบันอย่างมาก และประการที่สองคือการส่งสัญญาณของการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งจะส่งเป็นอิมพัลส์ของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (PSD) ที่ช่วงเวลาแคบมากๆ โดยมีความถี่อยู่ในช่วงสเปกตรัมของความถี่ที่กว้างมาก แทนการใช้วิธีมอดูเลตสัญญาณส่งกับคลื่นพาห์เหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุ เนื่องจากมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง ที่น้อยกว่าระดับของสัญญาณรบกวน ดังนั้นสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งจึงสามารถใช้ความถี่ร่วมกับระบบวิทยุอื่นๆ ได้ เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดต่อระบบวิทยุอื่นๆ

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายภายในอาคารสำนักงานและเครือข่ายในที่พักอาศัย ซึ่งในการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารนั้น ยากสำหรับที่ทำการประมาณหรือการทำนาย เนื่องจากเกิดการสะท้อนและเกิดการจางหายของสัญญาณเป็นจำนวนมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้นบนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส และข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor environment) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector network analyzer : VNA) เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดในห้องไร้การสะท้อนและใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดด้วยกันคือ สายอากาศกรวยคู่ และสายอากาศรายคาบล็อกดังวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดและการประยุกต์ใช้งาน
2. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส (Friis' transmission formular) และการประยุกต์สูตรของฟรีสให้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง
3. เพื่อนำเสนอรูปคลื่นสัญญาณส่งสำหรับแถบกว้างยิ่งที่เหมาะสมแบบหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์ และหน้ากากสเปกตรัมที่เหมาะสมที่สุดแบบแถบความถี่ร่วม
4. เพื่อนำเสนอเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งโดยการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ (Received signal correlation) และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิก (Isotropic correlation) และจะได้ค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนสูงสุด
5. ได้พิจารณาใช้สายอากาศแบบแถบกว้างสองชนิดด้วยกันในการประเมินผลการวัดหรือการทดสอบการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งคือสายอากาศแบบกรวยคู่ และสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก
6. ออกแบบจำลองการวัดหรือการทดสอบในห้องไร้การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทั้งในการวัดและบันทึกผล
7. เพื่อทำการประเมินผลอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งตามแบบแผนหรือนิยามที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์นี้
8. เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพอัตราข้อมูลต่อบิต (BER) ของการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้นบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในอาคารนั้นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบให้คงที่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาประสิธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ซึ่งพิจารณาบนพื้นฐานของการวัด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยพิจารณาเปรียบเทียบที่ด้านรับโดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก ทำการวัดตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz ครอบคลุมช่วงความถี่ที่กำหนดให้ใช้งานในการสื่อสาร คือตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งถูกกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission : FCC) ซึ่งในขั้นตอนของการวัดนั้นได้ทำการวัดภายในอาคารเพื่อวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณ หลังจากทำการวัด ผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสัญญาณการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งว่ามีผลทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงผิดเพี้ยนไปหรือไม่อย่างไร แล้วทำการประเมินผลที่ได้จากการวิจัยและการวิเคราะห์

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะจำเพาะของการส่งผ่านแบบกว้าง ประเมินประสิทธิภาพอัตราขยายในการส่งผ่านและประสิทธิภาพของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งจากการวัดจริง โดยทำการวิเคราะห์บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งได้มีการประยุกต์การส่งผ่านของฟรีส (Extention Friis' transmission formula) เพื่อนำมาวิเคราะห์ในระบบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้นบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งในขั้นตอนของการวัดภายในอาคารนั้นได้ทำการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมรอบข้าง ความสูงของสายอากาศ ระยะทางระหว่างสายอากาศทั้งสององค์ประกอบให้คงที่เพื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณ ผลจากการวิจัยสามารถนำมาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยบทนำ ประวัติความเป็นมาของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง การสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งและบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและการวิเคราะห์การสูญเสียในการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยบทนำ, ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง, ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี, การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง, โดยใช้หลักการพื้นฐานของฟรีส การสูญเสียกำลังงาน, อัตราการขยายแถบกว้างยิ่ง, อัตราความผิดพลาดบิต และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดช่องสัญญาณและการทำแบบจำลองช่องสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยบทนำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย รูปแบบจำลองการวัดและบทสรุป

บทที่ 5 นำเสนอผลการทดลองวิจัยและทำการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์และเครื่องแบบไอโซทรอปิกโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อกในการประเมินผลการวัดและในการวิเคราะห์บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีสสำหรับการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 6 บทสรุป ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband; UWB) มีแนวโน้มว่าจะมีการนำมาประยุกต์ใช้ในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network; WPAN) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในหลายๆด้าน ดังเช่น ใช้ในระยะทางใกล้ๆ สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงโดยเชื่อมต่อด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 Mb/s ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร ต้องการกำลังงานในการส่งต่ำซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆที่มีอยู่ สัญญาณของระบบแบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้น จะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห์ อีกประการหนึ่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะใช้แบนวิดท์ในการส่งมากกว่า 25 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล อยู่ในมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a โดยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นคาดว่าจะถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ภายในอาคารเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์, ส่วนบุคคล (PC), เครื่องพิมพ์ (Printer), เครื่องสแกนเนอร์ (Scanner), กล้องดิจิตอล, พล็อกเก็ตบุค (Pocket PC), วีดีโอโปรเจคเตอร์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายต่างๆ

โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบที่มีกับคุณสมบัติในการส่งสัญญาณของสายอากาศแบบ ย่านความถี่กว้างยิ่ง ภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยในการทดลองนี้ได้ใช้สายอากาศกรวยคู่ (Biconical) และสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก เป็นสายอากาศในการรับ-ส่งสัญญาณในการหาค่าการแพร่กระจายของสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีการใช้แถบความถี่แบบแถบกว้างยิ่งประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานจริงของระบบนี้จะมีลักษณะการนำไปใช้ภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถที่จะส่งผลต่อช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งได้เช่นกัน นั่นก็คือ แลปท๊อปคอมพิวเตอร์ เพราะมีความเป็นไปได้ที่จะไปรบกวนหรือบดบังเส้นทางการเดินทางของคลื่น ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจสอบว่าแลปท๊อปคอมพิวเตอร์นั้นส่งผลอย่างไรต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง [1]

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งแบนนั้น มีการคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ. 1962 โดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ h(t) ในส่วนของสัญญาณเอาท์พุตจะถูกแทนด้วย y(t) และกำหนดให้สัญญาณ อินพุทที่ป้อนเข้าเป็น x(t) ซึ่งเท่าให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเราได้ใช้เครื่อง ออสซิโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัด

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

ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่าง เช่น ในปี ค.ศ.1989 สเปอร์รี่ ได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์การป้องกันการ

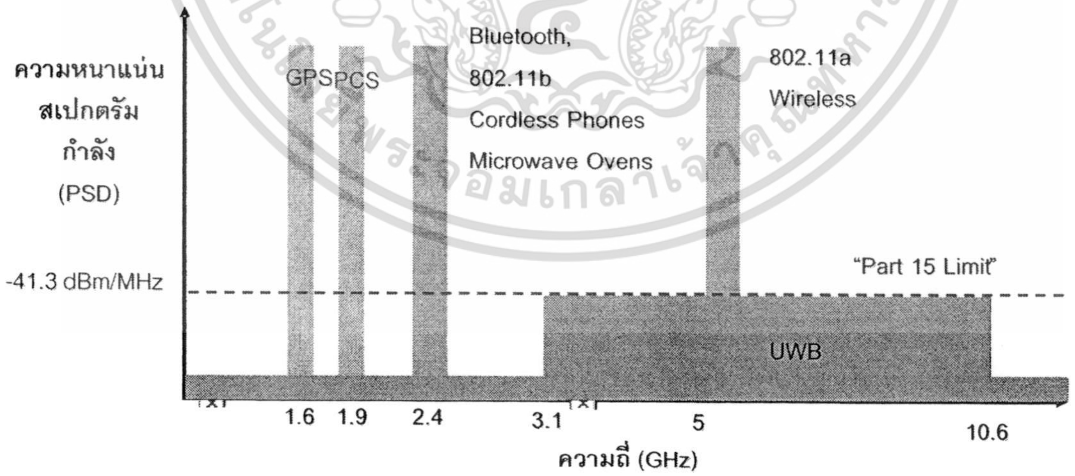
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนกันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และ ตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

2.3 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง [2]

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio frequency, RF) แหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาด ประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับ GHz และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 Mb/s ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าต่ำจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารในหลายๆประการเช่น

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่มีวงจรรวมผลิตความถี่ (Mixcr) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm ซึ่งเป็นข้อกำหนดของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆ

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

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

2.4 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra wideband working group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของความถี่วิทยุซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International telecommunication union; ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผมต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่าง ๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ ไม่ให้ต่ำกว่า 0.25 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense advanced research project agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25% โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 [8]

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

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานระบบแถบกว้างยิ่ง

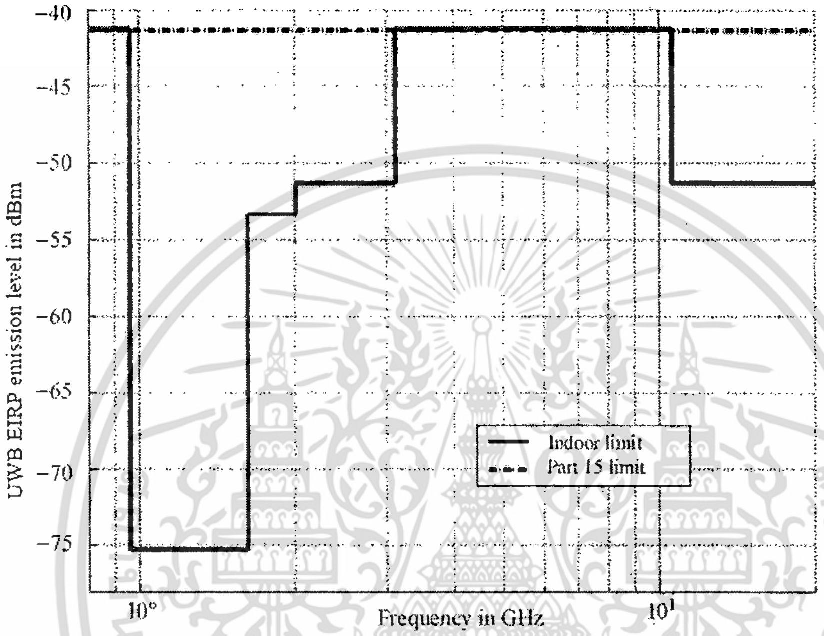
ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ [MHz]	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3

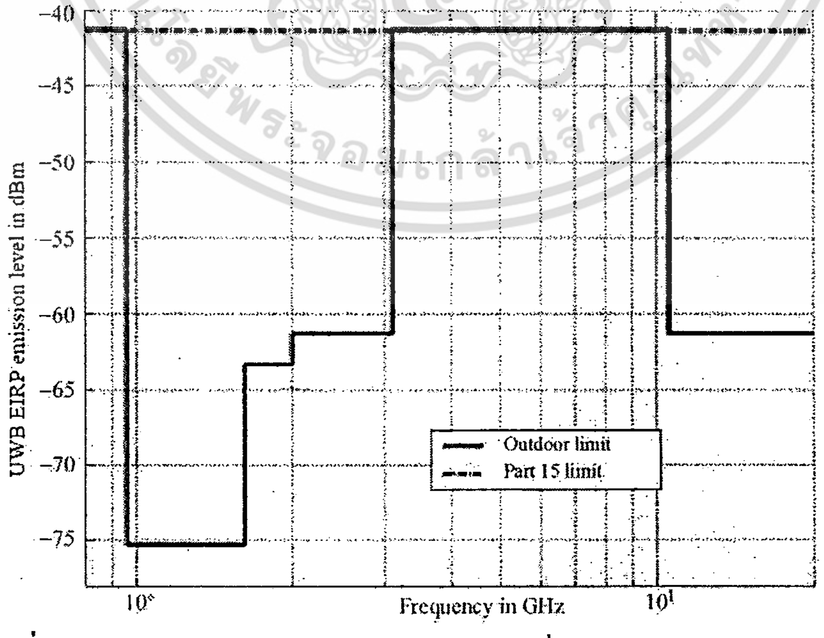
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 การเปรียบเทียบข้อจำกัดสเปกตรัมตามของอุปกรณ์การสื่อสารแถบกว้างโดย FCC



รูปที่ 2.2 ข้อจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร โดย FCC



รูปที่ 2.3 การจำกัดสเปกตรัมของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร โดย FCC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

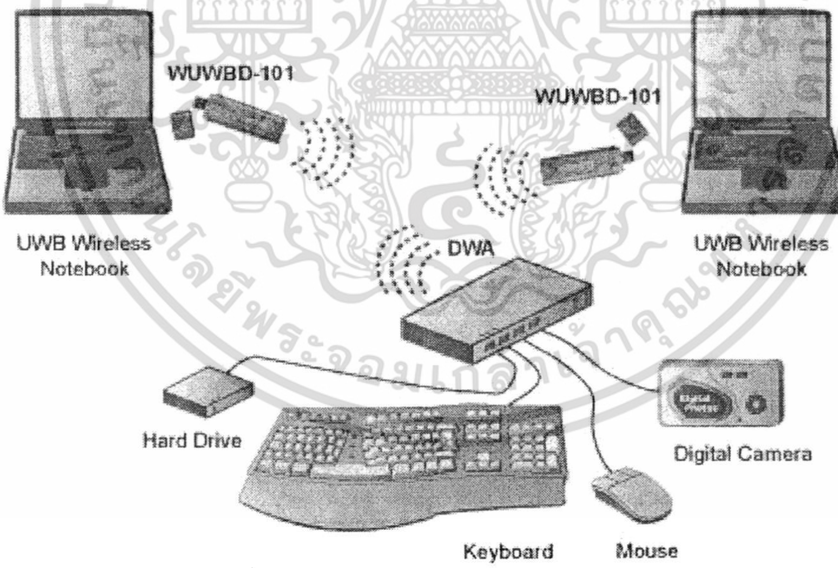
2.5 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารระยะสั้นระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ภายในอาคารสำนักงานและภายในที่พักอาศัย เนื่องด้วยเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและสามารถรองรับระบบมัลติมีเดียได้ ซึ่งระบบแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทหลักได้แก่

- การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน
- การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย

2.5.1 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน

รูปที่ 2.4 เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในกรเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการสื่อสารแบบไร้สายระยะสั้นมีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลสูง เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียที่ใช้ในอาคารสำนักงาน

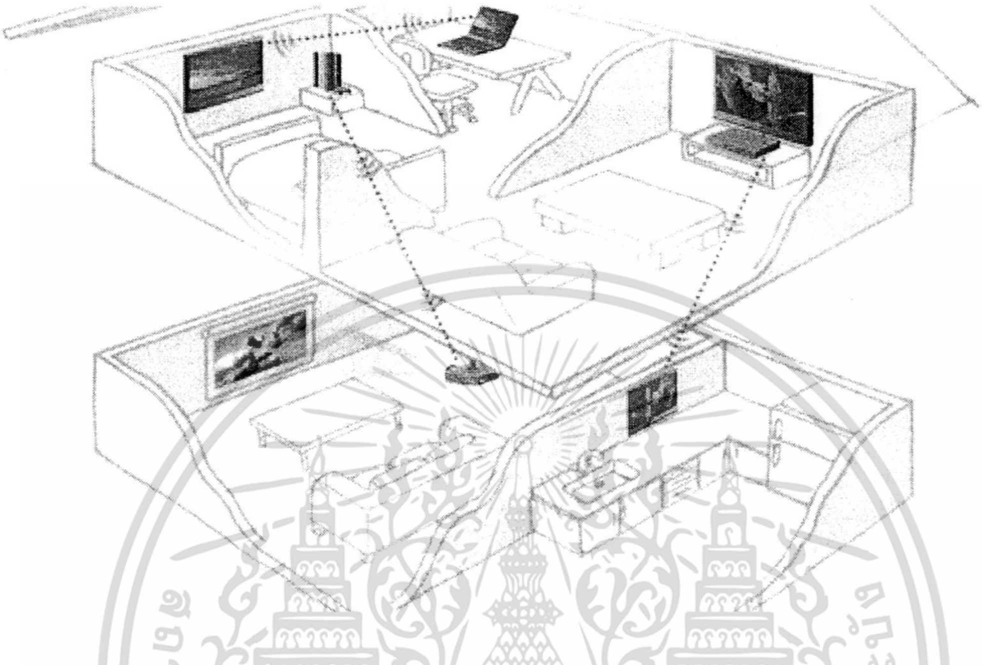


รูปที่ 2.4 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในที่พักอาศัย

รูปที่ 2.5 เป็นการนำเทคโนโลยีแบบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานในกรเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในที่พักอาศัย เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องเล่นดีวีดี ฯลฯ



รูปที่ 2.5 การนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้งานเครือข่ายภายในบ้านพักอาศัย [3]

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และจุดเด่นที่น่าสนใจของเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่ง ภายใต้ข้อกำหนดอุปกรณ์การสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งในเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายในบ้านพักอาศัย เป็นต้น ซึ่งข้อมูลในเบื้องต้นของเทคโนโลยีจะเป็นแนวทางการศึกษาวิจัยให้ระบบมีประสิทธิภาพมากและสามารถใช้งานได้หลากหลายหรือการประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่ง

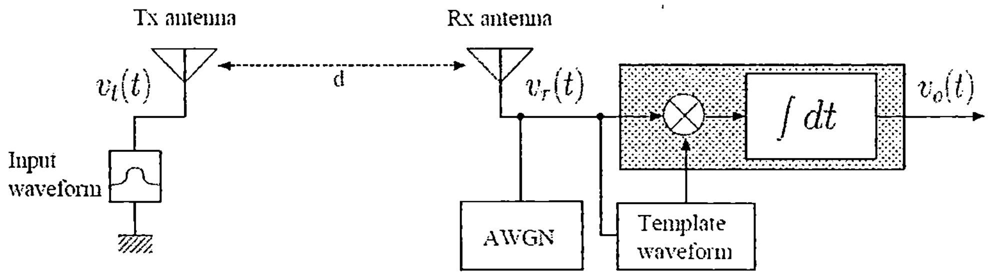
3.1 กล่าวนำ

ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกันที่มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพการส่งผ่านของช่องสัญญาณ การสูญเสียในอวกาศว่าง และความผิดเพี้ยนจากสายอากาศ เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ โดยในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารและภายนอกอาคารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องด้วยผลกระทบที่เกี่ยวกับทิศทาง ขอบเขตของเส้นทางและปัจจัยอื่น ๆ ล้วนแล้วแต่เป็นการประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำได้โดยการนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนพื้นฐานและหลักการทฤษฎีการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

3.2 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง [4]

ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างจากการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไปเนื่องจากเป็นการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหนะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่ง เนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุทเวฟฟอร์มส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นสัญญาณที่ได้ผ่านขบวนส่งผ่านกระบวนโดยพิจารณาทางด้านรับเป็นรูปคลื่นต้นแบบ (Template waveform) เพื่อให้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจจับสัญญาณและนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติต่อไป

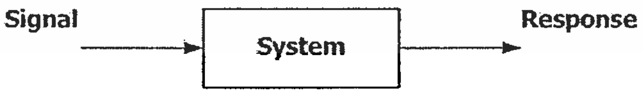
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

3.2.1 ผลตอบสนองความถี่ช่องสัญญาณ

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



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น

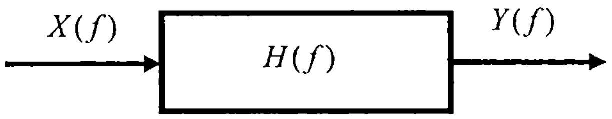
$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \tag{3.1}$$

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

3.2.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ

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

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยมแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

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

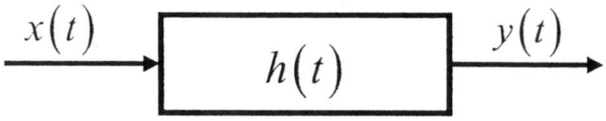
โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (3.2) เมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

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

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ 3.3 จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้นดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบโดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทนผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนตามเวลาค่าเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใด ๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 3.4

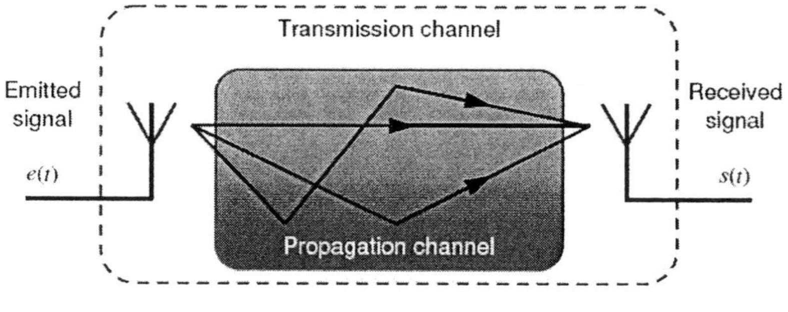


รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

3.3 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน [6] โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

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



รูปที่ 3.5 การสื่อสารไร้สายในอวกาศว่าง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$\frac{P_{\mathrm{R}}}{P_{\mathrm{T}}} = G_{\mathrm{T}} G_{\mathrm{R}} \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \tag{3.4}$$

โดยที่

P_{R} คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้

P_{T} คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา

G_{R} คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ

G_{T} คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

λ คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$

c คือ ความเร็วแสง (3×10^{8} m/s)

f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)

d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (m)

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่าง โดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

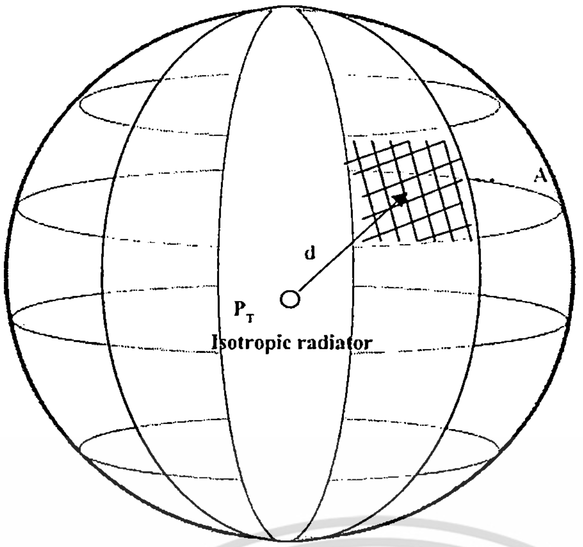
$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10\log(P_T) - 10\log(P_R) \\ &= 32.44 + 20\log(f) + 20\log(d) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R) \end{aligned} \tag{3.5}$$

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

$$p(d) = \frac{P_{\mathrm{T}}}{4\pi d^2} \ \mathrm{W/m^2} \tag{3.6}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117899



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง [3]

3.4 การประเมินผลการเชื่อมโยงในอวกาศว่าง

3.4.1 แบบจำลองการส่งผ่านสำหรับระบบ UWB-IR

สำหรับระบบ UWB-IR การเชื่อมโยงในอวกาศว่างเป็นสูตรที่อยู่ในพจน์ของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ที่ได้พิจารณาถึง รูปคลื่นที่ใช้ส่ง ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นอันเนื่องมาจากสายอากาศ ช่องสัญญาณและเครื่องรับสหสัมพันธ์ ฟังก์ชันการถ่ายโอนในอวกาศว่าง $H_f(f,d)$ เขียนได้เป็น

$$H_f(f,d) = \frac{c}{4\pi fd} e^{-j2\pi fd/c}. \tag{3.7}$$

ฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณในอวกาศว่าง $H_c(f,d)$ ได้รวมคุณสมบัติของสายอากาศที่ได้จากการประยุกต์สูตรการส่งผ่านของฟรีส ซึ่งนิยามได้โดย

$$H_c(f) = H_f(f,d)\mathrm{H}_t(f,\Omega_t)\cdot \mathrm{H}_r,(f,\Omega_r) \tag{3.8}$$

เมื่อ $\mathrm{H}_a,(f,\Omega_a)$ $(a = \mathrm{r}\ or.\mathrm{t})$ คือ ฟังก์ชันของเวกเตอร์ที่ใช้ส่งผ่านแบบเชิงซ้อนของสายอากาศและสัมพันธ์กับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) ที่มีทิศทาง $\Omega_a = (\theta_a, \varphi_a)$ โดยที่

$$\mathrm{H}_a(f,\Omega_a) = \mathrm{H}_a(f,\theta_a,\varphi_a) = \hat{\theta}_a \mathrm{H}_{a\theta}(f,\theta_a,\varphi_a) + \hat{\varphi}_a \mathrm{H}_{a\varphi}(f,\theta_a,\varphi_a), \tag{3.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ

$$\frac{1}{4\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\left\|\mathrm{H}_{\mathrm{a}}(f,\theta_{\mathrm{a}},\varphi_{\mathrm{a}})\right\|^2\sin\theta\,\mathrm{d}\theta\mathrm{d}\varphi=\eta_{\mathrm{a}} \quad (3.10)$$

เมื่อ η_{a} คือ ประสิทธิภาพของสายอากาศที่เป็นค่านอร์แมลไลซ์สำหรับสายอากาศไอโซทรอปิก
$\hat{\theta}_{\mathrm{a}},\hat{\varphi}_{\mathrm{a}}$ คือ เวคเตอร์หนึ่งหน่วยที่แสดงค่าโพลาไรซ์และเป็นตัวจำกัดความระบบโคออดิเนตของสายอากาศแต่ละตัว

จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมา สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\hat{\theta}_{\mathrm{r}}=\hat{\theta}_{\mathrm{t}}, \qquad \hat{\varphi}_{\mathrm{r}}=-\hat{\varphi}_{\mathrm{t}} \quad (3.11)$$

สำหรับสายอากาศทางด้านส่ง (Tx) และด้านรับ (Rx) ที่เหมือนกันกับสมการที่ 5 และ 6 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงซ้อนของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ จะนิยามโดย

$$H_{\mathrm{t}}(f)=H_{\mathrm{r}}(f)=\sqrt{\frac{H_{\mathrm{c}}(f)}{H_{\mathrm{f}}(f,d)}}. \quad (3.12)$$

ดังนั้นรูปคลื่นที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ $v_{\mathrm{r}}(t)$ หาได้จาก

$$v_{\mathrm{r}}(t)=\int_{-\infty}^{\infty}H_{\mathrm{c}}(f)V_{\mathrm{t}}(f)e^{j2\pi ft}\mathrm{d}f, \quad (3.13)$$

เมื่อ $V_{\mathrm{t}}(f)$ คือ สเปกตรัมของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง

3.4.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

จากเอาต์พุตของเครื่องรับสหสัมพันธ์ $v_{\mathrm{o}}(t)$ แสดงได้ดังนี้

$$v_{\mathrm{o}}(\tau)=\int_{-\infty}^{\infty}v_{\mathrm{r}}(t)h_{\mathrm{w}}(t-\tau)\mathrm{d}t, \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $h_{\mathrm{w}}(t)$ คือ รูปคลื่นต้นแบบ และ τ คือ เวลาที่สอดคล้องกับรูปคลื่นต้นแบบ ซึ่งเวลาที่เหมาะที่สุดสามารถหาได้ดังนี้

$$\tau_{\mathrm{o}} = \arg\max_{\tau} v_{\mathrm{o}}(\tau). \tag{3.15}$$

จากนั้น $h_{\mathrm{w}}(t)$ ได้ถูกนอร์แมลไลซ์ ให้มีค่าเป็น

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_{\mathrm{w}}|^2 \, \mathrm{d}t = 2B, \tag{3.16}$$

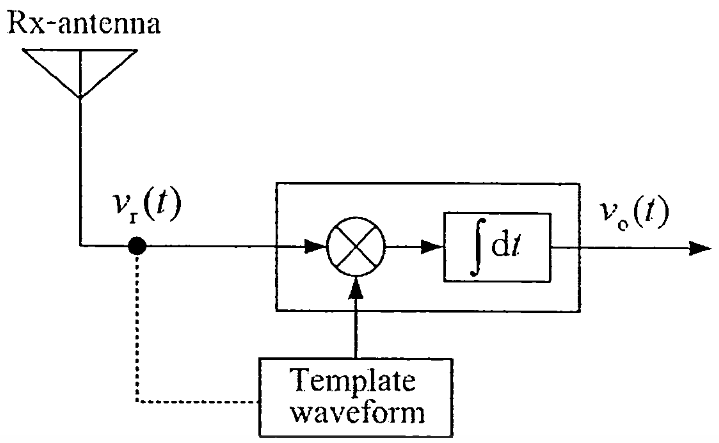
โดยที่ B คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ ดังนั้นเอาต์พุตกำลังสัญญาณรบกวนจะมีค่าคงที่เท่ากับ $N_0 B$ ซึ่ง $\frac{N_0}{2}$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนเกาส์แบบสีขาวบวก (Additive white gaussian noise: AWGN)

ภายใต้ข้อจำกัดของสมการที่ 3.16 $h_{\mathrm{wm}}(t)$ ช่วยเพิ่มให้ $v_{\mathrm{o}}(\tau_{\mathrm{o}})$ มีค่าสูงสุด เมื่อ $h_{\mathrm{wm}}(t)$ คือส่วนกลับของเวลาและรูปแบบขนาดของ $v_{\mathrm{r}}(t)$ กล่าวคือ

$$h_{\mathrm{wm}}(t) = \frac{\sqrt{2B}\, v_{\mathrm{r}}(\tau_{\mathrm{o}} - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{\mathrm{r}}(t)|^2 \, \mathrm{d}t}}, \tag{3.17}$$

ซึ่งกำหนดให้ τ_{o} ของ $h_{\mathrm{wm}}(t) = 0$ $(t < 0)$ เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข Causality โดยจะนิยาม $h_{\mathrm{wm}}(t)$ เป็นรูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่รับได้ สังเกตได้ว่าการประเมินผลการเชื่อมโยงเหมือนกับใน [10] เมื่อ $h_{\mathrm{wm}}(t)$ ถูกใช้เป็นต้นแบบเครื่องรับได้ รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในระบบ UWB-IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับสหสัมพันธ์สำหรับสัญญาณ UWB-IR

3.4.3 ความเป็นไปได้ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์แบบเหมาะที่สุด

จะเห็นได้ชัดจากสมการที่ (12) ว่ารูปคลื่นต้นแบบสัญญาณที่ได้รับไม่ใช่ส่วนกลับเวลาของรูปคลื่นที่ใช้ส่ง แต่ได้รวมคุณลักษณะความถี่ของสายอากาศและการแพร่กระจายในอวกาศว่างเข้าไปด้วย ดังนั้นจึงไม่มีความยืดหยุ่นในการปรับรูปคลื่นต้นแบบให้เป็นไปตามคุณลักษณะของสายอากาศในแต่ละมุม เนื่องจากรูปคลื่นได้ถูกสร้างตามสัญญาณ Clock rate อย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณารูปคลื่นต้นแบบที่สร้างขึ้นตามความเป็นจริง (Canonical) $h_{wc}(t)$ ในบทความนี้ได้เลือก $h_{wc}(t)$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับสายอากาศไอโซทรอปิก และมีค่าอัตราการขยายคงที่ ดังนี้

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_{r\text{-iso}}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|v_{r\text{-iso}}(t)|^2 dt}}. \qquad (3.18)$$

เมื่อสัญญาณต้นแบบสำหรับกรณีสายอากาศไอโซรทรอปิก $v_{r\text{-iso}}(t)$ ทั้งทางด้านรับและด้านส่งคำนวณได้จาก

$$v_{r\text{-iso}}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f,d)V_t(f)e^{j2\pi ft}df. \qquad (3.19)$$

3.4.4 อัตราขยายการส่งผ่าน

ในบทความนี้อัตราการขยายการส่งผ่านนิยามเป็นแอมปลิจูดสูงสุดของเอาต์พุตเครื่องรับสหสัมพันธ์ที่พิจารณาสายอากาศที่ใช้งานจริงนอร์แมลไลซ์ด้วยคู่สายอากาศไอโซทรอปิกทั้งคู่ จากการนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นต้นแบบในสมการที่ 3.20 และ 3.21 ค่าของอัตราการขยายที่ได้นี้แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการขยายของอัตราส่วน SNR ดังนั้นอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้ G_{wm} แสดงได้เป็น

$$G_{\mathrm{wm}}(t) = \frac{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r}}(t) h_{\mathrm{wm}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|}{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r\text{-}iso}}(t) h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|}. \tag{3.20}$$

ในทำนองเดียวกันอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณไอโซทรอปิก G_{wc} สามารถเขียนเป็น

$$G_{\mathrm{wc}}(t) = \frac{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r}}(t) h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|}{\max\left|\int_{-\infty}^{\infty} v_{\mathrm{r\text{-}iso}}(t) h_{\mathrm{wc}}(t-\tau)\mathrm{d}t\right|}. \tag{3.21}$$

ความแตกต่างระหว่างอัตราการขยายการส่งผ่านของกรณีต้นแบบสัญญาณที่รับได้และกรณีต้นแบบไอโซทรอปิกจะเป็นการระบุปริมาณความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการขยายการส่งผ่านที่เหมาะที่สุดของสัญญาณ UWB - IR ไม่สามารถเป็นเพียงการคูณกันระหว่างอัตราการขยายของสายอากาศ ดังนั้นจึงแตกต่างจากสูตรการส่งผ่านสัญญาณของฟรีสแบบดั้งเดิม

3.5 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง [10] อัตราส่วนของ ดังแสดงในสมการที่ 3.23

$$C_{\mathrm{c}} = \frac{\int_0^{\infty} |V_{\mathrm{c}}(f,d)|^2 df}{\int_0^{\infty} |V_{\mathrm{r}}(f,d)|^2 df \cdot \int_0^{\infty} |H_{\mathrm{c}}(f,d)|^2 df} \tag{3.22}$$

$$BER_{\mathrm{m}} = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_{\mathrm{b}} C_{\mathrm{c}}}{B_{\mathrm{r}}}}\right] \tag{3.23}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} \, dt, x \geq 0 \tag{3.24}$$

โดยที่

E_b / N_0 = พลังงานในหนึ่งบิตต่อสัญญาณรบกวน

C_c = ฟังก์ชันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

B_r = อัตราในการส่งข้อมูลระดับบิตต่อวินาที

f_b =ความกว้างของแถบความถี่

3.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การส่งผ่านช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง บนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส และนอกจากนี้ยังได้พิจารณานำเสนอเครื่องรับเป็นแบบสหสัมพันธ์สัญญาณรูปคลื่นเพื่อให้เหมาะสมที่สุดและได้ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงมากที่สุด จากแบบแผนการวิเคราะห์แถบกว้างยิ่งได้นำไปใช้จริงกับข้อมูลที่ได้จากการวัดตามแบบจำลองการในบทที่ 4 และแสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ในบทที่ 5 พร้อมทั้งเปรียบเทียบและประเมินผลอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างที่ได้จากวัดจริงด้วยเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การจำลองและการวัดของสัญญาณช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

4.1 กล่าวนำ

ระบบการสื่อสารไร้สายเครือข่ายภายในอาคารสำนักงานและภายในที่พักอาศัย เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากเนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี คือ มีอัตตราการส่งข้อมูลสูง มีช่องความจุสัญญาณสูง ใช้กำงานในการส่งข้อมูลต่ำ และต้นทุนการผลิตต่ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูล และการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพื่อแก้ปัญหาในการสูญเสียในการส่งผ่านสัญญาณ

วิทยานิพนธ์ได้นำเสนอแบบแผนการทดลองวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำการวัดและบันทึกผล จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดไปทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่สำคัญบนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ สำหรับในบทนี้ได้แสดงรูปแบบการทดลองวิจัยในรูปแบบต่างๆ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ และพารามิเตอร์สำคัญต่างๆที่กำหนดสำหรับการทดลองวิจัย ซึ่งได้อธิบายไว้ดังต่อไปนี้

4.2 แบบแผนการศึกษาทดลองวิจัย

4.2.1 รูปคลื่นสัญญาณส่งของแถบกว้างยิ่ง

ผลกระทบจากความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นจะมีค่ามากขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์กว้างขึ้น ผู้วิจัยได้พิจารณานำรูปคลื่นที่ใช้ส่งซึ่งครอบคลุมเต็มแถบความถี่ของคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission: FCC) [12] ซึ่งได้กำหนดให้สัญญาณ UWB มีสเปกตรัมในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz หลังจากนั้นมีการกำหนดให้สเปกตรัมความถี่ UWB-IR เป็นแถบความถี่ร่วมระหว่าง FCC กับการประชุมคณะผู้จัดการไปรษณีย์และโทรคมนาคม/กรรมการการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ของยุโรป (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/Electronic Communications Committee: CEPT/ECC) และกระทรวงราชการและการสื่อสารภายในประเทศ (Ministry of Internal Affairs and Communications: MIC) ของญี่ปุ่น อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 7.25 ถึง 8.5 GHz [13]

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้รูปคลื่นสัญญาณส่งของแถบกว้างยิ่ง เป็นรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของรากเรสโคซายน์ ฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัม $V_{t,ro}$ แสดงได้ดังนี้

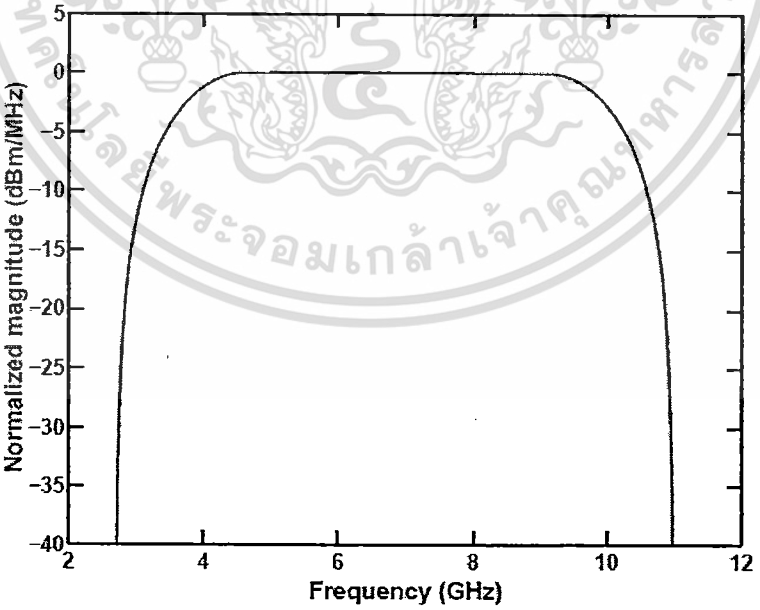
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{\mathrm{t.ro}}(f)=\begin{cases}1 & \left\|f\right|-f_{\mathrm{c}}\right|\le\dfrac{1-\beta}{2T}\\ A & \dfrac{(1-\beta)}{2T}<\left\|f\right|-f\right|_{\mathrm{c}}\le\dfrac{(1+\beta)}{2T},\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{17}$$

เมื่อ

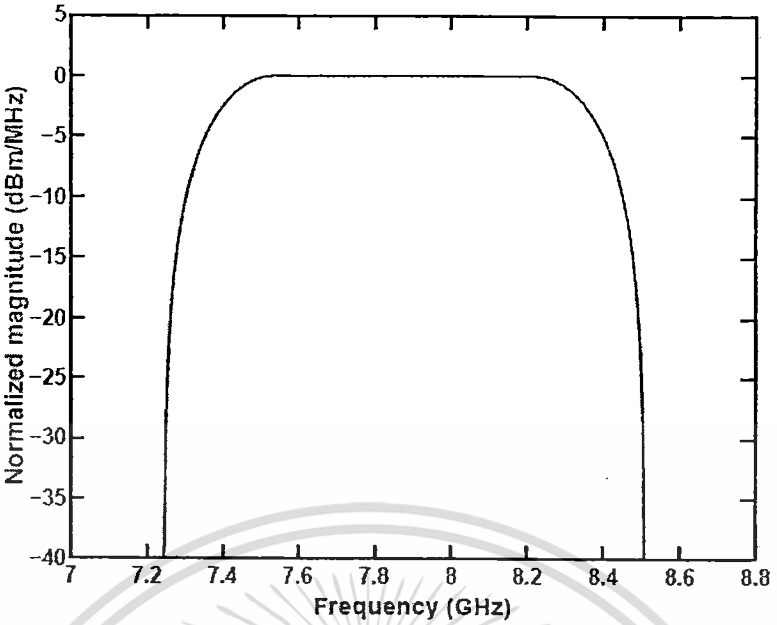
$$A=\sqrt{\frac{1}{2}\left[1+\cos\left(\frac{\pi T}{\beta}\left[\left\|f\right|-f_{\mathrm{c}}\right|-\frac{1-\beta}{2T}\right]\right)\right]}, \tag{18}$$

$T=1/f_{\mathrm{b}}$ เป็นส่วนกลับของอัตราสัญลักษณ์ f_{b} เป็นสเปกตรัมแบนด์วิดท์ f_{c} เป็นความถี่กลาง $\beta=0.3$ เป็นตัวประกอบโรลล์ออฟ ซึ่งได้พิจารณาเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่หนึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดสเปกตรัมมาส์ค (Spectrum mask) ของ FCC กำหนดให้ f_{c} มีค่าเท่ากับ 6.85 GHz f_{b} มีค่าเท่ากับ 6.37 GHz ดังแสดงในรูปที่ 2 และกรณีที่สองเป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คของแถบความถี่ร่วมกำหนดให้ f_{c} มีค่าเท่ากับ 7.877 GHz f_{b} มีค่าเท่ากับ 0.975 GHz ดังแสดงในรูปที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของรากไรซ์โคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์ค FCC

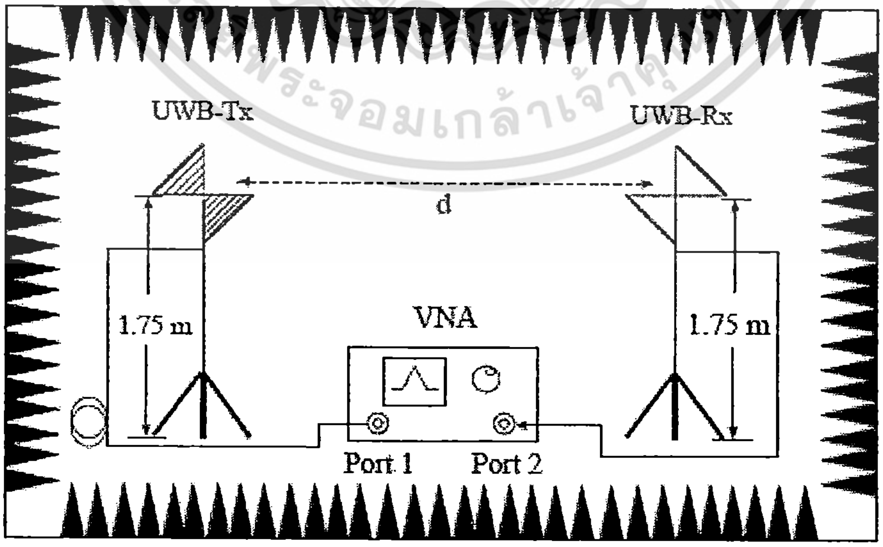
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความหนาแน่นสเปกตรัมที่ถูกนอร์แมลไลซ์ของรูปคลื่นแถบผ่านรากที่สองของไรซ์โคซายน์ที่เป็นไปตามสเปกตรัมมาส์คแถบความถี่ร่วม

4.2.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของสายอากาศและรูปแบบของการวัด

การติดตั้งอุปกรณ์ การทดลองและการวัดฟังก์ชันการถ่ายโอนช่องสัญญาณได้กระทำขึ้นในห้องไร้การสะท้อน (Anechoic chamber) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เครื่อง VNA การทำงานอยู่ในโหมดที่ตอบสนองความถี่โดยที่พอร์ตที่หนึ่งต่ออยู่กับสายอากาศทางด้านส่งและพอร์ตที่สองต่ออยู่กับสายอากาศทางด้านรับ สายอากาศทั้งสองได้ถูกติดตั้งอยู่กับที่มีความสูงเท่ากับ 1.75 เมตรและวางห่างกันเป็นระยะทาง 3 เมตร



รูปที่ 4.3 การติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดลองวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้ใช้สายอากาศทางด้านส่งเป็นสายอากาศกรวยคู่เนื่องจากเป็นสายอากาศที่สร้างได้ง่ายและมีคุณสมบัติความผิดเพี้ยนต่ำ ส่วนบนของกรวยจะเชื่อมต่อกับส่วนกลางของตัวนำของสายโคแอกเชียลและส่วนล่างของกรวยจะเชื่อมต่ออยู่กับฉนวนตัวนำ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 65.3 มิลลิเมตร และสูงเท่ากับ 37 มิลลิเมตร ทั้งนี้เราจะทำการเปลี่ยนเฉพาะสายอากาศทางด้านรับเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติอัตราการขยายการส่งผ่านที่ได้จากการทดลอง รูปที่ 5 และ 6 แสดงรูปร่างและคุณลักษณะการตอบสนองความถี่ของสายอากาศกรวคู่ รูปที่ 7 และ 8 แสดงโครงสร้างและสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) (S_{11}) ของสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก (Log-periodic dipole antenna: LPDA) ตามลำดับ

4.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

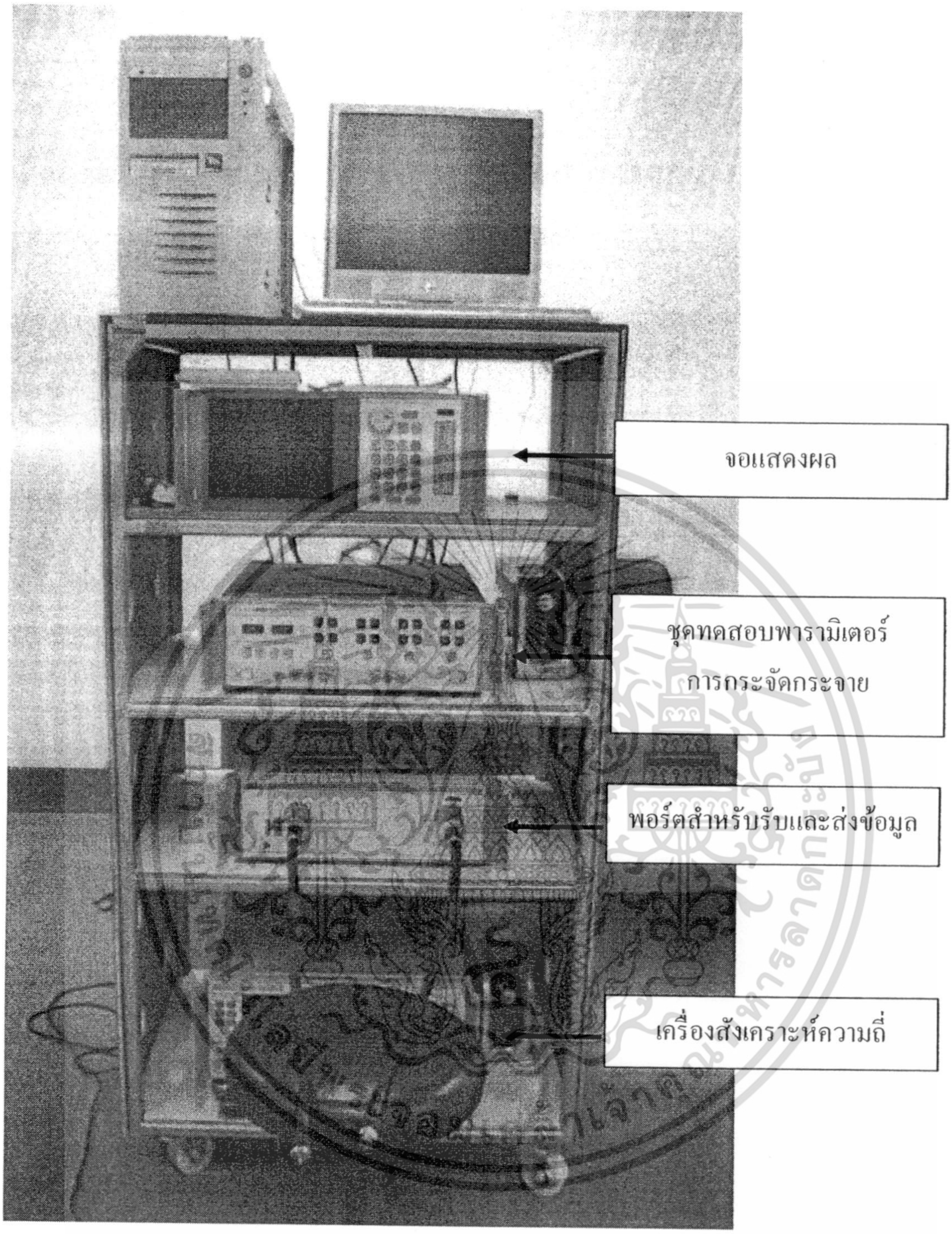
4.2.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

องค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งประกอบด้วย

- เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ รุ่น HP-8510C
- ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (S-parameter test set) รุ่น HP-8514B
- เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-8360A

ซึ่งแสดงดังรูป 4.4 โดยจะมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทางพอร์ทแบบ GPIB (General purpose interface bus) ซึ่งอุปกรณ์ชุดที่จะมีคุณสมบัติที่สามารถทดสอบสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่ง คือ พอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ และพอร์ตที่สอง คือ พอร์ตที่ใช้ในการรับสัญญาณ โดยหลังจากการทดสอบนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.4 ชุดเครื่องวัดวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

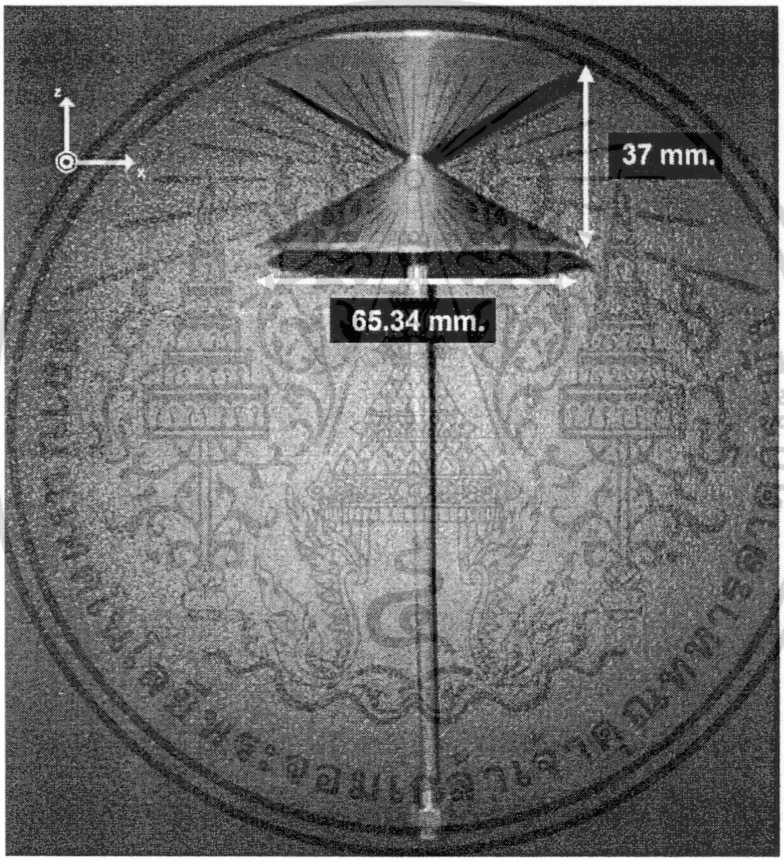
4.2.4 สายอากาศที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายจำเป็นมีอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งคือ สายอากาศ ซึ่งจะอยู่ทางด้านส่งและทางด้านรับ โดยทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่กระจายคลื่นผ่านอากาศไปยังสายอากาศด้านรับแล้วเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

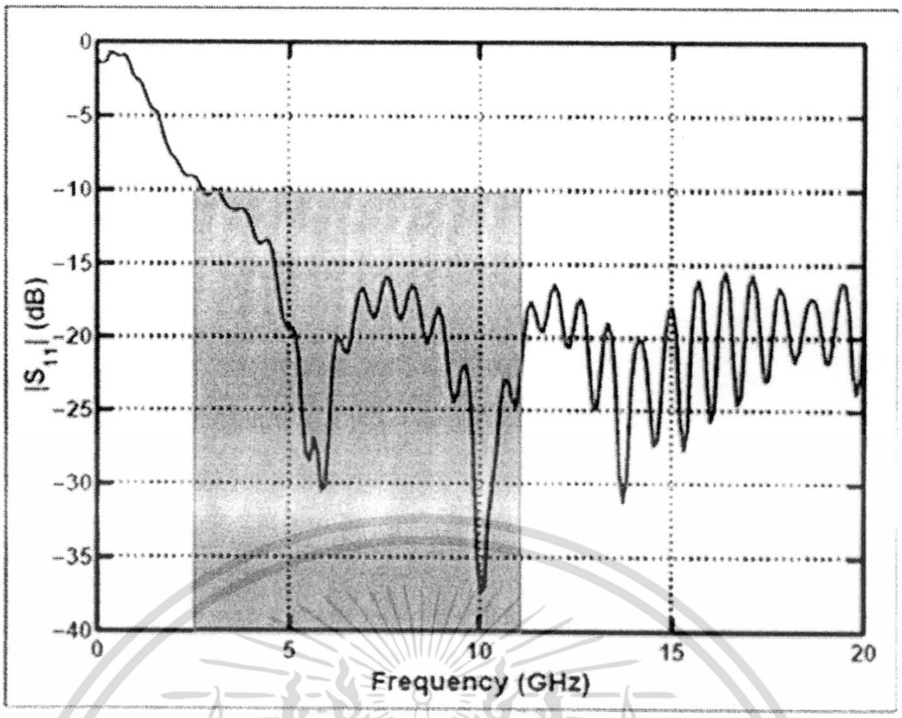
4.2.4.1 สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่เป็นสายอากาศแบบแถบกว้าง จากห้องปฏิบัติการวิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นด้วยวัสดุทองแดงเพื่อใช้ในการวัดและทดสอบย่านแถบความถี่กว้างยิ่ง เป็นสายอากาศที่สร้างง่าย และราคาถูกด้วย โครงสร้างและขนาดของสายอากาศแสดงในรูปที่ 4.5 โดยมีคุณสมบัติของสายอากาศ $|S_{11}|$ ต่ำกว่า -10dB ตั้งแต่ช่วงความถี่ประมาณ 3GHz ถึง 20GHz การแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบรอบตัวในมุมกวาด (Azimuth) มีอัตราการขยาย (Gain) ของสายอากาศ ต่ำ ซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.5dBi



รูปที่ 4.5 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศกรวยคู่ [11]

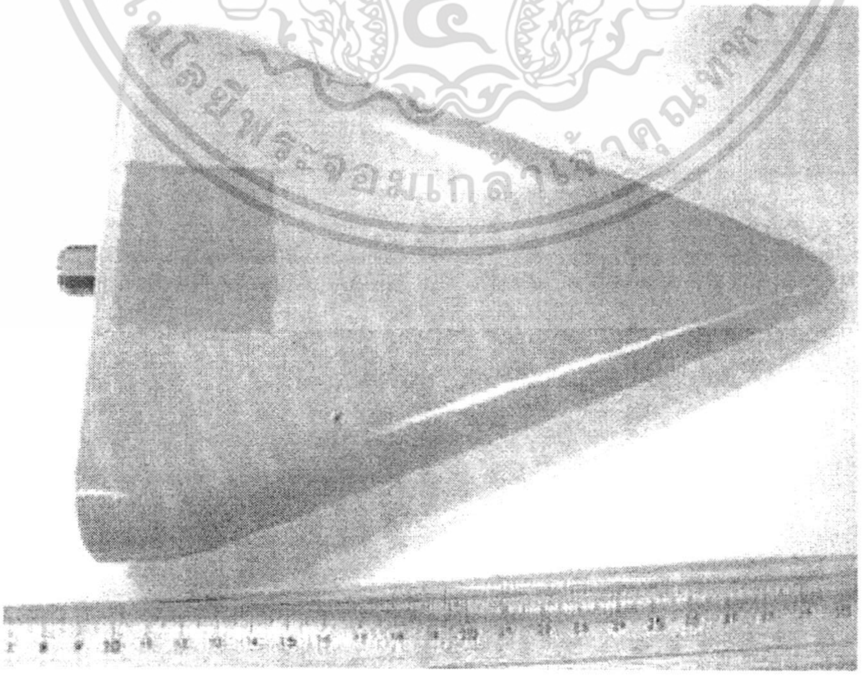
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศกรวยคู่ [11]

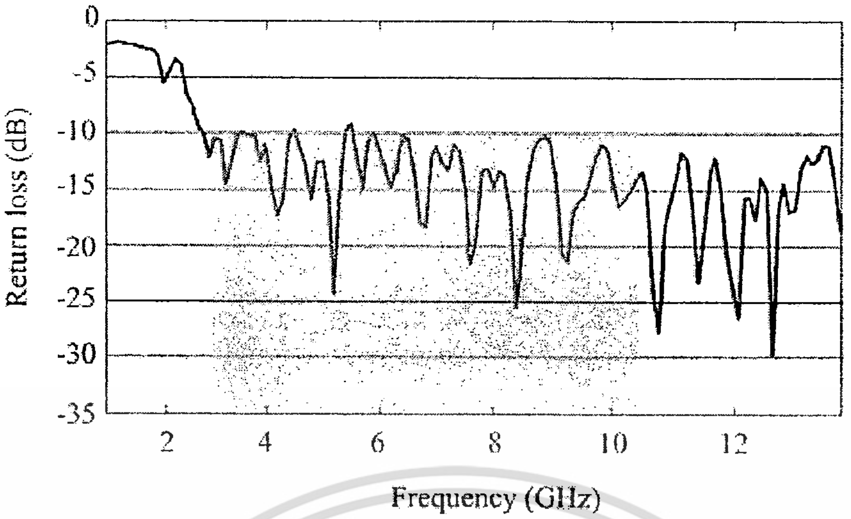
4.2.4.2 สายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก

เป็นสายอากาศแถบกว้าง และมีขนาดใหญ่รองรับการใช้งานย่านความ 1 GHz ถึง 12.4 GHz เป็นสายอากาศเชิงพาณิชย์



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก (Watkins-Johnson AR7-15A) [12]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศไดโพลแบบรายคาบล็อก [12]

4.2.5 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองวิจัย

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการทดลองวิจัย ได้แสดงในตารางที่ 4.1 สังเกตได้ว่าการตรวจสอบความถูกต้องนั้นจะทำในส่วนของตัวเชื่อมต่อของสายเคเบิลที่ต่ออยู่กับสายอากาศ ดังนั้นความสมบูรณ์ของสภาพสายอากาศจึงมีผลต่อการทดลองวัดเป็นอย่างยิ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองวัดคุณลักษณะฟังก์ชันการถ่ายโอนของสายอากาศในห้องไร้การสะท้อน

พารามิเตอร์	ค่า
ช่วงความถี่	3 GHz – 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	1601 จุด
กำลังงานพลวัต	80 dB
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.75 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.75 เมตร
ระยะห่างของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ	3.00 เมตร
ช่วงที่ปรับสายอากาศทางด้านรับ	0 – 360 องศา
การปรับสายอากาศทางด้านรับ	5 องศา / ครั้ง
การวางตัวของสายอากาศ	แนวนอน
สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ	สายอากาศแบบกรวยคู่ และ สายอากาศแบบรายคาบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้แสดงรูปแบบจำลองการวัดหรือทดสอบการส่งผ่านสัญญาณแถบกว้างยิ่งในห้องไร้การสะท้อน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ และพารามิเตอร์สำคัญที่กำหนดสำหรับในการทดสอบ ซึ่งในการศึกษาทดลองวิจัยได้พิจารณารูปแบบการวัดอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการวัด โดยในแบบจำลองได้มีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตำแหน่งต่างๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและบันทึกผลของฟังก์ชันการถ่ายโอนในความถี่ช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์และแสดงผลพารามิเตอร์ของอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งได้แสดงในบทที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองวิจัยและวิเคราะห์สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

5.1 กล่าวนำ

ผลการทดลองวิจัย และหลักวิเคราะห์ช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้การสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้ และการสหสัมพันธ์ด้วยไอโซทรอปิก ซึ่งได้แสดงหลักการวิเคราะห์ไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริงของช่องสัญญาณการส่งผ่านในสภาพวะแวดล้อมจริง รูปแบบของสัญญาณส่ง และรูปแบบการจำลองวัดได้แสดงไว้ในบทที่ 4 จากนั้นได้นำเอาผลการวัดมาทำการประเมินผล เพื่อนำพารามิเตอร์มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของความแตกต่างตลอดจนสอดคล้องกับแนวทางทฤษฎีหรือไม่ อย่างไรก็ตามตัวอย่างของผลการทดลองวิจัยที่ได้แสดงในบนบทนี้ เช่น คุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดและเฟส และอัตราขยายการส่งผ่านของช่องสัญญาณการแถบกว้างยิ่งด้วยกรณีสายอากาศด้านรับและด้านส่งเหมือนกันโดยใช้สายอากาศแบบกรวยคู่ และในกรณีลักษณะที่คล้ายกันสายอากาศด้านรับและด้านส่งเหมือนกันแต่ต่างกันที่ใช้สายอากาศแบบรายคาบล็อก

5.2 ผลการทดลองวิจัย

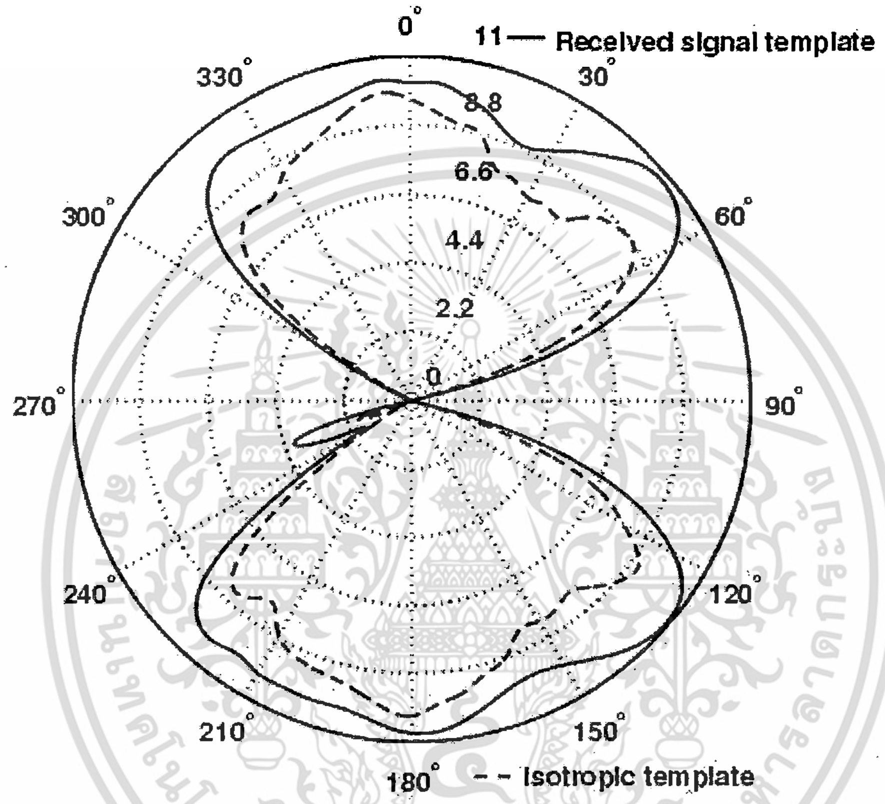
ในวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาใช้สายอากาศแถบกว้าง 2 ชนิดด้วยกันในการวัดการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง สำหรับการประเมินผลการเชื่อมโยงซึ่งมีสายอากาศแบบกรวยคู่และสายอากาศแบบรายคาบล็อก

5.2.1 กรณีผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบกรวยคู่

อัตราการขยายในการส่งผ่านของการพิจารณาหน้ากากสเปกตรัมแต่ละรูปคลื่นสำหรับหน้ากากสเปกตรัม FCC จะมีอัตราขยายของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์ ซึ่งจะมีความเหมาะสมที่สุดตามข้อจำกัดทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณากรณีภายในอาคารกรณีเดียวเท่านั้น ดังแสดงรูปที่ 5.1 และ 5.2 สำหรับแบบรูปที่ได้แสดงได้เปรียบเทียบการสหสัมพันธ์สัญญาณรูปคลื่นที่แตกต่างกัน โดยจากการใช้สัญญาณที่รับได้และการสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณไอโซทรอปิกตามหน้ากากสเปกตรัม FCC และหน้ากากสเปกตรัมแถบความถี่ร่วม สำหรับหน้ากากสเปกตรัม FCC จะมีผลของความต่างตามข้อจำกัดของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์ได้แสดงรูปที่ 5.1 และ

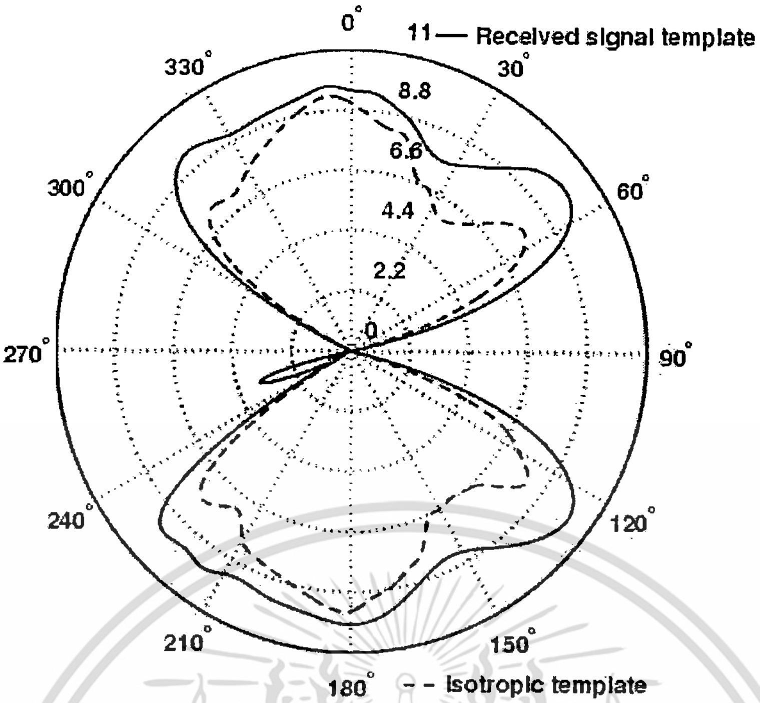
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.2 จะได้เป็น 1.22dB และ 1.30dB ตามลำดับ และสำหรับค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นแบบรากเรสโคซายน์ของหน้ากากสเปกตรัมน้อยมากได้แสดงรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 มีค่าประมาณ 0.11dB และ -0.09 dB ตามลำดับ อาจจะเป็นเพราะการฟีดสัญญาณเข้าสายอากาศแบบกรวยคู่เข้าที่กลางของกรวย จึงทำให้การผิดเพี้ยนของรูปคลื่นหรือผลกระทบต่ำมากทั้งการสหสัมพันธ์ด้วยไอโซทรอปิก

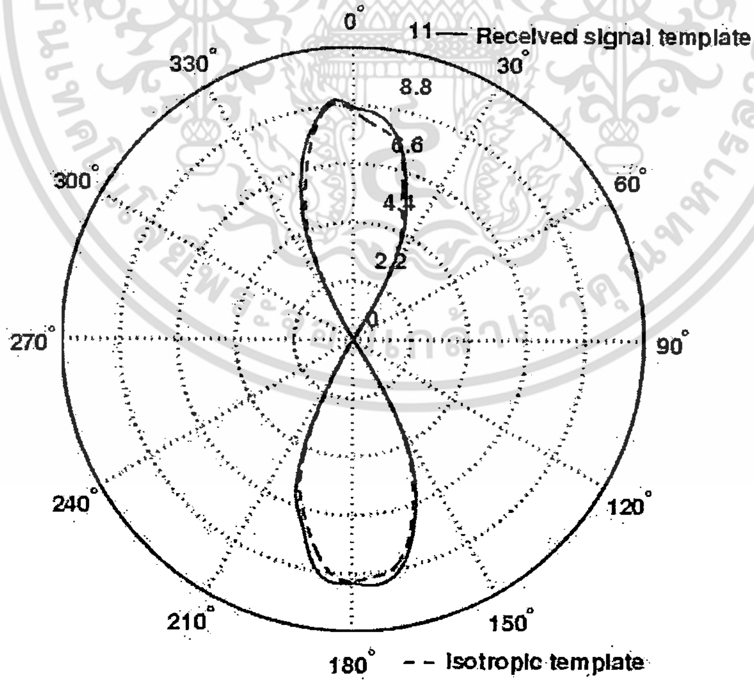


รูปที่ 5.1 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านทรงสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

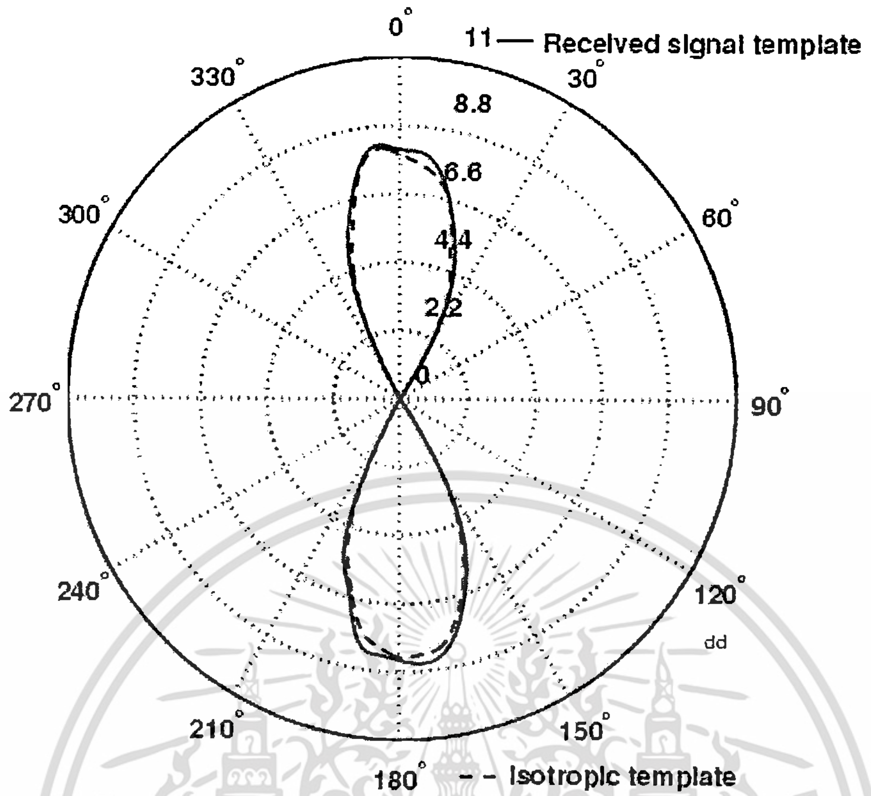


รูปที่ 5.2 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านรากเรส โคซายน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่



รูปที่ 5.3 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้งานเพื่อสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คแถบความถี่ร่วม รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศกรวยคู่กับสายอากาศกรวยคู่

5.2.2 กรณีผลการทดลองวิจัยที่ได้จากการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อก

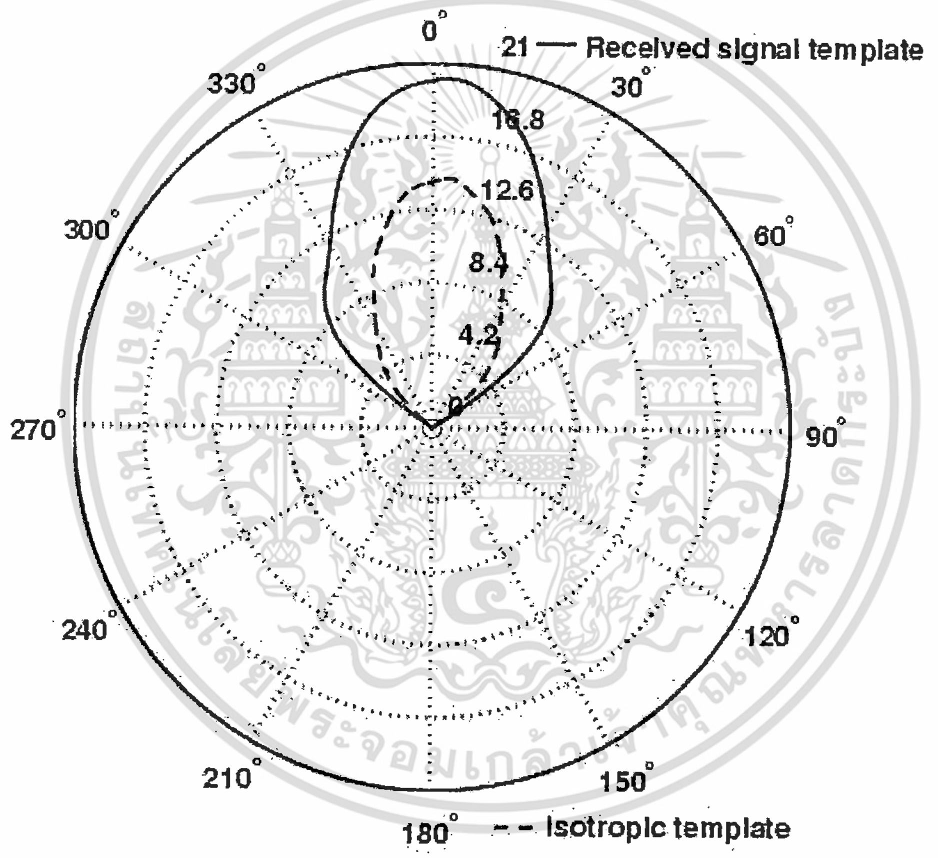
สายอากาศรายคาบล็อกในงานย่านความถี่แถบกว้าง ซึ่งอัตราการขยายเป็นอิสระทางความถี่จากความถี่ต่ำไปยังความถี่สูง อย่างไรก็ตามด้วยโครงสร้างจะมีความแตกต่างจากสายอากาศแบบกรวยคู่ ทั้งคุณสมบัติและขนาดของสายอากาศรายคาบล็อกซึ่งมีขนาดใหญ่มาก ซึ่งเฟสเซ็นเตอร์จะเปลี่ยนความถี่ขึ้นกับการตอบสนองของแต่ละอีลีเมนต์ของไดโพล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้สายอากาศรายคาบล็อกเชิงพาณิชย์บริษัท (Watkins-Johnson AR7-15A) ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ของบทที่ 4 การวัดและการประเมินผลของช่องสัญญาณทั้งในการเชื่อมโยงทั้งสายอากาศรายคาบล็อกและสายอากาศกรวยคู่ ณ มุมต่างๆ การหมุนในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)

อัตราการขยายในการส่งผ่านจะพิจารณาหน้ากากสเปกตรัมที่เหมาะสมแต่ละรูปคลื่นสำหรับหน้ากากสเปกตรัม FCC อัตราขยายในการส่งผ่านของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์ แสดงในรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ส่วนรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 แสดงอัตราการขยายในการส่งผ่านของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรากเรสโคซายน์ที่เหมาะสมหน้ากากสเปกตรัมแถบความถี่ร่วมตามลำดับ ซึ่งรู้ว่าสายอากาศแบบรายคาบล็อกเป็นสายอากาศแบบไดเล็ก

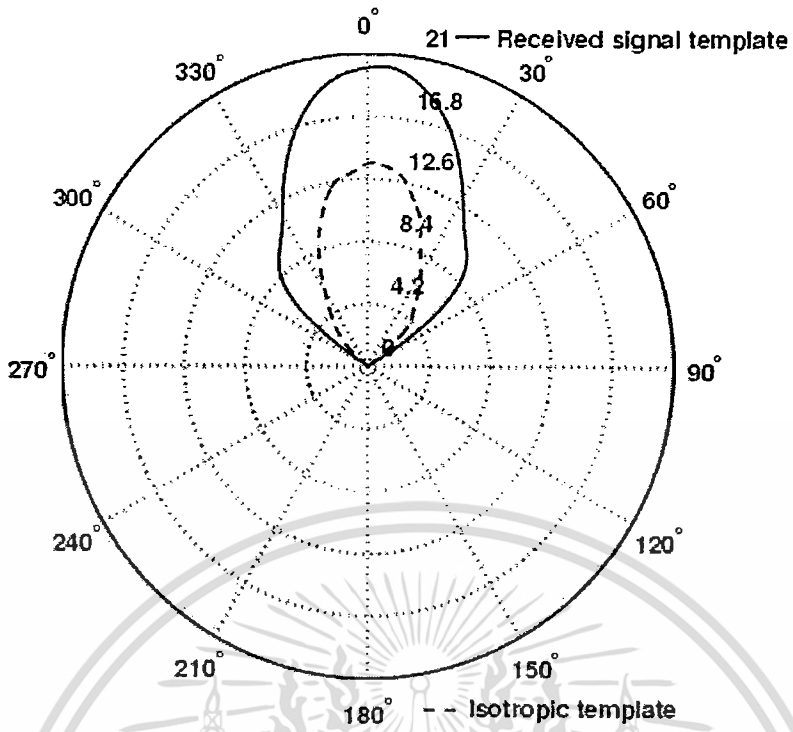
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชันแนลและมีอัตราขยายสูงกว่าสายอากาศกรวยคู่ เพราะฉะนั้นความแตกต่างของการส่งผ่านสัญญาณที่ใช้การสหสัมพันธ์ด้วยสัญญาณที่รับได้และการสหสัมพันธ์สัญญาณไอโซทรอปิกที่มีความเหมาะสมที่สุดของหน้ากากสเปกตรัมตามข้อกำหนด FCC และหน้ากากสเปกตรัมแถบความถี่ร่วม สำหรับหน้ากากสเปกตรัม FCC ผลแตกต่างโดยเฉลี่ยของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม และรูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์อยู่ประมาณ 1.69 และ 1.85 ตามลำดับ และสำหรับผลต่างโดยเฉลี่ยของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและคลื่นแถบผ่านรากเรสโคซายน์ที่ดีที่สุดของหน้ากากสเปกตรัมแถบผ่านความถี่ร่วมอยู่ที่ประมาณ 0.09 และ 0.07 dB ตามลำดับ

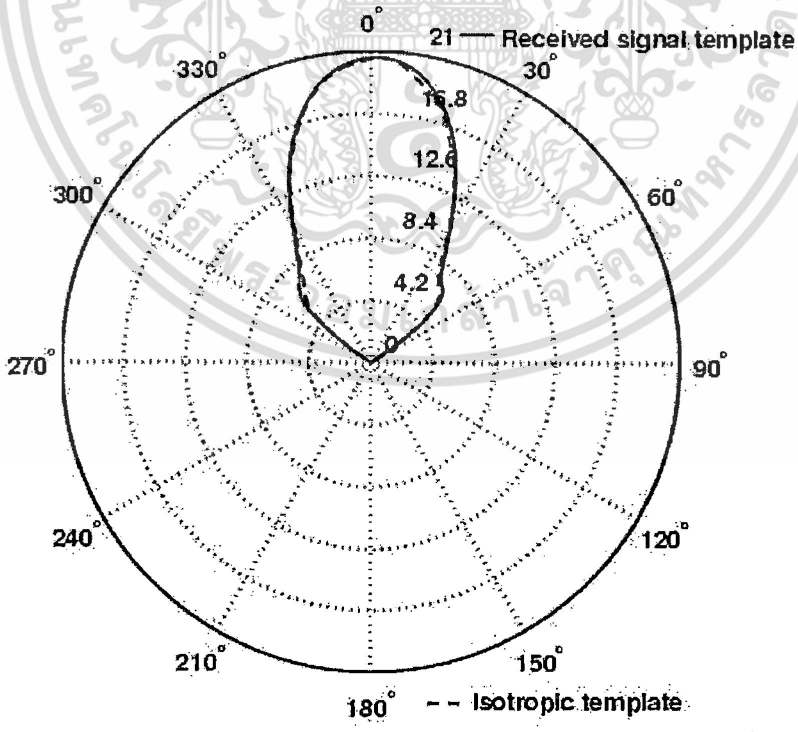


รูปที่ 5.5 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อกและรายคาบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

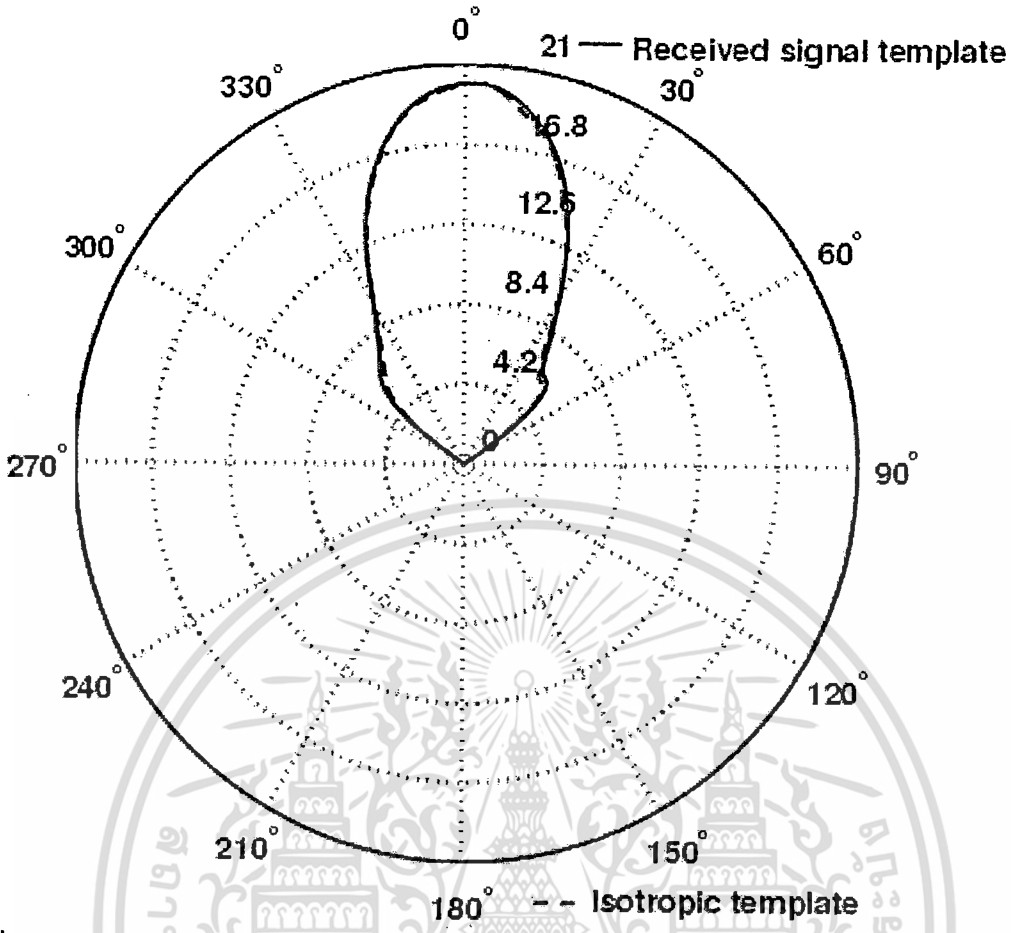


รูปที่ 5.6 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คตามข้อกำหนด FCC รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อกและรายคาบล็อก



รูปที่ 5.7 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คแถบความถี่ร่วม แบบรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อกและรายคาบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

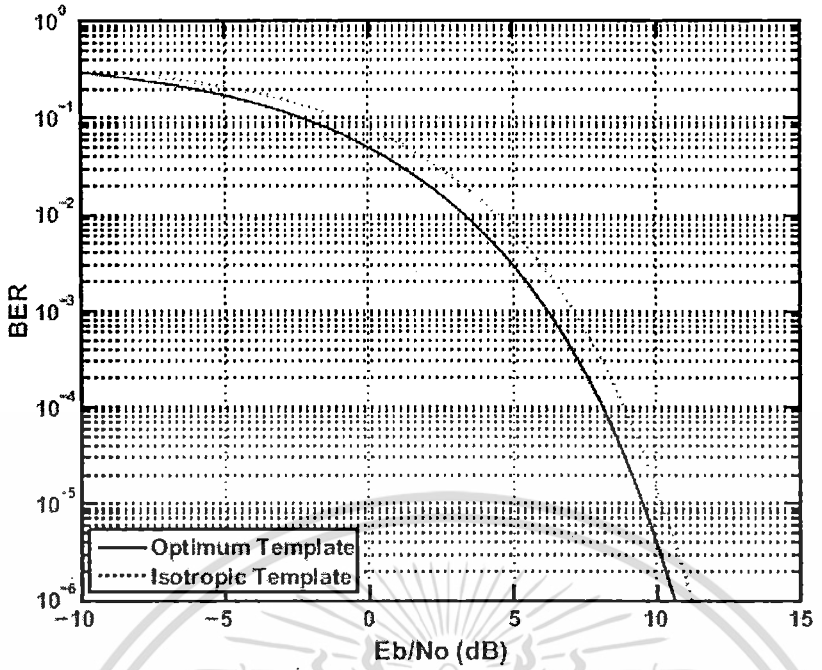


รูปที่ 5.8 อัตราขยายสัญญาณการส่งผ่านของหน้ากากสเปกตรัมมาร์คแถบความถี่ร่วม รูปคลื่นแถบผ่านรากเรสโคไซน์สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศแบบรายคาบล็อกและรายคาบล็อก

5.2.2.1 อัตราความผิดพลาดบิต

โดยผลจากการวิเคราะห์อัตราความผิดพลาดบิต จะนำเสนอสองกรณี คือ กรณีเครื่องสหสัมพันธ์แบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์แบบไอโซทรอปิก ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราส่วนจำนวนบิตเกิดการผิดพลาดจากการส่งต่อจำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด ดังที่แสดงในรูปที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ผลการเปรียบเทียบอัตราความผิดพลาดบิตของการส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง กรณีเครื่องแบบสหสัมพันธ์แบบสัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์แบบไอโซทรอปิก

5.3 บทสรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลการวัดและการวิเคราะห์ผลของสัญญาณ โดยการวัดสัญญาณนั้นได้ทำการทดลองภายในห้องไร้การสะท้อนและภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งได้ใช้แบบจำลองในการวัดตามที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ซึ่งได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทำการวัดและบันทึกผลฟังก์ชันการถ่ายโอนและนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ บนพื้นฐานสูตรการส่งผ่านของฟรีส และทางด้านรับได้ใช้เครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบมาเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องรับแบบสัญญาณที่รับได้กับเครื่องรับแบบไอโซทรอปิก จากผลการทดลองวิจัยและผลการวิเคราะห์ของระบบแถบกว้างยิ่ง ทำให้เห็นว่ามีผลกระทบกับระบบการแพร่กระจายคลื่น เช่น ตำแหน่งการวางสายอากาศ ลักษณะการติดตั้งสายอากาศ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านรับและสายอากาศด้านส่ง และที่สำคัญคือ สภาวะแวดล้อมที่ทำการวัดทดสอบ เช่น ห้องไร้การสะท้อน สภาวะแวดล้อมภายในอาคารสำนักงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารระยะสั้น ซึ่งสามารถนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพในการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งไปใช้ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการประเมินผลกำลังการเชื่อมโยงของอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง ด้วยส่วนประกอบของรูปคลื่นที่ใช้ในการส่ง, สายอากาศ, การแพร่กระจายคลื่นในอวกาศว่าง และเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยใช้นิยามตามที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้พิจารณาใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดด้วยกัน คือสายอากาศกรวยคู่ และสายอากาศแบบรายคาบล็อก ส่วนแบบแผนการวิจัยนี้สามารถนำประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศที่นำมาใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งได้ด้วยแนวคิดคุณสมบัติความถี่การสูญเสียย้อนกลับ สายอากาศทิศทางตรงสามารถประเมินประสิทธิภาพได้เฉพาะอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่ง

6.2 ผลของการศึกษาทดลองวิจัย

จากการศึกษาเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะใกล้หรือโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย เนื่องจากเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้งานและระบบมัลติมีเดียต่างๆที่จะถูกพัฒนาและนำมาใช้ในอนาคตได้ แต่อย่างไรก็ตามการที่จะนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมาใช้ในระบบการสื่อสารไร้สายความเร็วสูงให้ประสบความสำเร็จนั้น ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง จึงเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้สูตรการส่งผ่านของฟรีสมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทางด้านรับได้เสนอเครื่องรับสหสัมพันธ์สองแบบ คือ เครื่องรับสหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้และเครื่องรับสหสัมพันธ์ไอโซทรอปิก

จากผลการทดลองวิจัยของอัตราขยายในการส่งผ่านแถบกว้างยิ่งโดยใช้สัญญาณที่รับได้และสัญญาณไอโซทรอปิกมาทำการสหสัมพันธ์ในการวัดเชิงปริมาณของกำลังงานการเชื่อมโยงระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับได้

ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้สายอากาศแถบกว้างสองชนิดที่มีการสะท้อนของอัตราขยายแคบมากในอัตราการขยายการส่งผ่านที่มีแถบกว้าง ในส่วนอื่นที่ได้พิจารณาความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น ผลต่างระหว่างการสหสัมพันธ์ที่สัญญาณเหมาะที่สุด และการสหสัมพันธ์ไอโซทรอปิกนี้เป็นการวัดของความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น สามารถสังเกตได้จากคุณลักษณะรูปคลื่นที่แถบความถี่

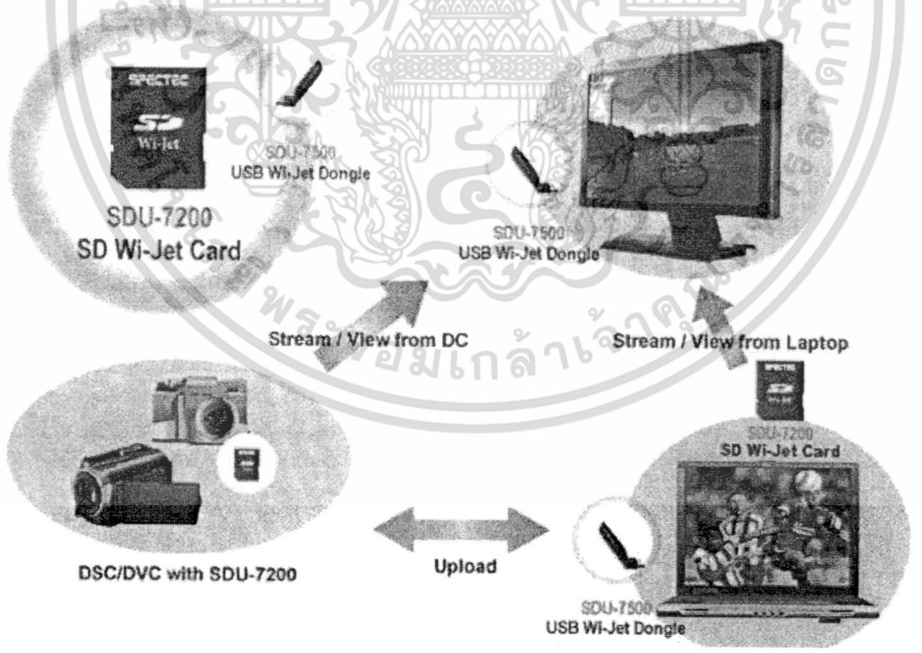
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกันความผิดเพี้ยนต่างกันน้อย ส่วนรูปคลื่นตามข้อกำหนดของ FCC จะมีแถบความถี่กว้างมากจึงมีความผิดเพี้ยนมากกว่าในแถบความถี่ร่วม

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต

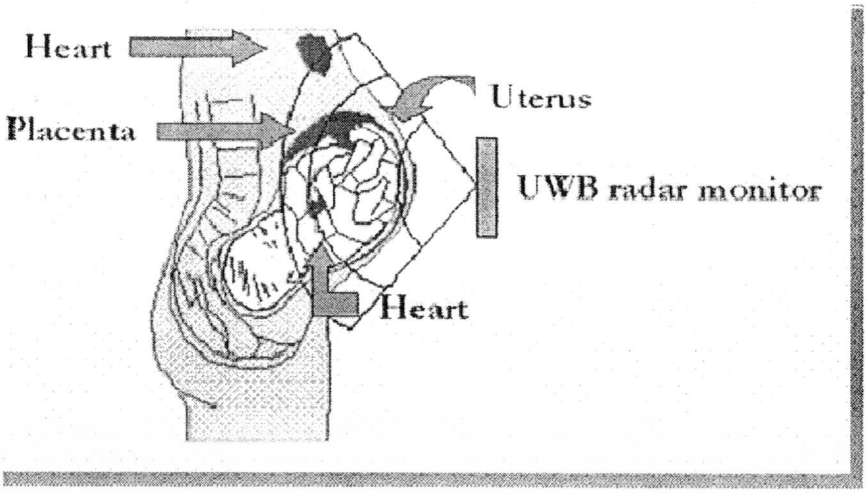
วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและหาแนวประเมินผลความผิดเพี้ยนช่องสัญญาณและสายอากาศในอัตราขยายในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง ตามข้อกำหนดของ FCC และได้ทำการทดลองวิจัยในห้องไร้การสะท้อนแล้ว

การทดลองวิจัยในอนาคตจะพิจารณาวัดจริงในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ใหม่ที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในย่านแถบกว้างและแถบแคบด้วยการมอดูเลตแบบ MB OFDM UWB และการประยุกต์เอางานวิจัยไปพัฒนาในแนวทางอื่นๆ ได้ด้วยเช่น ระบบมัลติมิเดียไร้สายระยะสั้นแถบกว้างยิ่ง, ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย, และโครงข่ายไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการทหาร เป็นต้น

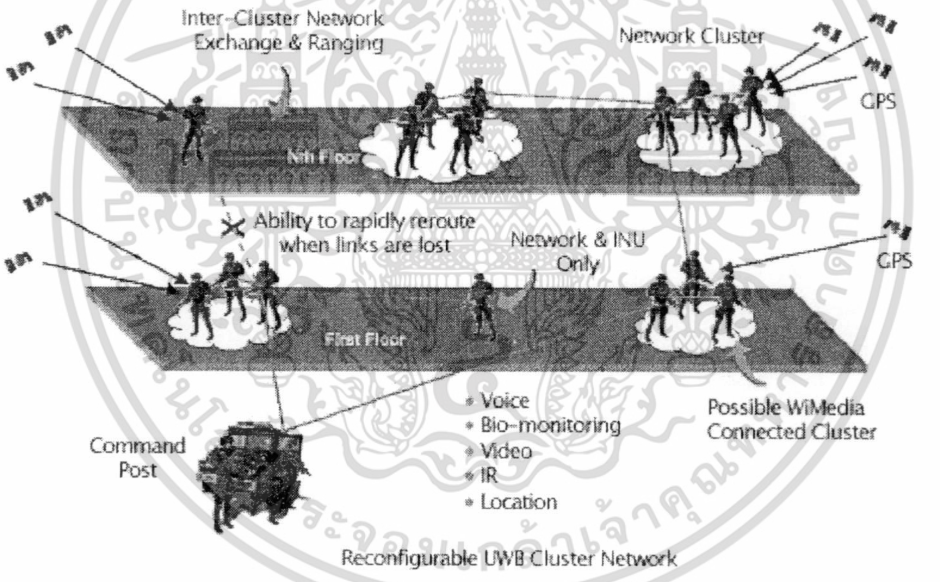


รูปที่ 6.1 โครงข่ายมัลติมิเดียไร้สายระยะสั้นแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ระบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ไร้สาย



รูปที่ 6.3 โครงข่ายไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการทหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] H.Arslan, Z.N Chen and M.G.D. Benedetto, **ULTRA WIDE BAND WIRELESS COMMUNICATION,** England: John Wiley & Sons Ltd.

[2] P. Pagani, F.T. Talom, P. Pajusco and B. Uguen, "**Ultra Wide Band Radio Propagation Channels,**" England: John Wiley & Sons Ltd.

[3] M.Ghavami, L.B.Michael and R.Kohno, "**Ultra wideband signals and systems in communication engineering,**" England: John Wiley & Sons Ltd.

[4] Kazimierz S, and Debra M, "**Ultra-Wideband Radio Technology,**" England: John Wiley & Sons Ltd.

[5] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "**Simple Waveform for UWB Communication,**" The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005), pp.626-629, May 2005.

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

[7] P. Supanakon, K. Teplee, S. Phomwong, S. Keawmechai and J. Takada, "**Theoretical SNR Gain and BER Performances of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers,**" The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006), no. 3, pp. 269-272, July 2006.

[8] K. Teplee, P. Supanakon, S. Phomwong and J. Takada, "**BER Performance of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers,**" The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2007), no. 2, pp. 872-875, May 2007.

[9] Federal Communications Commission, "**Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,**" First Report and Order, FCC 02–48, Apr. 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, **"Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems,"** 2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technology (Joint UWBST&IWUWBS2004), pp. 312-316, May 18-21, 2004.

[11] United States of America, **"Working document towards the development of measurement procedures for assessing regulatory compliance of ultra-wideband emitters,"** ITU-R Document, 1-8/157-E, June 2004.

[12] H.G. Schantz, **"Dispersion and UWB antennas,"** Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst. / Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (Joint UWBST & IWUWBS 2004), Kyoto, Japan, May 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

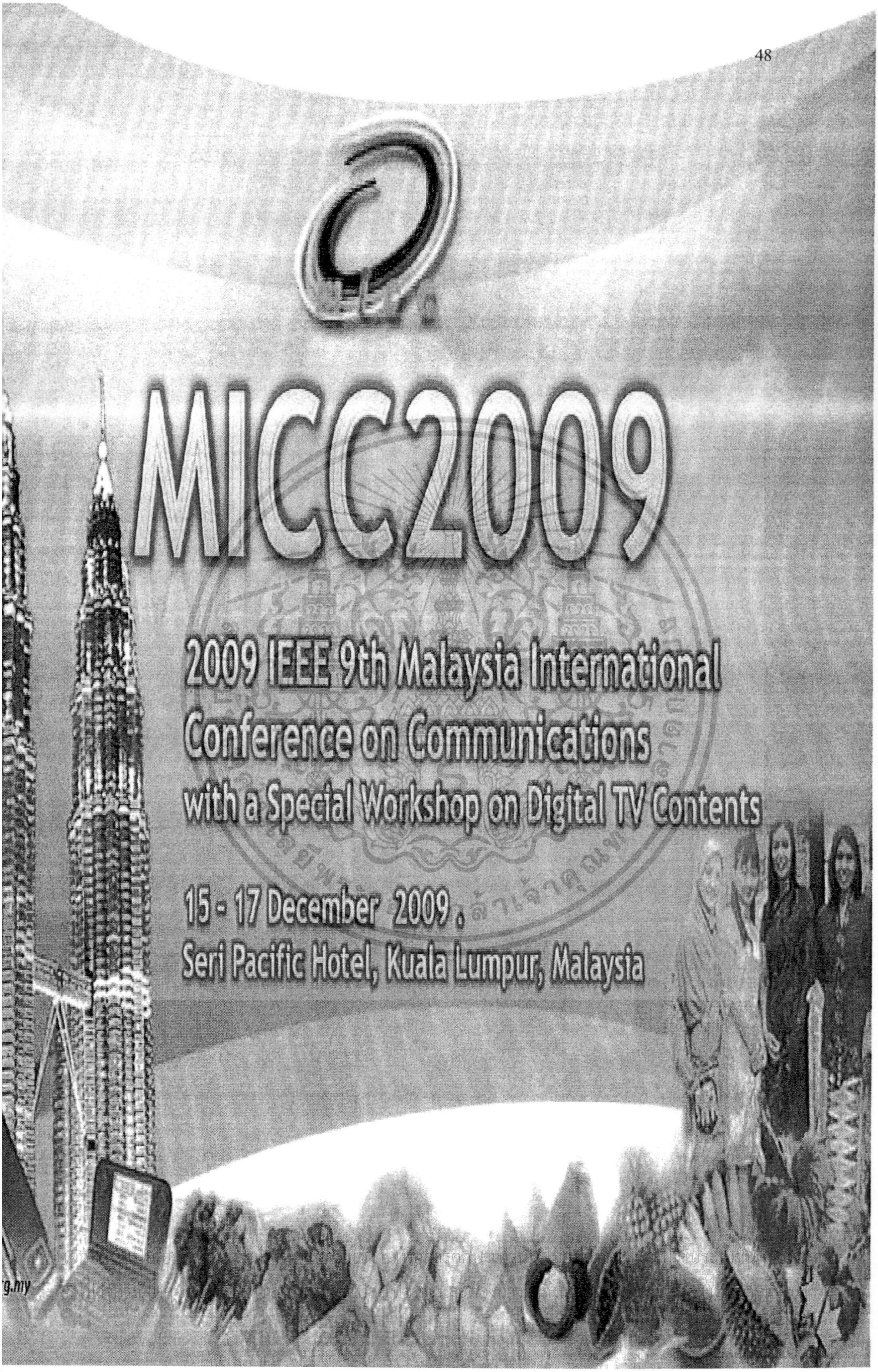
งานประชุมในระดับนานาชาติ

1. Thawatcahi Sreewattanapong and Sathaporn Promwong, "Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss due to Laptop Computer," MICC, Kuala Lumpur, Malaysia, 15-17 December. 2009.

2. Thawatcahi Sreewattanapong and Sathaporn Promwong, "Performance Evaluation Scheme of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission," ECTI, Chiang Mai, Thailand 16-21 May, 2010.

3. Thawatcahi Sreewattanapong and Sathaporn Promwong, "WiMedia UWB Transmission in an Office Environments," ICT, Bangkok, Thailand 24-25 Aug, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


MICC2009
2009 IEEE 9th Malaysia International
Conference on Communications
with a Special Workshop on Digital TV Contents
15 - 17 December 2009
Seri Pacific Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia

Evaluation of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission Loss due to Laptop Computer

Thawatchai Sereewattanapong[1] and Sathaporn Promwong[2]

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
[1]x2611316@kmitl.ac.th
[2]kpsathap@kmitl.ac.th

***Abstract*—This paper presents the evaluation of the transmission gain of an ultra wideband antenna on a labtop computer based on the extended Friis' transmission formula. The matched filter is considered at the receiver side to maximize the SNR for evaluation. This technique gives very accurate results and is very useful for the design and evaluation of UWB impulse radio transmission systems, especially for the evaluation of waveform distortion effects.**

***Index Terms*—Ultra wideband (UWB), impulse radio, UWB measurements, UWB antennas, Friis' transmission formula.**

I. Introduction

The ultra wideband (UWB) technology will likely be most promising in wireless personal area network (WPAN) applications due to its short-range characteristics, high data throughput capability, ultra low-power requirements, and more. In order to minimize the interference with existent systems, the UWB is expected to be mainly used in indoor environments such as personal computer (PC) peripherals, Comsumer electronics (CE), and mobile communications.

Even if the channel is in line of sight (LOS), Friis' transmission formula cannot be directly applied to the UWB radio as the bandwidth of the pulse is extremely wide. Furthermore, simple comparison between waveforms of the transmitter and the receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, we investigate the UWB-IR transmission loss due to the laptop computer. This scheme is based on the Friis' transmission formula, adapted for UWB, in the sense that we would like to derive the equivalent antenna gain for UWB systems. The transmission waveform and the matched filter reception are keys for the extension of the Friis' formula to UWB. To know the actual antenna transfer function, we need the three-antenna method for calibration of the reference antenna. An experiment is carried out using a biconical antenna and the Skycross antenna for UWB operation in an anechoic chamber.

II. UWB-IR Transmission Analysis

In this study, we focus on the link budget evaluation of UWB impulse radio (IR) system in free space.

In narrowband systems, the link budget of the free space propagation loss is usually estimated by using Friis' transmission formula [1]. However, it is not directly applicable to the UWB-IR transmission system, as the formula is expressed as a function of the frequency. Moreover, the waveform may be distorted due to the frequency characteristics of the antenna. The Friis' transmission formula shall be extended to take into account the transmission signal waveform and its distortion as well [2].

Input signal $v_i(t)$ at the transmitter port is expressed as the convolution of an impulse input and the pulse shaping filter $h_i(t)$ as

$$v_i(t) = E_i\delta(t) * h_i(t), \tag{1}$$

where

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t)\mathrm{d}t = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2\,\mathrm{d}f = 1. \tag{2}$$

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

$$H_{\mathrm{Friis}}(f) = H_f\mathbf{H}_r\cdot\mathbf{H}_t, \tag{3}$$

$$H_{\mathrm{c\text{-}Friis}}(f) = H_f H_i\mathbf{H}_r\cdot\mathbf{H}_t, \tag{4}$$

and for the isotropic case

$$H_{\mathrm{c\text{-}Friis,Iso}}(f) = H_f H_i \tag{5}$$

where H_f is complex frequency transfer function in free space, $\mathbf{H}_r$ and $\mathbf{H}_t$ are the complex frequency transfer functions of transmitter and receiver antennas, respectively. At the receiver, the matched filter $H_{\mathrm{MF}}(f)$ is introduced to maximize the signal-to-noise ratio (SNR) of the receiver output, as shown in Fig. 1.

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

and for the isotropic case

$$H_{\mathrm{MF,Iso}}(f) = \frac{H^*_{\mathrm{c\text{-}Friis,Iso}}(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|H_{\mathrm{c\text{-}Friis,Iso}}(f)|^2\,\mathrm{d}f}}, \tag{7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

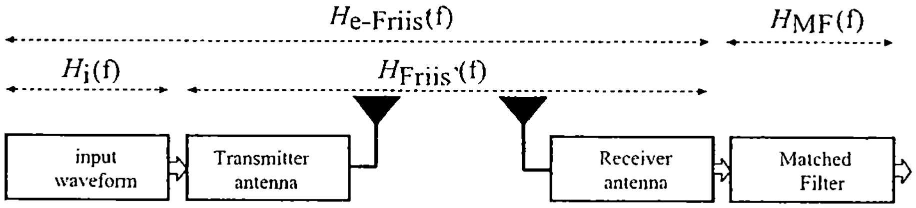


Fig. 1. Block diagram of transmission model for UWB-IR system.

which satisfies the following constant noise output power condition

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{\text{MF}}(f)|^2 \, df = 1. \qquad (8)$$

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

$$\begin{aligned} v_{\text{MF}}(t) &= h_{\text{c-Friis}}(t) * h_{\text{MF}}(t) \\ &= \frac{h_{\text{e-Friis}}(t) * h_{\text{e-Friis}}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{\text{e-Friis}}(t)dt}}, \end{aligned} \qquad (9)$$

and for the isotropic case

$$\begin{aligned} v_{\text{MF,Iso}}(t) &= h_{\text{c-Friis,Iso}}(t) * h_{\text{MF,Iso}}(t) \\ &= \frac{h_{\text{e-Friis,Iso}}(t) * h_{\text{e-Friis,Iso}}(-t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} h^2_{\text{e-Friis,Iso}}(t)dt}}, \end{aligned} \qquad (10)$$

For the spectrum of the output from the matched filter $V_{\text{MF}}(f)$

$$\begin{aligned} V_{\text{MF}}(f) &= H_{\text{c-Friis}}(f) H_{\text{MF}}(f) \\ &= \frac{|H_{\text{e-Friis}}(f)|^2}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{\text{c-Friis}}(f)|^2 \, df}}, \end{aligned} \qquad (11)$$

taking its maximum as

$$\begin{aligned} \max_t v_{\text{MF}}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} V_{\text{MF}}(f) df \\ &= \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |H_{\text{c-Friis}}(f)|^2 \, df}. \end{aligned} \qquad (12)$$

Equation (12) is the UWB extension of Friis' transmission formula. It includes three elements, namely the frequency characteristics of the antennas, the frequency characteristics of free space propagation, and the spectrum of the transmit signal. Instead, the total transmission gain including the effect of the waveform can be obtained as Eq. (12). For normalization, the reference isotropic antenna with $H_{\text{Iso}}(f) = 1$ is considered. The UWB transmission gain can be defined as

$$G_{\text{UWB}} = \max_t v_{\text{MF}}(t) / \max_t v_{\text{MF,Iso}}(t). \qquad (13)$$

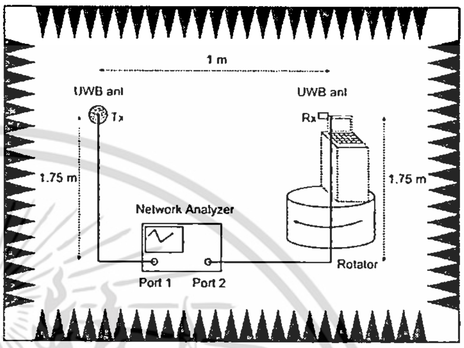


Fig. 2. The instrument setup.

III. UWB Experiment System Description

In this section, some issues on the preparation for the experiments are described.

A. Instrument setup

The VNA was operated in the response measurement mode, where Port-1 was the transmitter port (Tx), and Port-2 was the receiver port (Rx), respectively. The measurement was done in an anechoic chamber. Both Tx and Rx antennas were fixed at a height of 1.75 m and separated by a distance of 1 m. The setup is sketched in Fig. 2.

The Tx antenna is a biconical antenna with maximum diameter of 65.3 mm and length of 37 mm used as the standard antenna [3] and the Rx antenna is a commercial, small-size, low profile antenna developed by Skycross Lnc.,(USA) [4] used as the AUT. S_{21}, measures the transfer function between Tx and Rx antennas. The Tx antenna is fixed at pointing angle 0° and the Rx antenna is rotated from pointing angle 0° to 360° with each step at 5°.

B. UWB-IR signal model

We considered the impulse radio signal that fully covers the FCC band [5], i.e., 3.1 ~ 10.6 GHz. The center frequency and the bandwidth were therefore set to be $f_0 = 6.85$ GHz and $f_b = 7.5$ GHz, respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was a single ASK pulse with the carrier frequency f_0. To satisfy the bandwidth requirement of f_b, the pulse length was set to be $\frac{2}{f_b}$. Then the signal was band-limited by a Nyquist

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

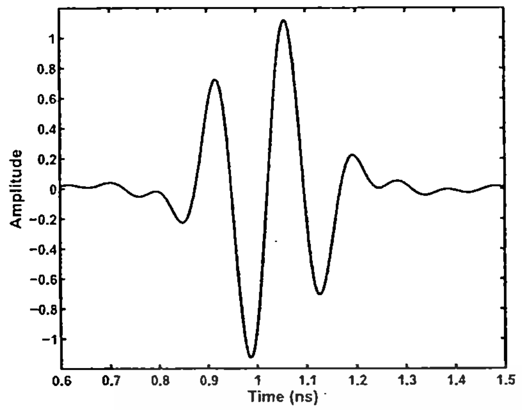


Fig. 3. The transmited waveform of UWB signal.

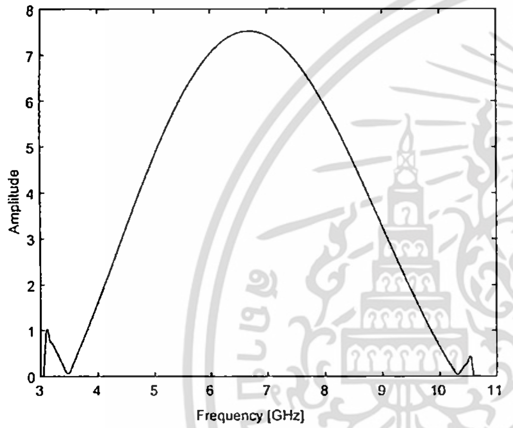


Fig. 4. The transmited spectrum of UWB signal.

roll-off filter with roll-off factor $\alpha = 0$ (rectangular window) and passband $\left(f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}\right)$. Figures 3 and Fig. 4 show the transmit pulse waveform and spectrum of UWB-IR signal. The transmission process of the pulse waveform is simulated based on the measured transfer function of the antennas.

C. Parameters of experiments

The important parameters for the experiments are listed in Table I. It is noted that calibration is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measured results.

IV. Results and Discussion

This section describes the graphical compilation of the results of the experiments.

Figure 5 shows the magnitude of the measured transfer function and its phase is also shown in Fig. 6. We can particularly see the frequency characteristic of the measured

TABLE I
EXPERIMENTAL SETUP PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	1601
Dynamic power range	80 dB
Tx antenna height	1.75 m
Rx antenna height	1.75 m
Distance between Tx and Rx	1 m
Rx rotate range	0° to 360°
Rx rotate step	5°

transfer function with laptop computer at each pointing angle. As the AUT is the broadband Skycross antenna, the ideal linear phase is almost realized, except for the null directions, which change with frequency.

The UWB signal shown in Fig. 3 is used as the transmission waveform. The received waveforms at the output of the matched filters is evaluated. The relative gain is defined as Eq. (13). In practice, it is quite complicated and is not feasible to implement the adaptive matched filter to adjust for the antennas. Therefore, the matched filter designed for an isotropic antenna is also considered and is compared with the ideal matched filter.

Figures 7 and Fig. 8 show the UWB transmission gain versus antenna pointing angle that uses the optimum matched filter compared with the matched filter for an isotropic antenna. In Fig. 7 the UWB transmission gain without the laptop computer is shown the peaks are found at 0°, 180°, and 360° pointing angles which correspond to the broadside of the antenna. The nulls are observed at 90° and 270° pointing angles. For Fig. 8 the peaks are found at 155° and 270° pointing angles which corresponds to the broadside of the antenna. The nulls are observed at 85° and 235° pointing angles. However, the difference of the signal waveform in Fig. 8 is effects from the laptop computer.

V. Conclusion

This paper presented the evaluation of transmission characteristics of UWB antenna with a laptop computer using an extension of Friis' transmission formula in order to take into account the transmit waveform and the matched filter into the system. The experimental examples using the biconical antenna as the transmitter and the Skycross antenna as the receiver are presented. This approch is more useful for design and evaluation of UWB wireless systems.

References

[1] H.T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," *Proc. IRE*, vol. 34, pp. 254-, May 1946.

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

[3] S. Promwong and W. Hachitani, and J. Takada, "Free Space Link Budget Evaluation of UWB-IR Systems," Joint UWBST & IWU WBS2004, pp. 312-316, May 18-21, 2004.

[4] Skycross, Inc., "3.1-10 GHz UWB Antenna for Commercial UWB Applications" *http://www.skycross.com/*

[5] FCC, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems," FCC 02-48, Apr. 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

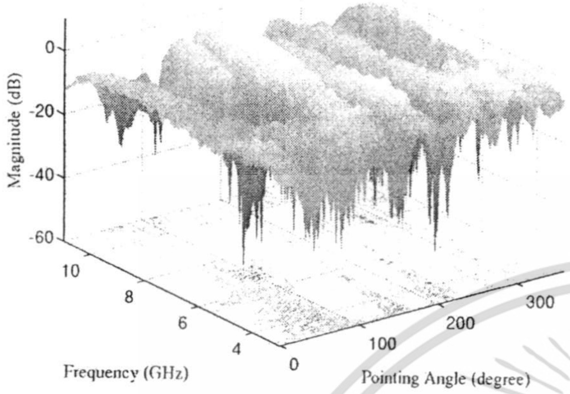


Fig. 5. The measured transfer function: magnitude.

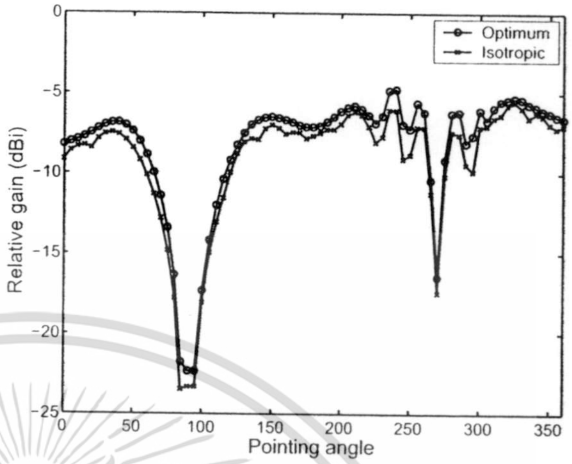


Fig. 7. UWB transmission gain without laptop computer.

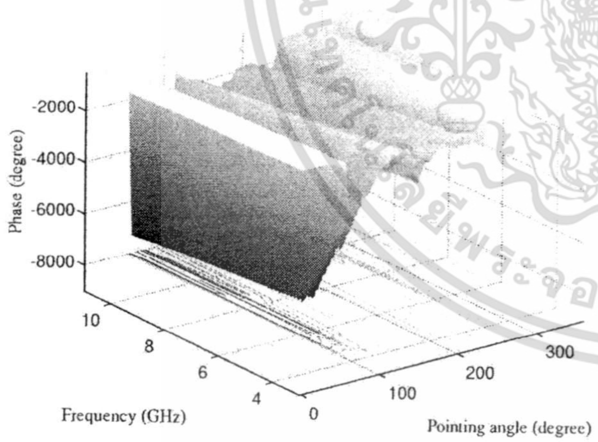


Fig. 6. The measured transfer function: phase.

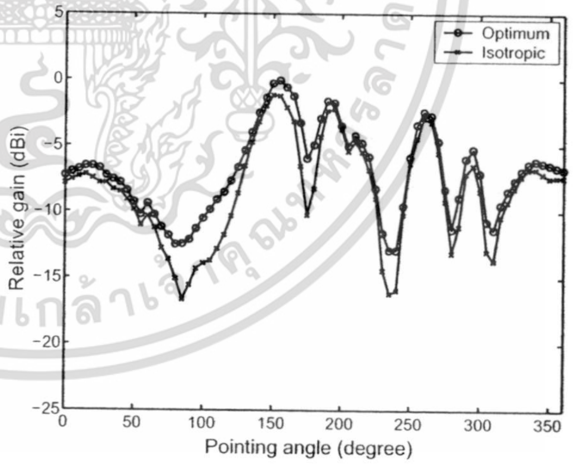


Fig. 8. UWB transmission gain with laptop computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-CON 2010

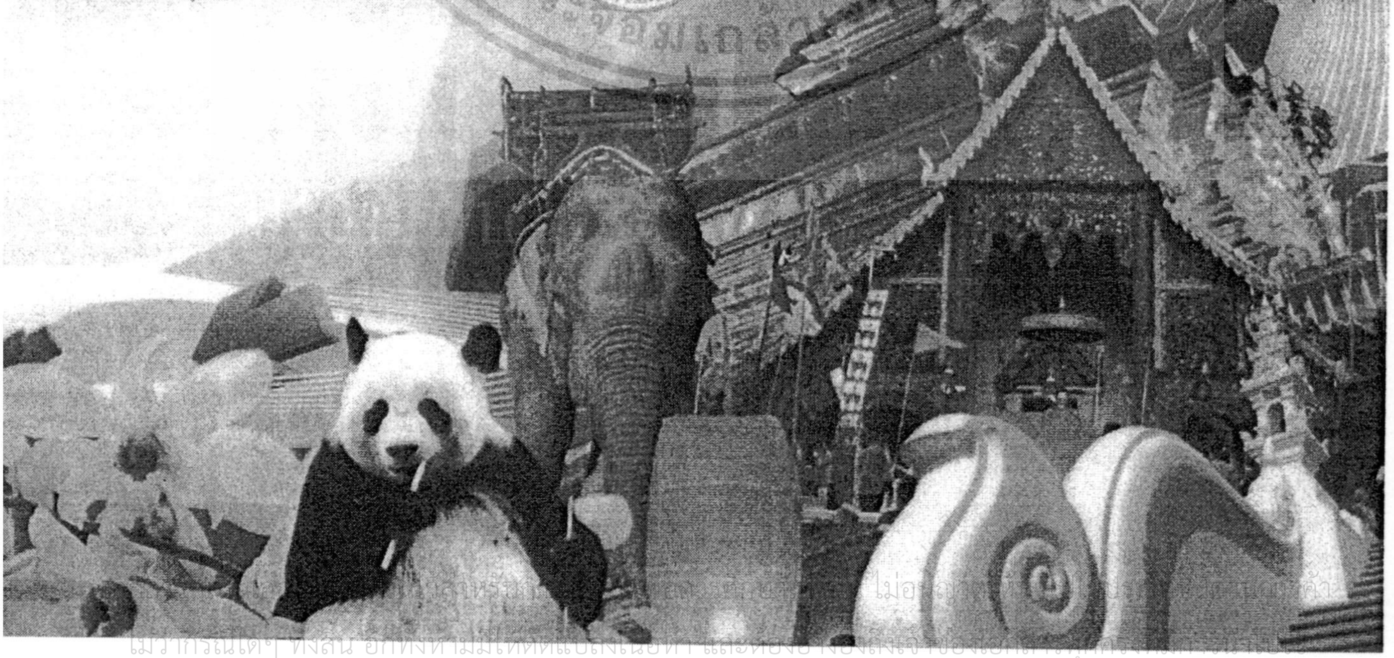
The 2010 ECTI International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology

Empress Convention Centre
Chiang Mai, Thailand
19-21 May 2010

Copyright © 2010 ECTI. All rights reserved.
IEEE Catalog Number: CFP1006E-CDR
ISBN: 978-974-672-491-3

Organized by ...

ECTI Association IEEE THAILAND SECTION



Performance Evaluation Scheme of Ultra Wideband Impulse Radio Transmission

Thawatchai Sereewattanapong[†] and Sathaporn Promwong[††]
[†]School of Information Engineering,
[††]School of Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
E-mail: {x2611316, kpsathap}@kmitl.ac.th

***Abstract*—Ultra wideband transmission waveform is investigated by using extended Friis' transmission formula baseded on experiment data. This paper, we consideration the performance system design on ultra wideband impulse radio (UWB-IR) system for personal area networks. The received signal and isotropic template receivers are considered based on Friis' transmission formula. In this experimental study, the biconical antennas are uesd as the transmitter (Tx) and the receiver (Rx) antennas. The rectangular passband, which is satisfied the full band of UWB signal definition and Federal Communications Commission (FCC) indoor and outdoor limit spectral masks, is used as the transmitted UWB signal. The channels are measured in an anechoic chamber by using a vector network analyzer (VNA). The relative gains of received signal and isotropic template receivers are shown and compared in results.**

***Index Terms*—ultra wideband impulse radio (UWB-IR), Friis' transmission formula, antenna, distortion, relative gain.**

I. Introduction

Ultra wideband (UWB) is wireless technology has become an important topic for microwave communication because of its low cost and low power consumption potentials [1],[2]. The UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. UWB transmits very short pulse and power spectral density (PSD) in the range of ultra wide frequency spectrum instead of using narrow band radio frequency in traditional RF tecnologies. The UWB is a unique and new usage of recently legalized frequency spectrum. The FCC specified that UWB signal has frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz [13], and have a fractional bandwidth equal or greater than 0.20, or occupied bandwidth equal or greater than 500 MHz. The fractional bandwidth defined as

$$B_{\mathrm{f}} = 2\frac{(f_{\mathrm{H}} - f_{\mathrm{L}})}{f_{\mathrm{H}} + f_{\mathrm{L}}} \geq 0.20, \qquad (1)$$

where f_{L} and f_{H} are the lowest and highest frequencies at the -10 dB point, respectively.

The PSD of UWB signal does not exceed the FCC part 15 limits or -41.3 dBm/MHz, so that the PSD of UWB signal is considered as the noise for other radio communication systems. Therefore, the UWB radio technology can coexist with other RF communications without interference. Moreover, the UWB radio technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power, low cost indoor communication systems such as wireless personal area networks (WPANs) [3].

The Friis' transmission formula is widely used to calculate the free space path loss for narrowband communications [4]. After that, the complex form of Friis' transmission formula is developed for UWB communications [5]-[7]. The matched filter receiver is used as the UWB receiver [8]-[10]. Although, the rectangular waveform distorted by UWB free space channel is used to derive the theoretical SNR gains [11], there are no considerations about the measured channel and UWB antennas.

In this paper, we investigated the performance system design and relative gains for UWB-IR system. The received signal and isotropic template receivers satisfied constant noise power condition between input and output are considered. The biconical antennas are used as the transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The rectangular passband, which is satisfied the full band of UWB signal definition and FCC indoor and outdoor limit spectral masks, is used as the transmitted UWB signal [12]. The channels are measured in an anechoic chamber by using a vector network analyzer (VNA). The frequency range of measurement is form 3 GHz to 11 GHz. The path losses are evaluated and investigated for considering the UWB-IR relative gains. The relative gains of received signal and isotropic template waveform are shown and compared. The discussed in the resultes and conclusion. This scheme provides some useful physical insights and optimized design procedure with clear and accessible description of the UWB-IR link budget comprised of practical antennas.

This paper is organized as follows. Section 2, the experimental evaluation scheme of UWB-IR systems. Section 3, to analysis the UWB-IR transmission waveform model. Next, the results and discussion are illustrated in Section 4. Finally, the conclusion discussed in Section 5.

II. Experimental Evaluation Scheme of UWB-IR

A. UWB Signal Waveform Model

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the transmit-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

978-1-4244-5607-9/10/$25.00 ©2010 ECTI

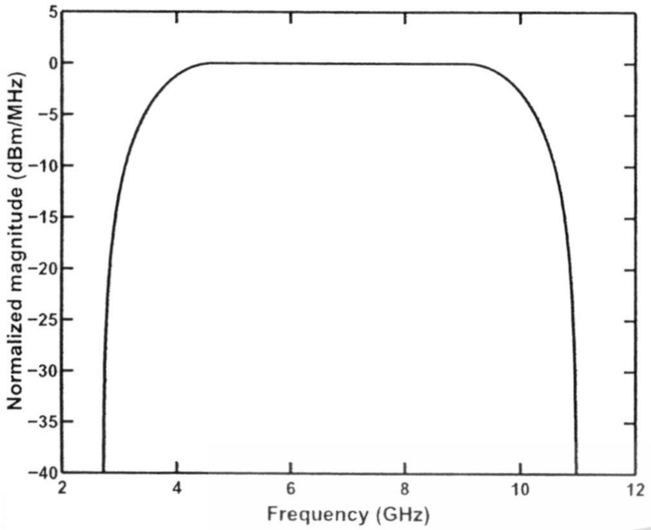


Fig. 1. Normalized spectral density of root raised cosine pass band waveform satisfying FCC spectral mask.

ted waveforms that fully cover the Federal Communications Commission (FCC) frequency band, i.e., 3.1 – 10.6 GHz [13] and common frequency band available among the FCC of USA, European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/Electronic Communications Committee (CEPT/ECC) of Europe and Ministry of Internal Affairs. In this paper, the root raised cosine passband waveforms is used as the transmitted waveform.

The root raised cosine passband waveform is the waveform with root raised cosine spectrum and its spectral density is defined as

$$V_{t,ro}(f) = \begin{cases} 1 & ||f| - f_c| \leq \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A & \frac{(1-\beta)}{2T} < ||f| - f_c| \leq \frac{1+\beta}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

where

$$A = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\ 1 + \cos\left(\frac{\pi T}{\beta}\left[||f| - f_c| - \frac{1-\beta}{2T}\right]\right)\ \right]};$$

$T = 1/f_b$ is the reciprocal of the symbol-rate and f_b is the spectral bandwidth, f_c is the center frequency, $\beta = 0.3$ is the roll-off factor. For satisfying the FCC spectral masks, f_c is set to 6.85 GHz. The spectral bandwidth f_b is set to 6.37 GHz. For satisfying the common frequency band spectral mask, f_c and f_b are set to 7.877 and 0.975 GHz, respectively.

The normalized spectral densities of these waveforms satisfying FCC spectral masks shown in Fig. 1.

B. Measurement System

The UWB channel transfer function is measured in frequency domain by using VNA in an anechoic chamber. The VNA is operated in the response measurement mode, where Port-1 and Port-2 are the Tx and Rx ports, respectively. Both Tx and Rx

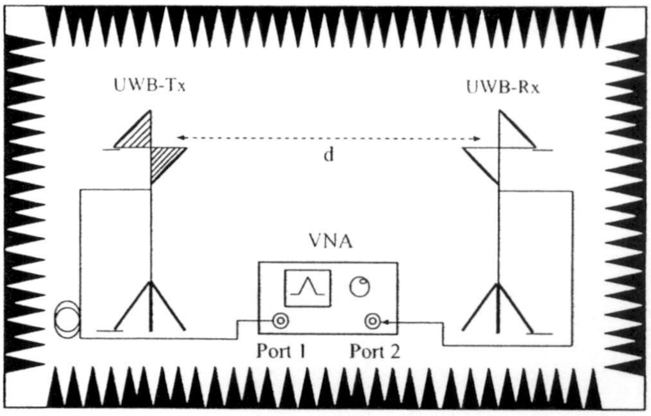


Fig. 2. The measurement setup.

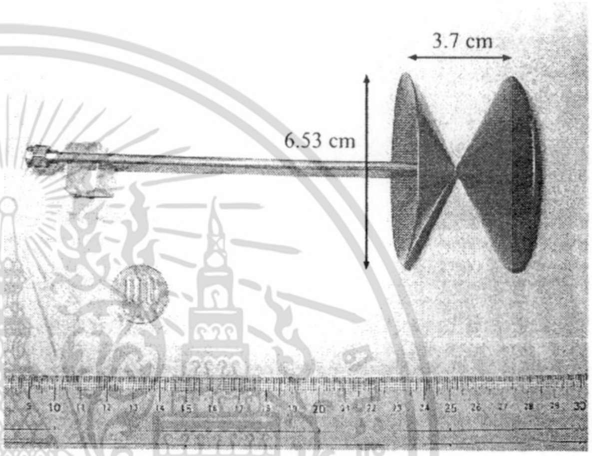


Fig. 3. Geometry and dimensions of the biconical antenna.

antennas are fixed at the height of 1.75 m and separated by 4 m. This measurement setup is shown in Fig. 2.

The biconical antennas are used as the Tx and Rx antennas. These antennas are chosen because they are easy to fabricate and have low distortion property. The geometry and dimensions of the antenna is shown in Fig. 3. The upper cone is connected to the center conductor of a coaxial line while the lower cone is connected to the shield conductor. The maximum diameter is 65.3 mm and the length is 37 mm. Only Rx antenna is

TABLE I
MEASUREMENT PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	1601
Dynamic power range	80 dB
Tx and Rx antennas heights	1.75 m.
Distance between Tx and Rx antennas	4.00 m.
Rx rotation range	0° – 360°
Rx rotation step	5°
Antenna type	Biconical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

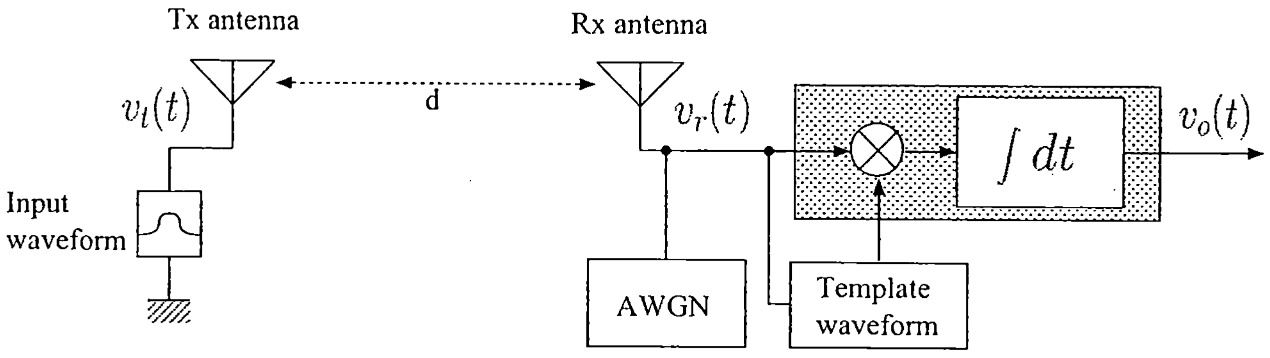


Fig. 4. Block diagram of UWB transmission waveform model.

rotated from 0° to 360 ° with 5° rotation step. The horizontal polarization is measured.

The measurement parameters are listed in Table 1. It is note that the calibration of VNA is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measurement results.

III. UWB-IR Transmission Waveform Model

A. Free Space Transfer Function Waveform Analysis

The UWB-IR system, free space link budget is formulated in the term of frequency transfer function that takes into account the transmitted waveform, its distortion waveform, the channel and the correlation receiver. The free space transfer function $H_f(f, d)$ can be written as

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi f d} e^{-j2\pi f d/c}. \quad (3)$$

where d is the distance and c is the velocity of light.

Free space channel transfer function $H_c(f)$ including the antennas is obtained by using the extension of Friis' transmission formula as

$$H_c(f) = H_f(f, d)\ \mathbf{H}_t(f, \boldsymbol{\Omega}_t) \cdot \mathbf{H}_r(f, \boldsymbol{\Omega}_r), \quad (4)$$

where $\mathbf{H}_a(f, \boldsymbol{\Omega}_a)$ (a = r *or* t) is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna towards the $\boldsymbol{\Omega}_a = (\theta_a, \varphi_a)$ direction, i.e.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a(f, \boldsymbol{\Omega}_a) &= \mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a) \quad (5) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f, \theta_a, \varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f, \theta_a, \varphi_a), \end{aligned}$$

which has the relation as

$$\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} ||\mathbf{H}_a(f, \theta_a, \varphi_a)||^2 \sin\theta d\theta d\varphi = \eta_a, \quad (6)$$

where η_a is the antenna efficiency, so that the value is normalized by that for isotropic antenna. Unit vectors $\hat{\theta}_a$, $\hat{\varphi}_a$ express the polarization and are defined with respect to the local polar coordinates of the antennas. The following relations can be easily derived as

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t, \quad (7)$$

$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \quad (8)$$

B. Correlation Receiver Analysis

The template receiver is used at the receiver side as shown in Fig. 4. The received signal and isotropic template receivers satisfied constant noise power condition between input and output are considered. The optimum template receiver considered received signal from measured channel and it is an ideal case with maximum relative gain, while the isotropic template considered received signal from free space channel using Friis' transmission formula [5]-[7] with isotropic Tx and Rx antennas.

For constant noise power condition between input and output, the frequency transfer functions of received signal and isotropic template receivers, H_{opt} and H_{iso}, are normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{opt}(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} |H_{iso}(f)|^2 df = 2f_b. \quad (9)$$

Therefore, the output noise power is a constant as $N_0 f_b$, where $N_0/2$ is the PSD of additive white Gaussian noise (AWGN).

Under this condition, the frequency transfer functions of optimum and isotropic template can be respectively written as

$$H_{opt}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} V_r^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_r(f)|^2 df}}, \quad (10)$$

$$H_{iso}(f) = \frac{\sqrt{2f_b} V_{r-iso}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |V_{r-iso}(f)|^2 df}}, \quad (11)$$

where * is the complex conjugate operator, V_r and V_{r-iso} are the spectral densities of received signals from measured channel and free space channel with isotropic Tx and Rx antennas, respectively. They can be evaluated from

$$V_r(f) = H_c(f) V_t(f), \quad (12)$$

$$V_{r-iso}(f) = H_f(f) V_t(f), \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where V_t is the spectral density of transmitted signal calculated from

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) e^{-j2\pi f t} dt, \quad (14)$$

$H_c(f)$ is the frequency transfer function of measured channel measured from Sec. 3.1 and $H_f(f)$ is the frequency transfer function of free space channel. where d is the distance and c is the velocity of light.

C. Relative Gain Analysis

The relative gain in this paper is defined as the peak amplitude of the correlator output with the considered antennas normalized by that with the isotropic antennas. Due to the normalization of template waveforms, this gain value represents the gain of signal-to-noise ratio. Therefore, the relative gain of the received signal template case G_{wm} can be written as

$$G_{opt} = \frac{\max |\int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{opt}(t-\tau) dt|}{\max |\int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-}iso}(t) h_{iso}(t-\tau) dt|}. \quad (15)$$

Similarly, the relative gain of the isotropic template case G_{wc} can be written as

$$G_{iso} = \frac{\max |\int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{iso}(t-\tau) dt|}{\max |\int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-}iso}(t) h_{iso}(t-\tau) dt|}. \quad (16)$$

The difference between the relative gain of the received signal and the isotropic template cases indicates the distortion quantity of the waveform. Different from the original Friis' transmission formula, the optimum relative gain of UWB signal can not be simply expressed by the product of antenna indices.

IV. Results and Discussion

In this section, the evaluation results of relative gain are shown. First, the path losses based on average power losses of received signal and output signals of received signal and isotropic template receivers are considered.

Figure 5 shows the path losses of received signal and output signals of optimum and isotropic template waveform along pointing angle from 0° to 360°. The path losses at 0°, 180° and 360° pointing angles are low because they correspond to the broadside direction of biconical antenna and they are high at 90° and 270° pointing angles. The path losses of output signals of both template receivers are lower than that of received signal. This improvement is considered in the term of UWB-IR relative gain.

The relative gains of received signal and isotropic template receivers along pointing angle from 0° to 360° are shown in Fig. 6. The relative gain of received signal and isotropic template receivers are small difference. Therefore, the UWB-IR relative gain of received signal template receiver is better that that of isotropic template about 0.43 dB. Considering this, the bit error rate performance of the received signal and isotropic template shown in Fig.7. It can be seen that the different is low. As described above, by this scheme, it becomes possible to detect several types of UWB signals.

V. Conclusion

In this paper, we investigated the performance system design model for UWB transmission waveform by using extended Friis' transmission formula. The received signal and isotropic template receivers are evaluated. The biconical antennas are used as the Tx and Rx antennas. From the results, the relative gains of the received signal and isotropic template receivers are every small difference it's low, that is only 0.43 dB. That because the channel is measured in the anechoic chamber, which can assume to be free space channel, and the biconical antennas have low distortion characteristics. Furthermore, these distortion quantities can be used as reference for performance evaluation of UWB-IR antennas. In the future works, we will evaluate the UWB propagation channel in an indoor environment and other UWB antennas are consider.

References

[1] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.

[2] K. Siwiak, "Impact of ultra wide band transmissions on a generic receiver," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.

[3] J. Farserotu, A. Hutter, F. Platbrood, J. Gerrits and A. Pollini, "UWB Transmission and MIMO Antenna Systems for Nomadic User and Mobile PAN," *Wireless Personal Communications*, no. 22, pp. 197-317. 2002.

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

[5] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for UWB Systems," *Technical Report of IEICE*, WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.

[6] S. Promwong, W. Hachitani and J. Takada, "Experimental Evaloation Scheme of UWB Antenna Performance," *Technical Meeting on Instrument and Measurement*, IEE Japan, IM-03-35, June 2003.

[7] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Experimental Study of Ultra-Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," *The Third International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT) 2003*, vol. 1, pp. 467-470, Sept. 2003.

[8] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System," *2004 International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP)*, pp. 97-100, Aug. 2004.

[9] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain of Free Space and Ground Reflection Channels for UWB Radio Systems," *IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering*, pp. 125-128, Nov. 2004.

[10] F. Tufvesson and A. F. Molisch, "Ultra-Wideband Communication Using Hybrid Matched Filter Correlation Receivers," *2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 3, pp. 1290-1294, May 2004.

[11] P. Supanakoon, K. Teplee, S. Promwong, S. Keawmechai and J. Takada, "Theoretical SNR Gain and BER Performances of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers," *The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006)*, no. 3, pp. 269-272, July 2006.

[12] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," *The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005)*, pp. 626-629, May 2005.

[13] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.

[14] W. Hirt and M. Weisenhorn, "Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory framework," in Proc. The 2006 IEEE Int. Conf. on Ultra-Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

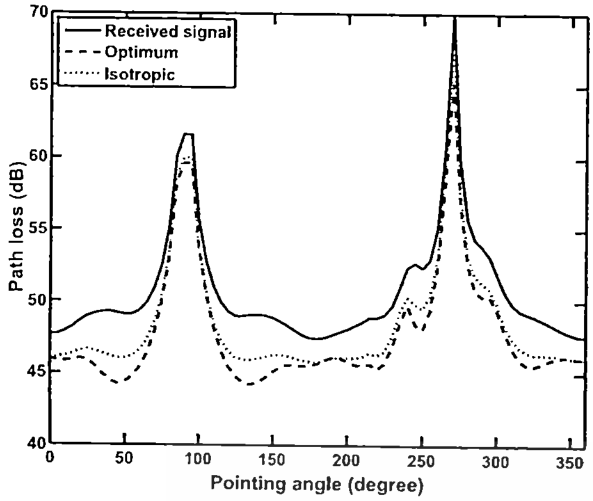


Fig. 5. Path loss of received signal and output signals of optimum and isotropic template waveform along pointing angle from 0° to 360°.

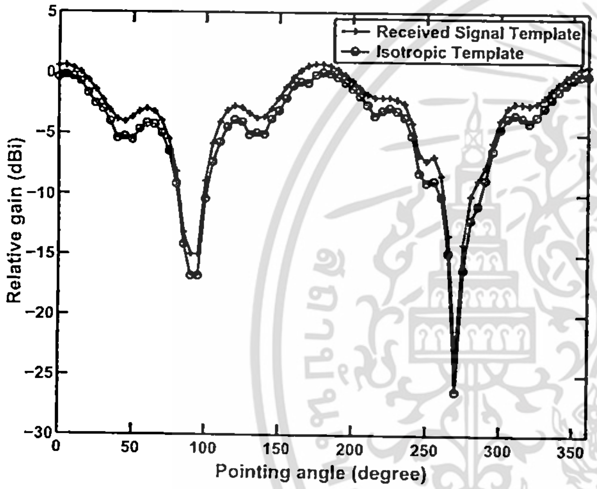


Fig. 6. UWB-IR relative gains of received signal and isotropic template waveform along pointing angle from 0° to 360°.

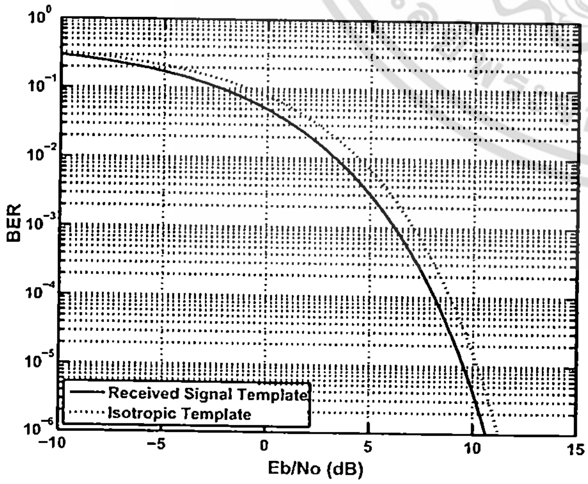
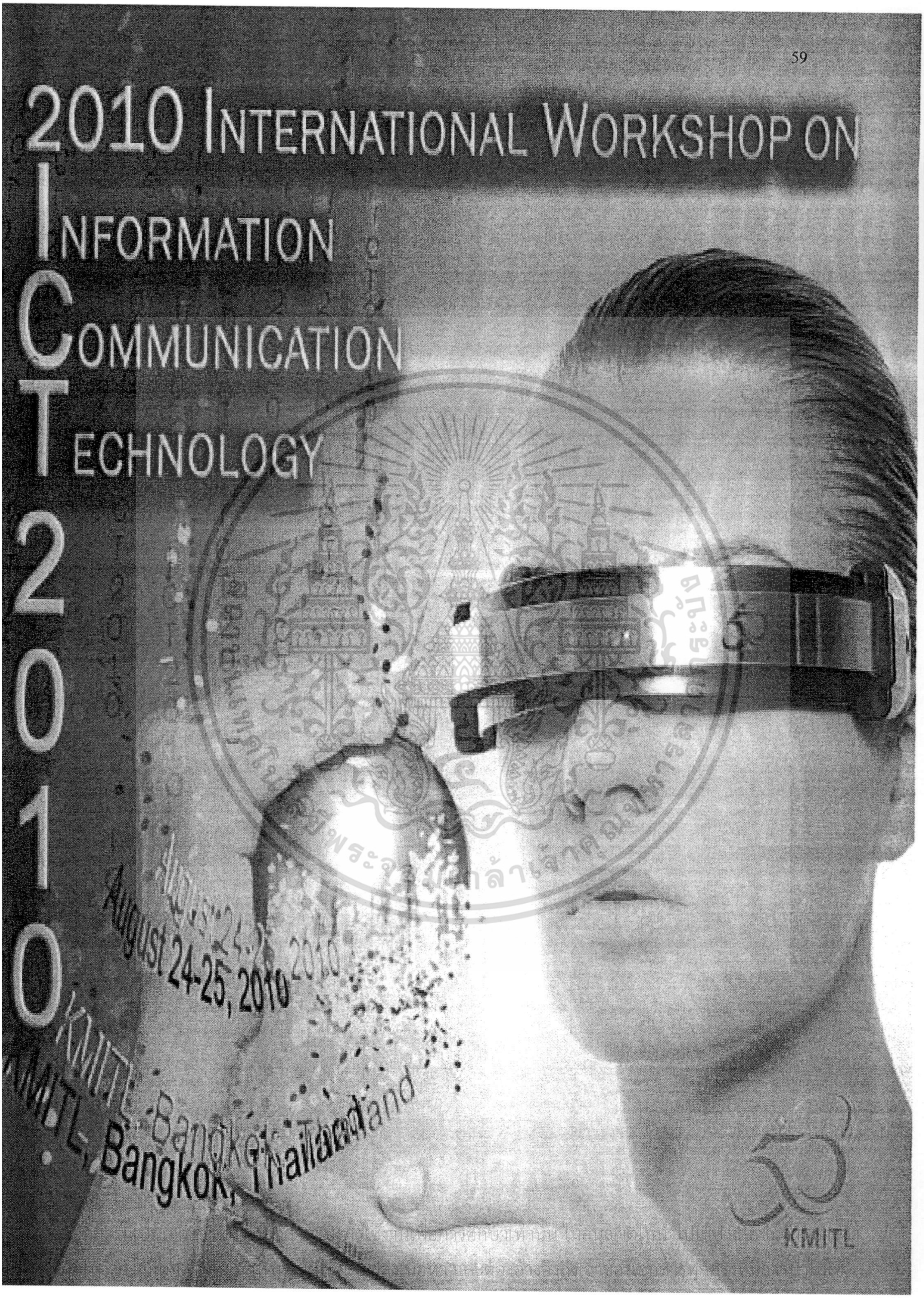


Fig. 7. Bit error rate of the received signal and isotropic template waveform.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2010 INTERNATIONAL WORKSHOP ON
INFORMATION
COMMUNICATION
TECHNOLOGY
ICT 2010
August 24-25, 2010
KMITL, Bangkok, Thailand
KMITL

WiMedia UWB Transmission in an Office Environments

Thawatchai Sereewattanapong† and Sathaporn Promwong††
†Department of Information Engineering,
††Department of Telecommunication Engineering,
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
E-mail: {s2611316, kpsathap}@kmitl.ac.th

Abstract—**The ultra wirband impulse radio (UWB-IR) is expected to applied to wireless personal area network (WPAN) and the ranging in the home network and the office. The shadowing effect of LOS path due to human body has the big effect in the indoor environment. Ultra wideband (UWB) transmission waveform is investigated by using extended Friis' transmission formula baseded on measurement data. This paper, we conderation the performance system design on UWB-IR system for WiMedia UWB area networks. The received signal and isotropic template receivers are considered based on Friis transmission formula. In this experimental study, the biconical antennas are uesd as the transmitter (Tx) and the receiver (Rx) antennas. The rectangular passband, which is satisfied the full band of UWB signal definition and Federal Communications Commission (FCC) indoor and outdoor limit spectral masks, is used as the transmitted UWB signal. The channels are measured in an indoor environment by using a vector network analyzer (VNA). The relative gains of received signal and isotropic template receivers are shown and compared in results.**

Index Terms—**UWB, impulse radio, Friis' transmission formula, waveform distortion, indoor measurement**

I. Introduction

Ultra wideband (UWB) is wireless technology has become an important topic for microwave communication because of its low cost and low power consumption potentials [1],[2]. The UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. UWB transmits very short pulse and power spectral density (PSD) in the range of ultra wide frequency spectrum instead of using narrow band radio frequency in traditional RF tecnologies. The UWB is a unique and new usage of recently legalized frequency spectrum. The FCC specified that UWB signal has frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz [3], and have a fractional bandwidth equal or greater than 0.20, or occupied bandwidth equal or greater than 500 MHz. The fractional bandwidth defined as

$$B_f = 2\frac{(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \geq 0.20, \quad (1)$$

where f_L and f_H are the lowest and highest frequencies at the -10 dB point, respectively.

The PSD of UWB signal does not exceed the FCC part 15 limits or -41.3 dBm/MHz, so that the PSD of UWB signal is considered as the noise for other radio communication systems. Therefore, the UWB radio technology can coexist with other RF communications without interference. Moreover, the UWB radio technology is an ideal candidate that can be utilized for commercial, short-range, low power, low cost indoor communication systems such as wireless personal area networks (WPANs) [4].

The Friis' transmission formula is widely used to calculate the free space path loss for narrowband communications [5]. After that, the complex form of Friis' transmission formula is developed for UWB communications [6]-[8]. The matched filter receiver is used as the UWB receiver [9]-[11]. Although, the rectangular waveform distorted by UWB free space channel is used to derive the theoretical SNR gains [12], there are no considerations about the measured channel and UWB antennas.

In this paper, we evaluated the performance system design and transmission gain for UWB-IR system. The received signal and isotropic template receivers satisfied constant noise power condition between input and output are considered. The biconical antennas are used as the transmitter (Tx) and receiver (Rx) antennas. The rectangular passband, which is satisfied the full band of UWB signal definition and FCC indoor and outdoor limit spectral masks, is used as the transmitted UWB signal [13]. The channels are measured in an anechoic chamber by using a vector network analyzer (VNA). The frequency range of measurement is form 3 GHz to 11 GHz. The path losses are evaluated and investigated for considering the UWB-IR relative gains. The relative gains of received signal and isotropic template receivers are shown and compared. The discussed in the resultes and conclusion. This scheme provides some useful physical insights and optimized design procedure with clear and accessible description of the UWB-IR link budget comprised of practical antennas. Furthermore, these distortion quantities can be used as reference for performance evaluation of UWB-IR antennas.

II. UWB Transmission Waveform Model

A. Free Space Transmission Analysis

The UWB-IR system, free space link budget is formulated in the term of frequency transfer function that takes into account the transmitted waveform, its distortion due to the antennas, the channel and the correlation receiver. The free space transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

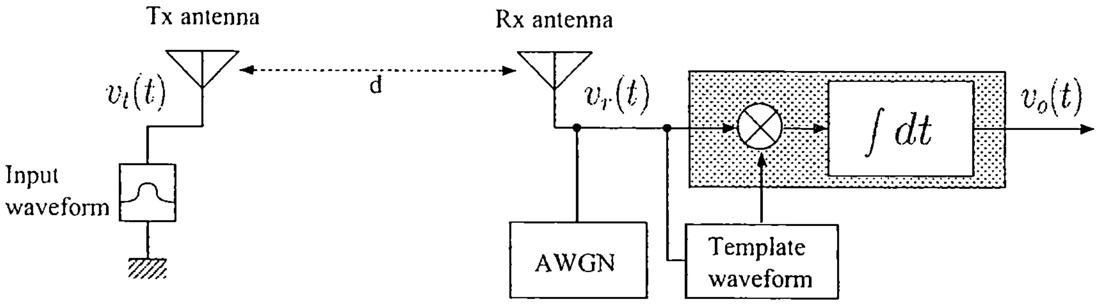


Fig. 1. Block diagram of transmission waveform model for UWB system.

function $H_f(f,d)$ can be written as

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

Free space channel transfer function $H_c(f)$ including the antennas is obtained by using the extension of Friis' transmission formula as

$$H_c(f) = H_f(f,d)\ \mathrm{H}_t(f,\Omega_t) \cdot \mathrm{H}_r(f,\Omega_r), \qquad (3)$$

where $\mathrm{H}_a(f,\Omega_a)$ (a = r or t) is a complex transfer function vector of the antenna relative to the isotropic antenna towards the $\Omega_a = (\theta_a, \varphi_a)$ direction, i.e.

$$\begin{aligned} \mathrm{H}_a(f,\Omega_a) &= \mathrm{H}_a(f,\theta_a,\varphi_a) \qquad (4)\\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(f,\theta_a,\varphi_a) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(f,\theta_a,\varphi_a), \end{aligned}$$

which has the relation as

$$\frac{1}{4\pi}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} ||\mathrm{H}_a(f,\theta_a,\varphi_a)||^2 \sin\theta d\theta d\varphi = \eta_a, \qquad (5)$$

where η_a is the antenna efficiency, so that the value is normalized by that for isotropic antenna. Unit vectors $\hat{\theta}_a$, $\hat{\varphi}_a$ express the polarization and are defined with respect to the local polar coordinates of the antennas. The following relations can be easily derived as

$$\hat{\theta}_r = \hat{\theta}_t, \qquad (6)$$
$$\hat{\varphi}_r = -\hat{\varphi}_t. \qquad (7)$$

B. UWB Correlation Receiver Analysis

The template receiver is used at the receiver side as shown in Fig. 4. The received signal and isotropic template receivers satisfied constant noise power condition between input and output are considered. The optimum template receiver considered received signal from measured channel and it is an ideal case with maximum relative gain, while the isotropic template considered received signal from free space channel using Friis' transmission formula [6]-[8] with isotropic Tx and Rx antennas.

For constant noise power condition between input and output, the frequency transfer functions of received signal and isotropic template receivers, $H_{\rm opt}$ and $H_{\rm iso}$, are normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_{\rm opt}(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} |H_{\rm iso}(f)|^2 df = 2f_b. \qquad (8)$$

Therefore, the output noise power is a constant as $N_0 f_b$, where $N_0/2$ is the PSD of additive white Gaussian noise (AWGN).

Under this condition, the frequency transfer functions of optimum and isotropic template can be respectively written as

$$H_{\rm opt}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}V_r^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_r(f)|^2 df}}, \qquad (9)$$

$$H_{\rm iso}(f) = \frac{\sqrt{2f_b}V_{r-\rm iso}^*(f)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}|V_{r-\rm iso}(f)|^2 df}}, \qquad (10)$$

where * is the complex conjugate operator, V_r and $V_{r-\rm iso}$ are the spectral densities of received signals from measured channel and free space channel with isotropic Tx and Rx antennas, respectively. They can be evaluated from

$$V_r(f) = H_c(f)V_t(f), \qquad (11)$$
$$V_{r-\rm iso}(f) = H_f(f)V_t(f), \qquad (12)$$

where V_t is the spectral density of transmitted signal calculated from

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) e^{-j2\pi f t} dt. \qquad (13)$$

H_c is the frequency transfer function of measured channel measured from Sec. 3.1 and H_f is the frequency transfer function of free space channel given by

$$H_f(f) = \frac{c}{4\pi d|f|} e^{-j2\pi f d/c}. \qquad (14)$$

where d is the distance and c is the velocity of light.

C. UWB Transmission Gain Analysis

The relative gain in this paper is defined as the peak amplitude of the correlator output with the considered antennas normalized by that with the isotropic antennas. Due to the normalization of template waveforms, this gain value represents the gain of signal-to-noise ratio. Therefore, the transmission gain of the received signal template case $G_{\rm wm}$ can be written as

$$G_{\rm wm} = \frac{\max|\int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{\rm wm}(t-\tau)dt|}{\max|\int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-iso}}(t) h_{\rm wc}(t-\tau)dt|}. \qquad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Similarly, the transmission gain of the isotropic template case G_{wc} can be written as

$$G_{wc} = \frac{\max | \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wc}(t-\tau) dt |}{\max | \int_{-\infty}^{\infty} v_{r\text{-iso}}(t) h_{wc}(t-\tau) dt |}. \quad (16)$$

The difference between the transmission gain of the received signal and the isotropic template cases indicates the distortion quantity of the waveform. Different from the original Friis' transmission formula, the optimum transmission gain of UWB signal can not be simply expressed by the product of antenna indices.

III. Experimental Evaluation Scheme of UWB-IR

A. UWB Transmission Signal Model

The effect of the waveform distortion is more obvious when the bandwidth is wider. We considered the transmitted waveforms that fully cover the Federal Communications Commission (FCC) frequency band, i.e., 3.1 – 10.6 GHz [3]. In this paper, the root raised cosine passband waveforms is used as the transmitted waveform.

The root raised cosine passband waveform is the waveform with root raised cosine spectrum and its spectral density is defined as

$$V_{t.ro}(f) = \begin{cases} 1 & ||f| - f_c| \le \frac{(1-\beta)}{2T} \\ A & \frac{(1-\beta)}{2T} < ||f| - f_c| \le \frac{1+\beta}{2T} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} . \quad (17)$$

where

$$A = \sqrt{\frac{1}{2}\left[1 + \cos\left(\frac{\pi T}{\beta}\left[||f| - f_c| - \frac{1-\beta}{2T}\right]\right) \right]},$$

$T = 1/f_b$ is the reciprocal of the symbol-rate and f_b is the spectral bandwidth, f_c is the center frequency, $\beta = 0.3$ is the roll-off factor. For satisfying the FCC spectral masks, f_c is set to 6.85 GHz. The spectral bandwidth f_b is set to 6.37 GHz. For satisfying the common frequency band spectral mask, f_c and f_b are set to 7.877 and 0.975 GHz, respectively.

The normalized spectral densities of these waveforms satisfying FCC spectral masks shown in Fig. 1.

B. Measurement System

The UWB channel transfer function is measured in frequency domain by using VNA in an anechoic chamber. The VNA is operated in the response measurement mode, where Port-1 and Port-2 are the Tx and Rx ports, respectively. Both Tx and Rx antennas are fixed at the height of 1.75 m and separated by 4 m. This measurement setup is shown in Fig. 3.

The biconical antennas are used as the Tx and Rx antennas. These antennas are chosen because they are easy to fabricate and have low distortion property. The geometry and dimensions of the antenna is shown in Fig. 4. The upper cone is connected to the center conductor of a coaxial line while the lower cone is connected to the shield conductor. The maximum diameter is 65.3 mm and the length is 37 mm. Only Rx antenna is

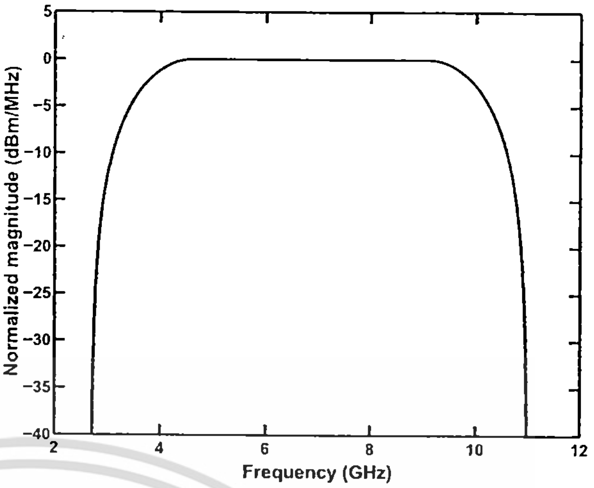


Fig. 2. Normalized spectral density of root raised cosine pass band waveform satisfying FCC spectral mask.

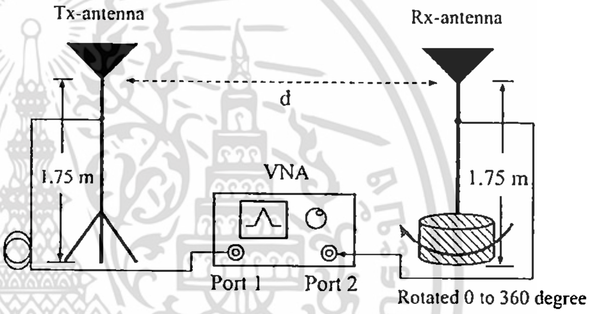


Fig. 3. The measurement setup.

rotated from 0° to 360 ° with 5° rotation step. The horizontal polarization is measured.

The measurement parameters are listed in Table 1. It is note that the calibration of VNA is done at the connectors of the cables to be connected to the antennas. Therefore, all impairments of the antenna characteristics are included in the measurement results.

TABLE I
MEASUREMENT PARAMETERS.

Parameter	Value
Frequency range	3 GHz to 11 GHz
Number of frequency points	1601
Dynamic power range	80 dB
Tx and Rx antennas heights	1.75 m.
Distance between Tx and Rx antennas	4.00 m.
Rx rotation range	0° – 360°
Rx rotation step	5°
Polarization	horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

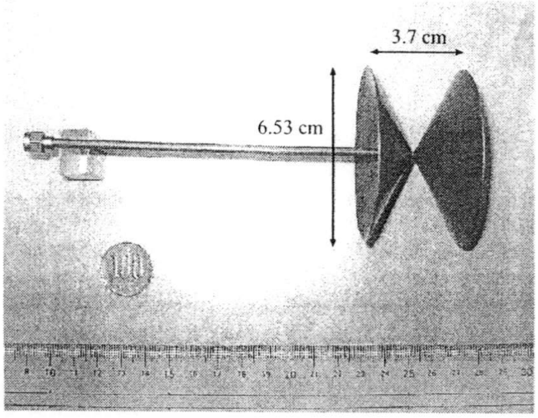


Fig. 4. Geometry and dimensions of the biconical antenna.

IV. Results and Discussion

In this section, the evaluation results of relative gain are shown. First, the path losses based on average power losses of received signal and output signals of received signal and isotropic template receivers are considered.

Figure 5 shows the path losses of received signal and output signals of optimum and isotropic template receivers along pointing angle from 0° to 360°. The path losses at 0°, 180° and 360° pointing angles are low because they correspond to the broadside direction of biconical antenna and they are high at 90° and 270° pointing angles. The path losses of output signals of both template receivers are lower than that of received signal. This improvement is considered in the term of UWB transmission gain.

The UWB transmission gain of received signal and isotropic template receivers along pointing angle from 0° to 360° are shown in Fig. 6. The relative gain of received signal and isotropic template receivers are small difference. Therefore, the UWB transmission gain of received signal template receiver is better that that of isotropic template about 0.43 dB. Considering this, the bit error rate performance of the received signal and isotropic template shown in Fig. 7. It can be seen that the different is low. As described above, by this scheme, it becomes possible to detect several types of UWB signals.

From these results, the UWB transmission gain, using both the received signal and the isotropic template waveforms, gives us the quantitative measurement of the link budget. Since we have chosen the broadband antennas, the trend of the narrow-band gain is reflected in the UWB transmission gain. Another issue is the distortion of the waveform. The difference between the optimum and the isotropic templates is the measurement of the waveform distortion. It is obvious that the type of waveform in same frequency band has little distortion difference.

V. Conclusion

In this paper, we evalated the performance system design model for UWB transmission waveform by using extended Friis transmission formula. The received signal and isotropic template receivers are evaluated. The biconical antennas are used as the Tx and Rx antennas. From the results, the relative gains of the received signal and isotropic template receivers are every small difference it's low, that is only 0.43 dB. That because the channel is measured in the anechoic chamber, which can assume to be free space channel, and the biconical antennas have low distortion characteristics. Furthermore, these distortion quantities can be used as reference for performance evaluation of UWB-IR antennas. In the future works, we will evaluate the UWB propagation channel in an indoor environment and other UWB antennas are consider.

References

[1] K. Siwiak, "Ultra-Wide Band Radio: Introducing a New Technology," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001.

[2] K. Siwiak, "Impact of ultra wide band transmissions on a generic receiver," *2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 2, pp. 1181-1183, May 2001.

[3] Federal Communications Commission, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," First Report, FCC 02-48, Apr. 2002.

[4] J. Farserotu, A. Hutter, F. Platbrood, J. Gerrits and A. Pollini, "UWB Transmission and MIMO Antenna Systems for Nomadic User and Mobile PAN," *Wireless Personal Communications*, no. 22, pp. 197-317, 2002.

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

[6] J. Takada, S. Promwong and W. Hachitani, "Extension of Friis' Transmission Formula for UWB Systems," *Technical Report of IEICE*, WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.

[7] S. Promwong, W. Hachitani and J. Takada, "Experimental Evaloation Scheme of UWB Antenna Performance," *Technical Meeting on Instrument and Measurement*, IEE Japan, IM-03-35, June 2003.

[8] S. Promwong, W. Hachitani, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Experimental Study of Ultra-Wideband Transmission Based on Friis' Transmission Formula," *The Third International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT) 2003*, vol. 1, pp. 467-470, Sept. 2003.

[9] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain for UWB System," *2004 International Symposium on Antenna and Propagation (ISAP)*, pp. 97-100, Aug. 2004.

[10] S. Promwong, J. Takada, P. Supanakoon and P. Tangtisanon, "Path Loss and Matched Filter Gain of Free Space and Ground Reflection Channels for UWB Radio Systems," *IEEE TENCON 2004 on Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering*, pp. 125-128, Nov. 2004.

[11] F. Tufvesson and A. F. Molisch, "Ultra-Wideband Communication Using Hybrid Matched Filter Correlation Receivers," *2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference (VTC)*, vol. 3, pp. 1290-1294, May 2004.

[12] P. Supanakoon, K. Teplee, S. Promwong, S. Keawmechai and J. Takada, "Theoretical SNR Gain and BER Performances of UWB Communications with Matched Filter and Correlation Receivers," *The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2006)*, no. 3, pp. 269-272, July 2006.

[13] P. Supanakoon, K. Wansiang, S. Promwong and J. Takada, "Simple Waveform for UWB Communication," *The 2005 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology International Conference (ECTI-CON 2005)*, pp. 626-629, May 2005.

[14] W. Hirt and M. Weisenhorn, "Overview and implications of the emerging global UWB radio regulatory framework," in Proc. The 2006 IEEE Int. Conf. on Ultra-Wideband, pp. 581-586, Sept. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

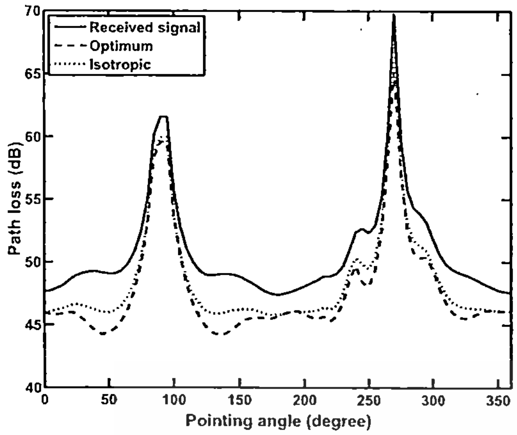


Fig. 5. Path loss of received signales and output signals of optimum and isotropic template receivers along pointing angle from 0° to 360°.

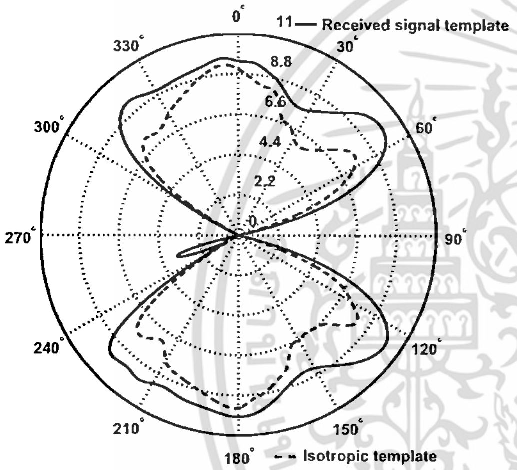


Fig. 6. UWB-IR transmission gain of received signal and isotropic template receivers along pointing angle from 0° to 360°.

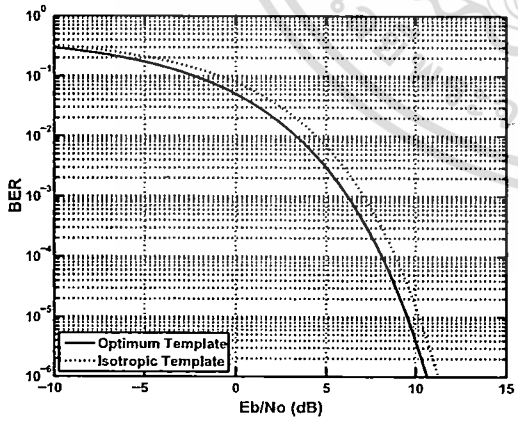


Fig. 7. Bit error rate of the received signal and isotropic template.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธวัชชัย เสรีวัฒนพงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	20 มิถุนายน 2530
ที่อยู่	71 จรัญสนิทวงศ์40/1 แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด จ.กรุงเทพฯ 10700
ประวัติการศึกษา	
2551	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้