

การศึกษารูปแบบและวิเคราะห์เครื่องรับสัญญาณแม่แบบสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

A STUDY ON DESIGN AND ANALYSIS OF TEMPLATE RECEIVER FOR
ULTRA-WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEM

สนธิ เตียวจิม
SANIT TEAWCHIM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ท.ศ. 2551

KMITL-2008-EX-M-230-165

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาออกแบบและวิเคราะห์เครื่องรับสัญญาณแม่แบบสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แถบกว้างยิ่ง

**A STUDY ON DESIGN AND ANALYSIS OF TEMPLATE RECEIVER FOR
ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEM**



สนิท เตียวฉิม

SANIT TEAWCHIM

เลขหมู่.....**95042**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**20 พ.ค. 2552**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-230-165

**A STUDY ON DESIGN AND ANALYSIS OF TEMPLATE RECEIVER FOR
ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO SYSTEM**

SANIT TEAWCHIM

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

2006

KMITL-2008-EN-M-230-165

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาออกแบบและวิเคราะห์เครื่องรับสัญญาณแม่แบบสำหรับระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายสนธิ เตียวฉิม
รหัสนักศึกษา	49061060
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งเป็นระบบเป็นระบบการสื่อสารที่ส่งสัญญาณเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งเมื่อผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารจะเกิดสัญญาณรบกวนและเกิดการจางหายหรือจากปัจจัยอื่นๆ ทำให้รูปคลื่นสัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนและแอมพลิจูดลดลง ซึ่งอาจทำให้ระบบอาจเกิดการตีเทคสัญญาณผิดพลาดได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคิดวิธีการที่จะช่วยเพิ่มค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของสัญญาณที่รับได้ เพื่อที่สามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง นั่นคือที่มาของการสร้างแบบแผนเครื่องรับสัญญาณแม่แบบดั้งเดิม ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์เครื่องรับที่เป็นสัญญาณแม่แบบให้ดีและมีประสิทธิภาพที่สุดสำหรับการสื่อสารคลื่นวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง โดยลักษณะการทำงานของเครื่องรับจะเป็นการใช้สัญญาณที่รับได้นำไปใช้เป็นสัญญาณแม่แบบเพื่อนำไปใช้ในการสหสัมพันธ์กับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของสัญญาณที่รับได้ทำให้ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับรูปคลื่น โดยใช้สัญญาณส่งรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณแถบกว้างยิ่งของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา หรือเรียกว่าเอฟซีซี และสัญญาณแม่แบบที่นำมาใช้ในการสหสัมพันธ์ โดยเป็นการประมวลผลในช่องสัญญาณการวัดจริง เพื่อหารูปคลื่นสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับระบบการสื่อสารนี้ และศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับได้ทำการออกแบบ ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้จะดูจากค่าอัตราความผิดพลาดบิตของแต่ละสัญญาณที่ใช้รูปคลื่นแบบต่างๆ ซึ่งจากการทำงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานและออกแบบระบบวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง

Thesis Title	A Study on Design and Analysis of Template Receiver for Ultra Wideband Impulse Radio System
Student	Mr. Sanit Teawchim
Student ID.	49061060
Degree	Master of Engineering
Programme	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Mr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

Ultra wide band radio (UWB) communication is the communication which the pulse is transmission. When the signal is sent through the channel, the noise and fading signals may be occurred, or other factors may make the distortion signal or attenuation the amplitude which will cause the incorrect signal detection. Thus, this thesis proposes to design and analyze the most effective prototype receiver for the impulse ultra wide band radio communication. The performance of the prototype will be used with the correlation with the received signal which increased the ratio of signal to noise of the receive signal which helped to increase the signal amplitude. Besides, this thesis also analyzed the wave by sending the rectangular waveform and Gaussian modulation waveform which followed the definition of Ultra wide band of Federal Communication Commission (FCC). In this thesis experiment in two channels is simulation channel and channel measurement for comparison the performance, that we can get this data for design UWB receiver

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์นี้จาก อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ในกลุ่มงานวิจัยที่ให้คำแนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ รวมทั้งคอยสั่งสอนให้มีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้ชีวิตและคอยดูแลให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ในการทำงานมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยมาถึงอยู่ถึงจุดนี้ได้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำต่างๆ ในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโท เพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาในห้องแล็บทุกคนที่ช่วยเหลือในการทดลองและให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอบพระคุณให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สนธิ เตียวฉิม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน	4
1.6 ขอบเขตการศึกษา	5
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา	5
บทที่ 2 ระบบการสื่อสาร UWB	6
2.1 บทนำ	6
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง	6
2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	7
2.3.1 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง	9
2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	10
2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา	11
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในยุโรป	12
2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน	13
2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์	14
2.5.2 การระบบตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง	14
2.5.3 ระบบเรดาห์	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 บทสรุป	15
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของระบบแถบกว้างยิ่ง	16
3.1 บทนำ	16
3.2 สัญญาณส่ง UWB	16
3.2.1 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต	17
3.2.2 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	17
3.3 ช่องสัญญาณ UWB	18
3.3.1 ช่องสัญญาณอวกาศว่าง	18
3.3.2 สมการการส่งผ่านคลื่นของฟรีส (Friis Transmission Equation)	19
3.3.3 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรของฟรีส	19
3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	21
3.4.1 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์เซียน	22
3.4.2 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์	23
3.4.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์	23
3.4.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์	23
3.4.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์	24
3.4.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์	24
3.4.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์	24
3.4.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์	24
3.4.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์	25
3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	25
3.6 ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR	26
3.7 ประสิทธิภาพ BER	26
3.8 บทสรุป	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณแม่แบบ	28
4.1 บทนำ	28
4.2 สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง	28
4.2.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม	29
4.2.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต	29

สารบัญ (ต่อ)

4.2.3	สัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบ.....	31
4.3	สัญญาณแม่แบบสัญญาณเกาส์อนุพันธ์ต่างๆ.....	34
4.3.1	สัญญาณรูปคลื่นฟังก์ชันเกาส์.....	35
4.3.2	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	35
4.3.3	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	36
4.3.4	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	36
4.3.5	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	37
4.3.6	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	37
4.3.7	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	38
4.3.8	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	38
4.3.9	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์.....	39
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1	สรุปผลของประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR.....	46
5.2	สรุปผลของประสิทธิภาพ BER.....	47
5.3	ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	50
ประวัติผู้เขียน	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	8
2.2 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
4.1 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ช่องสัญญาณในอวกาศว่าง	42
4.2 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ช่องสัญญาณวัดจริง	43
4.3 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ช่องสัญญาณในอวกาศว่าง	44
4.4 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ช่องสัญญาณวัดจริง	45
5.1 ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ของเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบในกรณีที่ดีที่สุดของแต่ละรูปคลื่นที่ $BER = 10^{-3}$	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	เครื่องรับแบบสร้างสัญญาณแม่แบบที่ใช้กันมาแบบดั้งเดิม 1
2.1	ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ 7
2.2	ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียภายในบ้าน 8
2.3	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร 9
2.4	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร 10
4.1	บล็อกไดอะแกรมสำหรับการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง 25
4.2	รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร 26
4.3	รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 27
4.4	รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร และผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง 28
4.5	รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง 29
4.6	รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง 30
4.7	รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง 30
4.8	รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง 31
4.9	สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา 32
4.10	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา 32
4.11	สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา 33

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	33
4.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	34
4.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	34
4.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	35
4.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	35
4.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา	36
4.20 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ ถูกมอดูเลตเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง.....	39
4.20 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ผ่านการสับสนพันธ์จากสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ ถูกมอดูเลตเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง.....	40
4.19 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ ถูกมอดูเลตเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง.....	40
4.20 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ผ่านการสับสนพันธ์จากสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ ถูกมอดูเลตเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง.....	41
4.21 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง	41
4.22 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง	42
4.23 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง	43
4.24 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตาม สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง	44

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์ (Additive White Gaussian Noise)	AWGN
อัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate)	BER
การมอดูเลตแบบสองเฟส (Bi-Phase Modulation)	BPM
กระแสตรง (Direct Current)	DC
คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
การเข้ารหัสเปิดปิด (On-Off Keying)	OOK
การมอดูเลตแบบขั้วตั้งฉาก (Orthogonal Pulse Modulation)	OPM
การมอดูเลตขนาดพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation)	PAM
การมอดูเลตแบบเลื่อนตำแหน่ง (Pulse Position Modulation)	PPM
ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (Power Spectral Density)	PSD
ความถี่วิทยุ (Radio Frequency)	RF
อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio)	SNR
แถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband)	UWB
เครือข่ายพื้นที่ร่างกายไร้สาย (Wireless Body Area Network)	WBAN
เครือข่ายพื้นที่เฉพาะแห่งไร้สาย (Wireless Local Area Network)	WLAN
เครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Network)	WPAN
กิกกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
เมกกะเฮิรตซ์ (Megahertz)	MHz
เมกกะบิตต่อวินาที (Megabit per Second)	Mbps
โวลต์ (Volt)	V
วัตต์ (Watt)	W
บิต (Bit)	bit
บิตต่อวินาที (Bit per Second)	bps
เดซิเบล (Decibel)	dB
เดซิเบลเทียบกับสายอากาศไอโซทรอปิก (Decibel Relative to Isotropic Antenna)	dBi
เดซิเบลเทียบกับกำลัง 1 มิลลิวัตต์ (Decibel Relative to Power of 1 Milliwatt)	dBm
เมตร (Meter)	m
มิลลิโวลต์ (Millivolt)	mV

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

นาโนวินาที (Nanosecond)	ns
วินาที (Second)	s
โอห์ม (Ohm)	Ω
ไมโครโวลต์ (Microvolt)	μV
แอมพลิจูดสูงสุด (Maximum Amplitude), V	A
BER ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่ใช้แบบแผนมอดูเลตตั้งฉาก (BER of Correlation Receiver with Orthogonal Modulation Scheme)	$B_{c,o}$
BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ที่ใช้แบบแผนมอดูเลตตั้งฉาก (BER of Matched Filter Receiver with Orthogonal Modulation Scheme)	$B_{m,o}$
อัตราบิต (Bit Rate), bps	B_r
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient of Correlation Receiver)	C_c
อัตราขยาย SNR ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (SNR Gain of Correlation Receiver)	G_c
อัตราขยายของอวกาศว่าง (Free Space Gain)	G_f
ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ (Frequency Transfer Function)	H
ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Frequency Transfer Function of Correlation Receiver)	H_c
ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง (Frequency Transfer Function of Free Space Channel)	H_f
อิมพีแดนซ์ (Impedance), Ω	R
PSD ของสัญญาณส่ง (PSD of Transmitted Signal), W/Hz	S
PSD ของสัญญาณส่งที่แผ่กระจายออกมา (Radiated PSD of Transmitted Signal), W/Hz	S_R
SNR ที่อินพุตของเครื่องรับ (SNR at Input of Receiver)	S/N
ช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่น (Time Interval of One Waveform), s	T_s
ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Spectral Density of Output Signal from Correlation Receiver), V/Hz V_c ความหนาแน่นสเปกตรัม ของสัญญาณส่ง (Spectral Density of Transmitted Signal), V/Hz	V_t
ความเร็วแสง (Velocity of Light), m/s	c
ระยะทาง (Distance), m	d

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ความถี่ (Frequency), Hz	f
แบนด์วิดท์ (Bandwidth), Hz	f_b
ความถี่กลาง (Center Frequency), Hz	f_c
ความถี่พาห้ (Carrier Frequency), Hz	f_c
แบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน (Fractional Bandwidth), Hz	f_f
ความถี่สูงสุด (Upper Frequency), Hz	f_H
ความถี่ต่ำสุด (Lower Frequency), Hz	f_L
ผลตอบสนองอิมพัลส์ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Impulse Response of Correlation Receiver)	h_c
ผลตอบสนองอิมพัลส์ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ (Impulse Response of Matched Filter Receiver)	h_m
ความสูงของสายอากาศรับ (Height of Receiver Antenna), m	h_r
ความสูงของสายอากาศส่ง (Height of Transmitter Antenna), m	h_t
รูปคลื่นพัลส์ (Pulse Waveform), V	p
พัลส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulated Pulse), V	s
เวลา (Time), s	t
ความกว้างพัลส์ (Pulse Width), s	t_b
คุณลักษณะ $1/e$ ของเวลาที่ลดลง ($1/e$ Characteristic Decay Time), s	t_d
รูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ (Output Signal waveform from Correlation Receiver), V	v_c
รูปคลื่นสัญญาณรับ (Received Signal Waveform), V	v_r
รูปคลื่นสัญญาณส่ง (Transmitted Signal Waveform), V	v_t

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

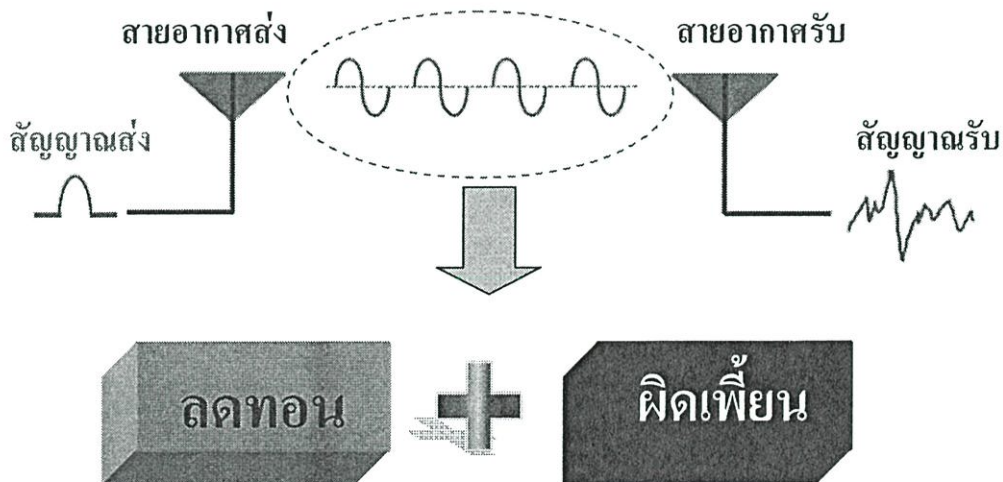
ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่ง (UWB) ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ภายในสำนักงาน หรือแม้แต่ภายในบ้าน ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้น ที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงเพื่อรองรับระบบมัลติมีเดีย ซึ่งความต้องการเหล่านี้ได้ถูกนำไปพิจารณาเพื่อหาเทคโนโลยีที่สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้ทำให้มีการนำเอาเทคโนโลยีไร้สายที่เรียกว่าแถบกว้างยิ่งหรือ อุลตราไวด์แบนด์ (Ultra-wideband) เข้ามาใช้งาน โดยเหตุที่ได้มีการนำระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบแถบกว้างยิ่งเข้ามาใช้งาน ก็คือ

1. ความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับการสื่อสารข้อมูลไร้สายในอุปกรณ์การสื่อสารและอุปกรณ์มัลติมีเดียที่มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น เพื่อรองรับระบบมัลติมีเดียแต่มีราคาที่ถูกลง และมีการใช้กำลังงานที่ต่ำ
2. เกิดความคับคั่งของการใช้งานสเปกตรัมความถี่ที่มีการจัดสรรในการใช้หลายย่านความถี่ทำให้เกิดการขาดแคลนย่านความถี่ที่จะใช้งาน
3. การเติบโตของการใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ รวมถึง บ้านพักอาศัย และตามสถานที่สาธารณะต่าง ๆ

ระบบแถบกว้างยิ่งมีข้อดีที่เหนือกว่าระบบสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบอื่น ๆ ตรงที่สามารถสอดคล้องกับแนวโน้มที่เกิดขึ้นข้างต้นได้ดีกว่า โดยการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือ การส่งสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งคือสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งจะมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง[1]-[2] หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีค่ามากกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งนี้มาใช้กับระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network : WPAN) ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานของ

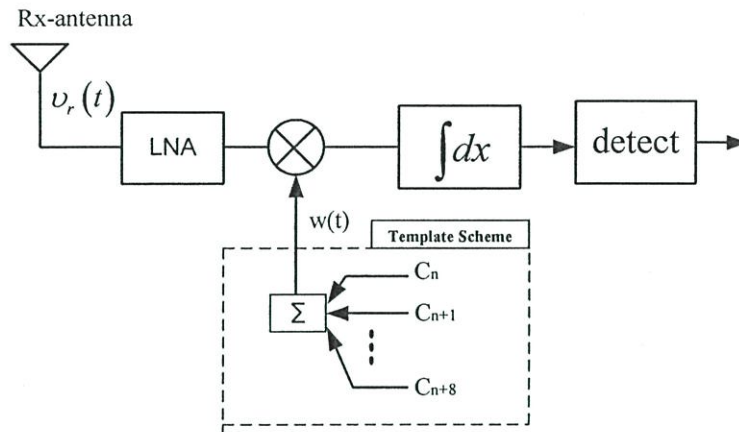
IEEE 802.15.3a โดยจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ อาทิเช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ วีดีโอโปรเจกเตอร์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ฯลฯ ซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงประมาณ 110 Mb/s ในระยะทาง 10 เมตรและมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลง

อย่างที่ทราบแล้วว่าระบบแถบกว้างยิ่งนั้นใช้ส่งสัญญาณเป็นพัลส์เพื่อแทนข้อมูลที่ทำกรส่ง ซึ่งประสิทธิภาพของระบบอาจลดลงได้เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสาร เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ผนัง หน้าต่าง ตัวบุคคล เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อมีการส่งผ่านช่องสัญญาณจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ การถูกดูดซับ และการจางหายของสัญญาณ ทำให้สัญญาณที่รับได้มีการผิดเพี้ยนและแอมพลิจูดลดลงทำให้ตรวจจับสัญญาณได้ยากขึ้น ดังนั้นในการที่จะตรวจจับข้อความข่าวสารที่มาจากสัญญาณจึงทำได้ยากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการหากระบวนการในการเพิ่มค่าอัตราของสัญญาณต่ออัตราสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio: SNR) เพื่อที่จะให้สามารถตีเทคข้อมูลที่มากับสัญญาณที่ส่งมา จึงได้มีการออกแบบเครื่องรับที่สร้างสัญญาณแม่แบบ เนื่องจากเมื่อเราทราบค่ารูปร่างของสัญญาณ และช่วงเวลาของรูปคลื่นก็จะสามารถกำหนดรูปคลื่นในการสหสัมพันธ์เพื่อเป็นการเพิ่มค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งรูปที่ 1.1 คือปัญหาการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

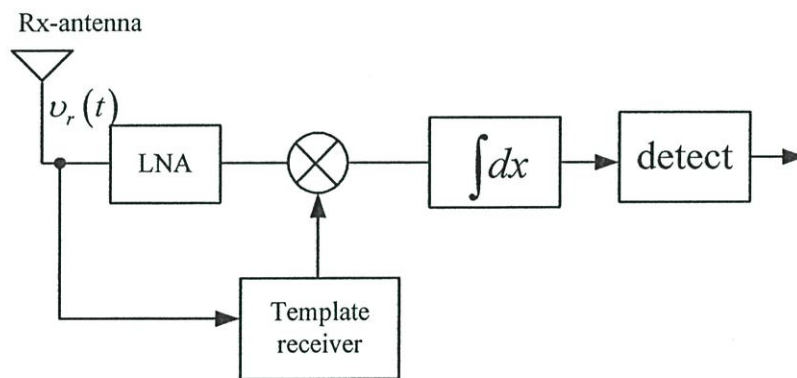


รูปที่ 1.1 ปัญหาการส่งผ่านของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน



รูปที่ 1.2 เครื่องรับต้นแบบดั้งเดิม



รูปที่ 1.3 เครื่องรับต้นแบบที่นำเสนอ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยังเป็นระบบที่ต้องการดีเทคสัญญาณเนื่องจากการส่งสัญญาณด้วยสัญญาณพัลส์ แต่ด้วยการส่งสัญญาณในระดับเดียวกับสัญญาณรบกวนจึงทำให้เกิดผิดพลาดในการตรวจจับสัญญาณข้อมูล จึงได้มีงานวิจัย[3] ที่ได้นำวิธีการสร้างสัญญาณแม่แบบเพื่อนำมาทำการสหสัมพันธ์กับสัญญาณที่รับได้ โดยเป็นการใช้สัญญาณหลากหลายรูปแบบ ซึ่งให้ผลการทดลองที่ดีในระดับหนึ่งและแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบดั้งเดิม [4] แต่ในวิทยานิพนธ์นี้เราได้ออกแบบเครื่องที่ต่างกันออกไป โดยเป็นการใช้สัญญาณที่รับได้แทนการสร้างสัญญาณขึ้นมาเพื่อนำมาใช้เป็นสัญญาณแม่แบบ ซึ่งวิธีการแบบนี้จะให้ผลที่ได้จะเป็นในลักษณะเดียวกับการใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ [5] เนื่องจากค่าพลังงานของสัญญาณมีค่าสูงสุด

1.6 ขอบเขตการศึกษา

เครื่องรับสัญญาณแม่แบบแบบดั้งเดิมนั้น ได้มีการวิเคราะห์การใช้สัญญาณต่างๆ มาใช้ในการสร้างเป็นสัญญาณแม่แบบ แต่ยังไม่มีการวิเคราะห์โดยการใช้สัญญาณที่รับได้มาเป็นสัญญาณแม่แบบและยังไม่ได้วิเคราะห์สัญญาณที่มีค่าดีที่สุด ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและออกแบบเครื่องรับของระบบการสื่อสารวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง เป็น การใช้สัญญาณในแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณแม่แบบเพื่อหาสัญญาณที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้เครื่องรับสัญญาณแม่แบบ โดยจะทำการประมวลผลสัญญาณจากเครื่องรับที่เราทำการออกแบบ จากนั้นจะนำผลที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับผลจากการวัดจริงเพื่อดูประสิทธิภาพเมื่อมีการนำไปใช้งาน

1.7 ขั้นตอนการศึกษา

จากแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้เป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยแบ่งออกเป็นความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง ข้อกำหนดต่างๆ ของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้งานของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เพื่อที่จะใช้ประกอบในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสื่อสารแถบกว้างยิ่งประกอบไปด้วยบทนำ สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง ช่องสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง สัญญาณรับแบบแถบกว้างยิ่ง เครื่องรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ประสิทธิภาพ BER และบทสรุป

บทที่ 4 รูปแบบการประมวลผลสัญญาณ เป็นการสร้างแบบจำลองในการประมวลผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ รูปแบบสัญญาณต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทดลอง การทดลองวัดจริง เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ได้ทำการออกแบบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ของงานวิจัยนี้

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันได้เกิดขึ้นมามากมายหลายระบบเพื่อรองรับความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันไปทั้งในระบบแบบไร้สาย (Wireless) และแบบใช้สายส่ง (Wire) ซึ่งในแต่ละระบบจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ช่วงความถี่ในการใช้งาน ระดับกำลังงาน ฯลฯ โดยข้อกำหนดดังกล่าวก็จะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงข้อจำกัดของระบบนั้นๆ ว่าสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วและระยะการให้บริการมากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการส่งข้อมูลจะอยู่ในระดับที่ไม่มากนัก แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเสนอเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้นที่เรียกว่าระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband) ซึ่งได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั่วโลก โดยเทคโนโลยีนี้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากอดีตที่ถูกนำไปใช้เฉพาะทางด้านทหารแต่ในปัจจุบันได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในเชิงธุรกิจเพื่อรองรับการเติบโตของระบบสารสนเทศที่ต้องการระบบที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้มากขึ้นทั้ง ภาพ เสียงและข้อมูล โดยในบทนี้จะกล่าวถึงประวัติความเป็นมา รายละเอียดของข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบแบบแถบกว้างยิ่งที่ถูกนำมาเป็นหัวข้อการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งแบบนั้น มีประวัติย้อนหลังมายาวนานตั้งแต่สมัยที่ มาร์โคนี (Marconi) ได้ทดลองสาธิตเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (Spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี 1901 ต่อมาในปี ค.ศ. 1962 ได้ประดิษฐ์เครื่องส่งวิทยุแถบกว้างยิ่งโดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโคเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ $h(t)$ ในส่วนของสัญญาณเอาท์พุทจะถูกแทนด้วย $y(t)$ และกำหนดให้สัญญาณ อินพุทที่ป้อนเข้าเป็น $x(t)$ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเราได้ใช้เครื่อง ออสซิลโลสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัด

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแคบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการ

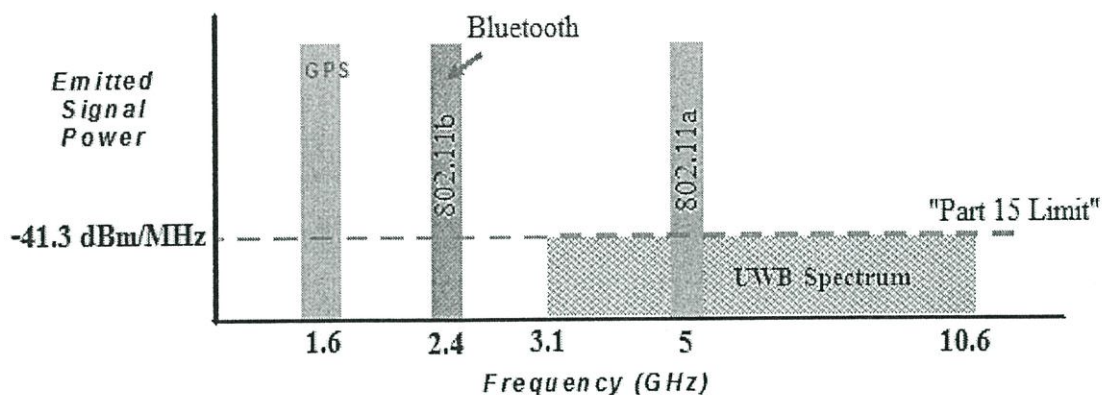
ส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลโลสโคป ที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ.1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ.1989

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

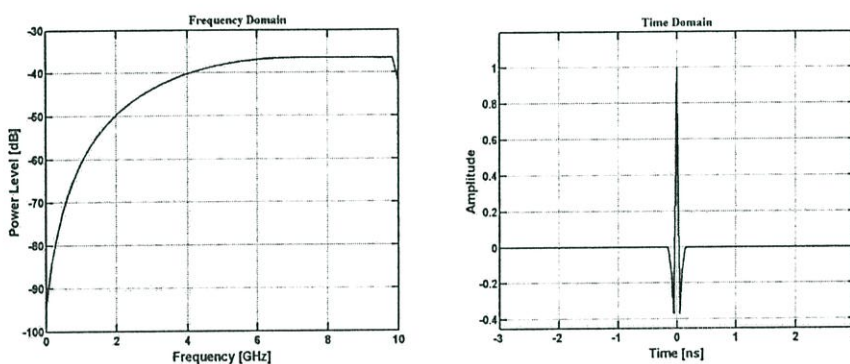
โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา จนปี ค.ศ. 1998 ได้มีการเริ่มพิจารณามาตรฐานและข้อกำหนด และในปี ค.ศ. 2002 ได้มีการประกาศใช้ข้อกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่ง

2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากและยังมีข้อแตกต่างจากระบบการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ คือ เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะ (Carrier less) โดยจะทำการส่งสัญญาณที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (pulse) ซึ่งจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างในระดับนาโนวินาที (Nano second) เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบมีความหนาแน่นของแถบกำลังงาน (Power spectral density) ครอบคลุมในช่วงความถี่ที่กว้างมากอยู่ในระดับกิกะเฮิรต (GHz) ในโดเมนความถี่ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงแต่ด้วยข้อจำกัดในระดับของกำลังงานที่ใช้ส่งจึงทำให้ระยะทางในการให้บริการถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE802.15.3a (WPAN) โดยในรูปแบบที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ

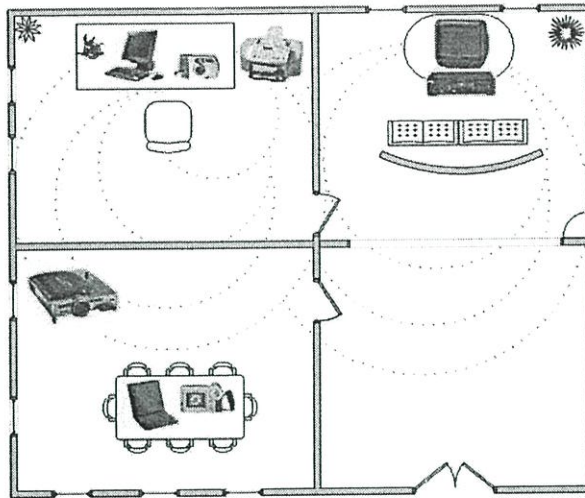


รูปที่ 2.1 ระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่

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



รูปที่ 2.3 ลักษณะการใช้งานอุปกรณ์มัลติมีเดียร์ภายในบ้าน

2.3.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ถ้าจะกล่าวถึงระบบแถบกว้างยิ่งหรือรวมถึง อิมพัลส์ (Impulse) พัลส์แคบ (Short-pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซนูซอยด์ (Non-sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (Carrierless) แถบกว้างยิ่ง (Super wideband) การอัดพัลส์แบบเอฟเอ็มอย่างรวดเร็ว (Fast frequency chirp) และ พัลส์แบบโมโน (Mono-pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ใน ระบบสื่อสาร อาทิเช่น

- เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนน้อยและต้นทุนที่ต่ำของระบบแถบกว้างยิ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยทางลักษณะเบสแบนด์ (Base band) ของการส่งสัญญาณซึ่งไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไปโดยปราศจากการเพิ่มความถี่วิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไปและในส่วนของกรรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (Up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (Amplification) โดยในการแปลงความถี่ลง (down-conversion) และตัวผลิตความถี่ (Local oscillator) จึงไม่จำเป็นในเครื่องรับแบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

นอกจากนี้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งสามารถทำให้อยู่ในรูปแบบที่เกือบจะเป็นเลขดิจิทัลได้โดยการใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่น้อยที่สุดหรือใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟ จากส่วนประกอบที่มีราคาถูกทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้และชิพที่มีขนาดเล็กยังสามารถลดต้นทุนของระบบได้อีกด้วย

ตัวส่งสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบง่าย ๆ สามารถรวมเอา เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์, วงจรเวลาและสายอากาศรวมไว้ในตัวเดียวได้ อย่างไรก็ตามหากต้องการใช้อัตราการส่งสูง ๆ จำเป็นต้องใช้วงจรเวลาที่มีความซับซ้อนสูงและหากต้องการใช้ระบบการเข้าถึงหลายทาง (Multiple access) จะต้องมี การออกแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้นอาจเพิ่มราคาขึ้นอีก

- มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (Noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียม (Pseudo-random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้ การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณแบบแถบ กว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่นๆ เนื่องจาก สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำประมาณระดับของ สัญญาณระบบรบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบ

- มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (Multipath) และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียง

ในระบบการมอดูเลตทางเวลา (Time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำ การส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาทีอีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วน ของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่า ระบบทั่วไป และเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถี อย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้า กับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลานั้นมี ความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีที่รุนแรง และการรบกวนหรือแทรกสอดจาก สัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

- มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลาสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ใน ระบบติดตาม (tracking)

ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมากๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มี ความกว้างของสัญญาณน้อยมากๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่ จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global positioning system: GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่นๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการ แพร่กระจายผ่านวัสดุได้ดี จึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้ งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่นในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมืองแร่ เป็นต้น

2.4 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการถอดถอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการโดยใช้ชื่อว่า Ultra-Wideband Working Group (แถบกว้างยิ่งWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับ FCC [6] เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.4.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

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

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

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

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

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

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

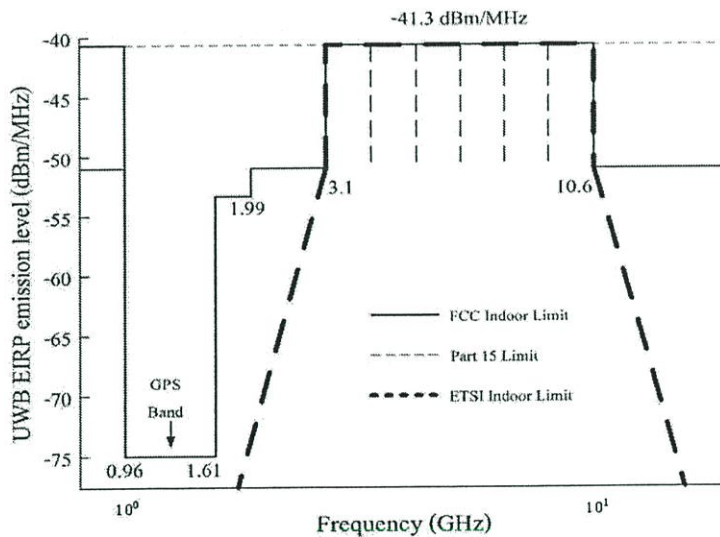
2.4.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบันโครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้นบางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ITU หรือ ETSI แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

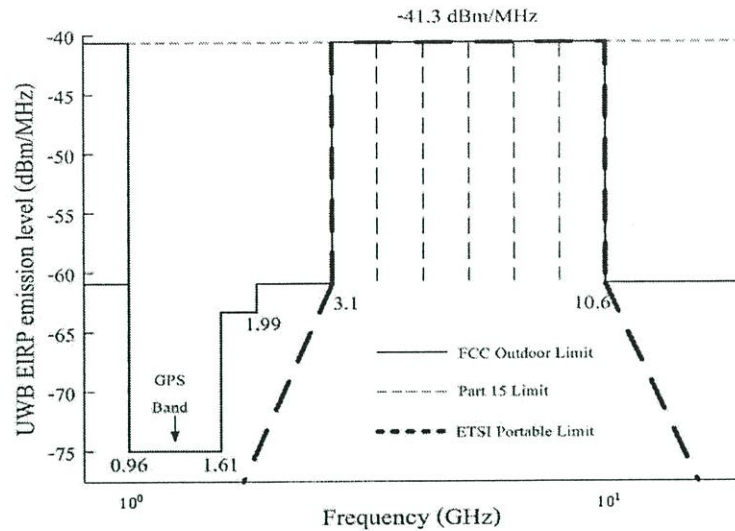
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.4 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.5 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

2.5 การประยุกต์และการนำระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

- การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- การระบุตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง
- ระบบเรดาร์

2.5.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์

ในการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ภายในบ้าน ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือ, พีดีเอ, เครื่องเล่นเพลงแบบพกพา, กล้องดิจิทัล, เครื่องพิมพ์[7]-[8] ฯลฯ ล้วนมีการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันมากขึ้น ซึ่งหากอุปกรณ์ต่างๆ ล้วนสามารถนำการติดต่อสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์เพื่อการติดต่อสื่อสารได้ทั้งสิ้น เช่น การดาวโหลดตัวอย่างภาพยนตร์จากจุดให้บริการ นอกจากจะนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ได้ อาทิเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำระบบแถบกว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายต่างๆ หดหายไป เนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้กำลังส่งที่ต่ำจึงทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

2.5.2 การระบุตำแหน่งและค้นหาตำแหน่ง

ในปัจจุบันนี้มีระบบจีพีเอสที่ใช้ในการบอกพิกัดซึ่งยังเป็นหน่วยที่สามารถบอกพิกัดได้เพียงในระดับเมตรซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อนำระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้สามารถระบุตำแหน่งได้ในระดับเซนติเมตร อาทิเช่น ช่วยในการหาสัญญาณภายในอาคาร, นำไปประยุกต์ในการตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้า, ค้นหาตำแหน่งของบุคคลที่เดินอยู่ ฯลฯ ทั้งนี้สามารถใช้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพราะมีความแม่นยำมากกว่า

2.5.3 ระบบเรดาร์

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเรดาร์ เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาต้นทุนต่ำ เนื่องจากระบบเรดาร์เป็นระบบที่ยังมีความต้องการของตลาดในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ, ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน, การตรวจจับความเร็วบนถนน, ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูง, ประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้, อิฐ, อิฐบล็อก, ไฟเบอร์, พลาสติกและคอนกรีต

2.6 บทสรุป

บทที่ 2 นี้ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของของคลื่นวิทยุและเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันรวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในอาคาร และภายนอกอาคารที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา FCC Ultra-Wideband Working Group (UWBWG) และสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป ETSI หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้เราได้กำหนดการทดลองตามมาตรฐานของ FCC อีกทั้งกล่าวเกี่ยวกับแบนด์วิดท์และรวมไปถึงการที่จะนำระบบเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและคุ้มค่าที่สุด ซึ่งในหลายๆ ประเทศได้เริ่มมีการทำการศึกษา ค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมในเรื่องของการนำเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไปใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามในบทนี้ยังมีได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของการวัดช่องสัญญาณในการสื่อสารย่านความถี่แถบกว้างยิ่งแต่อย่างไรซึ่งจะเริ่มกล่าวถึงตั้งแต่บทที่ 3 เป็นต้นไป

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของระบบแถบกว้างยิ่ง

3.1 บทนำ

ในบทที่ 3 นี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องรับสำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่งเป็นสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกลมอดูเลตและสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม [9] ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC โดยในการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องรับนั้นเราได้กำหนดความแตกต่างของช่องสัญญาณดังนี้คือ ช่องสัญญาณแรกเป็นช่องสัญญาณจากการจำลอง โดยกำหนดให้สายอากาศเป็นสายอากาศไอโซทรอปิก ส่วนช่องสัญญาณที่สองที่เราใช้ในการเปรียบเทียบเราได้กำหนดเป็นช่องสัญญาณจากการวัดที่ประดิษฐ์สายอากาศด้านส่งและด้านรับ และได้ใช้ช่องสัญญาณที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่สามารถพิจารณาในช่วงความถี่ที่กว้างสำหรับการสื่อสารแถบกว้างยิ่งดังนั้น ผลกระทบความเพี้ยนที่เกิดจากช่องสัญญาณ แถบกว้างยิ่งเหล่านี้จึงถูกรวมเข้าไปด้วย แล้วได้กล่าวถึงรูปแบบของการวิเคราะห์เครื่องรับที่เราได้ทำการออกแบบและเครื่องรับต้นแบบแบบดั้งเดิม ในส่วนสุดท้ายเป็นทฤษฎีการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับที่ได้ทำการออกแบบ

3.2 สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาสัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแบบรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกลมอดูเลตและรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมโดยกำหนดให้รูปคลื่นเป็นสัญญาณแรงดัน ในที่นี้จะกำหนดให้ PSD ของสัญญาณมีส่วนประกอบต่อเนื่องอย่างเดียว ดังนั้น PSD ของสัญญาณส่ง UWB S หาได้จาก

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |V_r(f)|^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ T_s คือช่วงเวลาในหนึ่งบิต และ $V_r(f)$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมสามารถคำนวณได้จากการแปลงฟูริเยร์ของรูปคลื่นสัญญาณส่งแถบกว้างยิ่งในโดเมนเวลา $v_r(t)$

$$V_r(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (3.2)$$

ในการพิจารณา PSD ที่แผ่กระจายออกมาจะกำหนดให้สายอากาศส่งเป็นสายอากาศแบบ ไอโซทรอปิก [10] ได้พิจารณาให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศส่งมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นจำนวนจริง เพื่อให้ได้กรณีในอุดมคติที่ PSD มีการแผ่กระจายออกมามากที่สุด ซึ่งได้ กำหนดให้อิมพีแดนซ์เครื่องส่งและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศส่งเป็น $R = \Omega$ ดังนั้น PSD ที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศส่ง S_R สามารถหาได้จาก

$$S_R(f) = \frac{1}{4R} S(f) \quad (3.3)$$

3.2.1 รูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลต (Gaussian modulation waveform)

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต กำหนดโดย

$$v_i(t) = Ae^{-(t/t_d)^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (3.4)$$

$$V_i(f) = \frac{At_d \sqrt{\pi}}{j2} \left[e^{-\pi^2 t_d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 t_d^2 (f+f_c)^2} \right] \quad (3.5)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุดของรูปคลื่นเกาส์ f_c คือความถี่พาห้ และ $\pm t_d$ คือเวลาที่รูปคลื่นเกาส์มีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด

รูปคลื่นนี้เป็นการมอดูเลตรูปคลื่นเกาส์ที่มีแอมพลิจูดสูงสุด A ที่เวลา $t=0$ และมีแอมพลิจูดลดลงเป็น A/e ที่เวลา $t = \pm d$ ด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ f_c เนื่องจากรูปคลื่นเกาส์นี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคอสีนจึงใช้ฟังก์ชันไซน์ซึ่งมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่มามอดูเลตรูปคลื่นนี้เพื่อทำให้ส่วนประกอบ DC ของรูปคลื่นมีค่าเป็นศูนย์

3.2.2 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular passband waveform)

รูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมกำหนดโดย

$$v_i(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (3.6)$$

$$V_i(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \|f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \|f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (3.7)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุด f_b คือ แบนด์วิดท์ f_c คือ ความถี่กลาง $f_L = f_c - f_b/2$ คือความถี่ต่ำสุด และ $f_H = f_c + f_b/2$ คือความถี่สูงสุด

รูปคลื่นนี้มีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมจะมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ อยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H และจะมีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่น UWB ในอุดมคติ ดังนั้นจึงใช้พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่น UWB รูปคลื่นนี้จะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (DC) เป็นศูนย์

3.3 ช่องสัญญาณ UWB

ในการพิจารณาช่องสัญญาณ UWB ที่ได้ใช้ในการทดลองเราได้พิจารณาช่องสัญญาณสองชนิด คือช่องสัญญาณในอวกาศว่างจากการจำลองและช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริง เพื่อทำการเปรียบเทียบกันเพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องรับที่เราได้ทำการออกแบบ โดยช่องสัญญาณในอวกาศว่างสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ช่องสัญญาณอวกาศว่าง

สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟรีส [11] เป็นที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับช่องสัญญาณแถบแคบ โดยพิจารณาในรูปแบบจำนวนจริงในความถี่ที่กำหนด อัตราขยายอวกาศว่างของฟรีสนิยามเป็น

$$G_f = \frac{c^2}{16 \pi^2 f^2 d^2} \quad (3.8)$$

เมื่อ d เป็นระยะทาง และ c เป็นความเร็วแสง

สำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง UWB ได้ใช้สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟรีสในรูปแบบเชิงซ้อน [6]-[8] ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง H_f สามารถเขียนได้เป็น

$$H_f(f) = \frac{c}{4\pi fd} e^{-j2\pi fd/c} \quad (3.9)$$

สมการนี้เป็นไปตามคุณสมบัติของความสมเหตุสมผล (Causality) ซึ่งจะมีค่าที่ความถี่บวกเป็นสังยุคเชิงซ้อน (Complex conjugate) ของค่าที่ความถี่ลบ

3.3.2 สมการการส่งผ่านคลื่นของฟรีส (Friis Transmission Equation)

มักจะพบอยู่เสมอว่าเราใช้สมการการส่งคลื่นของฟรีสในการวิเคราะห์และออกแบบระบบเรดาร์และระบบสื่อสารในการวิเคราะห์และออกแบบระบบเรดาร์และระบบสื่อสารดังนั้นต่อไป

สมการการส่งคลื่นของฟรีส แสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานระหว่างสายอากาศ 2 ตัวที่สายอากาศรับได้ต่อกำลังงานที่สายอากาศส่งออกไป เมื่อสายอากาศทั้งสองวางอยู่ห่างกันด้วยระยะทาง R ซึ่งมีค่ามากกว่า $2D^2/\lambda$ และสมมติว่าสายอากาศส่งเป็นแบบไอโซโทรปิกก่อน ถ้ากำลังงานที่ขั้วอินพุทของสายอากาศส่งเป็น P_t จะให้ความหนาแน่นของกำลังงาน ที่ระยะทาง R จากสายอากาศเป็น W_o ซึ่งมีค่าดังนี้

$$W_o = \frac{e_u P_t}{4\pi R^2} \quad (3.10)$$

เมื่อ e_u เป็นประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศส่ง คราวนี้ถ้าสายอากาศส่งไม่เป็นแบบไอโซโทรปิกกำลังงานใน (2.88) ในทิศทาง θ_t, ϕ_t เขียนได้ดังนี้

3.3.3. การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่งโดยใช้สูตรของฟรีส

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาดังการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในระบบแถบแคบโดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้ Friis' transmission formula แต่ว่ามันไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสูตรนั้นนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้น อาจจะผิดเพี้ยนไปเนื่องจาก คุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยสมการของฟรีสสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

$$G_{Friis}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_f(f) \cdot G_r(f) \cdot G_t(f) \quad (3.11)$$

โดย $P_t(f)$ และ $P_r(f)$ คือกำลังของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของกำลังงาน และ $G_t(f)$ และ $G_r(f)$ เป็นอัตราขยายของสัญญาณด้านส่งและสัญญาณด้านรับในรูปของเดซิเบล

$$G_f(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = \left(\frac{c}{4\pi d f}\right)^2 \quad (3.12)$$

โดยที่ $G_f(f)$ คืออัตราขยายของช่องสัญญาณในอวกาศว่างหรือทิศทางที่มองเห็น (Line of sight, LOS) หรือเขียนอยู่ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันดังสมการ

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_r(f)H_t(f) \quad (3.13)$$

โดย H_f คือทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่างและ H_t และ H_r คือทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของสายอากาศด้านส่งและด้านรับและสำหรับกรณี ไอโซโทรปิก(Isotropic)

$$H_{e-Friis', Iso}(f) = H_f \cdot H_i \quad (3.14)$$

และสามารถคำนวณหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของอวกาศว่างได้จากสมการที่ 3.17

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi d f} \exp(-jkd) \quad (3.15)$$

โดย $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ และสมการส่งผ่าน Friis's transmission formula ตามสมการที่ 3.15 เมื่อนำมาใช้กับระบบสื่อสารที่เป็นแบบไวต์แบนด์ เช่น อุลตราไวต์แบนด์ จะพบว่ามีความจำกัดในเรื่องของความถี่ที่มีช่วงกว้าง ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสมการของ Friis's transmission formula เป็นตามสมการที่ 3.16 ซึ่งเรียกว่า Extension Friis's transmission formula [12] โดยมีการแต่จะเขียนอยู่ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน โดยการเพิ่มทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของ Generator pulse filter, H_i

$$H_{e-friis}(f, d) = H_f(f, d)H_i(f)H_r(f)H_t(f) \quad (3.16)$$

และผลตอบแทนของทางพัลส์ของอวกาศว่างสามารถคำนวณได้จาก Inverse Fourier Transform (IFT) ซึ่ง H_f นั้นเป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอวกาศ $H_r(f)$ และ $H_t(f)$ เป็นฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ และตัวส่งตามลำดับ

สำหรับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ผ่านช่องสัญญาณจากการทดลองซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.17

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) H_c(f) dt \quad (3.17)$$

เครื่องรับสัญญาณต้นแบบ เครื่องรับสัญญาณต้นแบบที่เรานำมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับนั้น สามารถแสดงได้ดังในสมการที่ 3.18

$$v_{0n}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_{wn}(t) dt \quad (3.18)$$

$h_{wn}(t)$ คือ รูปคลื่นสัญญาณจากการสร้างสัญญาณแม่แบบ

เครื่องรับสัญญาณแม่แบบที่นำเสนอ

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t-\tau) dt \quad (3.19)$$

โดยกำหนดค่าเวลาให้มีค่าที่สุดซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\tau = \arg \max_{\tau} v_o(\tau) \quad (3.20)$$

และได้กำหนดรูปคลื่นสัญญาณที่นำมาใช้ให้มีค่าที่สุดซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ที่ต่างจากการวิเคราะห์แบบเดิมที่ยังไม่มีการพิจารณาในส่วนนี้ โดยสมการรูปคลื่นสัญญาณแม่แบบสามารถหาได้จากสมการที่ 3.21

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_o(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}} \quad (3.21)$$

3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน เวลาประวิงที่เกิดขึ้นหรือความผิดเพี้ยนของรูป

สัญญาณที่รับได้เมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับ โดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการวัดจากนั้นผลที่ได้จากการวัดหรือที่เรียกว่าข้อมูลดิบ (Raw data) นั้นจำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบหรือการเปลี่ยนแปลงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอ ๆ กับขั้นตอนการวัดซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

3.4.1 สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์เซียน

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่า รูปคลื่นเกาส์เซียนเพราะว่ามันถูกนิยามทางคณิตศาสตร์คล้ายกับฟังก์ชันเกาส์ ฟังก์ชันเกาส์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.22 โดย σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-x^2/2\sigma^2} \quad (3.22)$$

สัญญาณของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงด้วยสมการ

$$v_{g0}(t) = K_0 e^{-(t/\tau)^2} \quad (3.23)$$

โดยที่ K_0 เป็นค่าคงที่ และ τ คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ

$$\begin{aligned} E_1 &= \int_{-\infty}^{\infty} v_{g0}(t)^2 dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} K_1^2 e^{-2(t/\tau)^2} dt \\ &= K_1^2 \tau \sqrt{\pi/2} \end{aligned} \quad (3.24)$$

ดังนั้นค่า K_1 จะได้ว่า

$$K = \sqrt{\frac{E}{\tau\sqrt{\pi/2}}} \quad (3.25)$$

3.4.2 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์มีสมการ ดังนี้

$$v_t(t) = K_2 \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (3.26)$$

เมื่อ $-\infty < t < \infty$ โดยที่ K เป็นค่าคงที่ และ τ คือความกว้างของพัลส์สัญญาณ ค่าคงที่ K สามารถหาได้จากสมการที่ (3.19)

$$K_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\tau\sqrt{\pi/2}}} \quad (3.27)$$

เมื่อ E คือ ค่าของพลังงาน

3.4.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g2}(t) = K_2 \left(\frac{-2}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} + \frac{4t^2}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (3.28)$$

เมื่อ τ คือ ขนาดของพัลส์ และ K_2 คือ ค่าคงที่

3.4.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g3}(t) = K_3 \left(\frac{12}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} - \frac{8t^3}{\tau^6} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (3.29)$$

เมื่อ τ คือ ขนาดของพัลส์ และ K_3 คือ ค่าคงที่ ส่วนค่าคงที่ K_n สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

3.4.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g4}(t) = \left(12 - 48\left(\frac{t}{\tau}\right)^2 + 16\left(\frac{t}{\tau}\right)^4 \right) \frac{e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}}{\tau^4} k_4 \quad (3.30)$$

เมื่อ k_4 คือ ค่าคงที่ และ τ คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ

3.4.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g5} = \left(-120 + 160\left(\frac{t}{\tau}\right)^2 - 32\left(\frac{t}{\tau}\right)^4 \right) \frac{xe^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}}{t^6} k_5 \quad (3.31)$$

เมื่อ k_5 คือ ค่าคงที่ และ τ คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ

3.4.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g6} = \left(-120 + 720\left(\frac{t}{\tau}\right)^2 - 480\left(\frac{t}{\tau}\right)^4 + 64\left(\frac{t}{\tau}\right)^6 \right) \frac{e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}}{t^6} k_6 \quad (3.32)$$

เมื่อ k_6 คือ ค่าคงที่ และ τ คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ

3.4.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g7} = \left(1680 - 3360\left(\frac{t}{\tau}\right)^2 + 1344\left(\frac{t}{\tau}\right)^4 - 128\left(\frac{t}{\tau}\right)^6 \right) \frac{xe^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}}{\tau^8} k_7 \quad (3.33)$$

เมื่อ k_7 คือ ค่าคงที่ และ τ คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ

3.4.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์

สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$v_{g8} = \left(1680 - 13440 \left(\frac{t}{\tau} \right)^2 + 13440 \left(\frac{t}{\tau} \right)^4 - 3584 \left(\frac{t}{\tau} \right)^6 + 256 \left(\frac{t}{\tau} \right)^8 \right) \frac{e^{-\left(\frac{t}{\tau} \right)^2}}{\tau^8} k_8 \quad (3.34)$$

เมื่อ k_8 คือ ค่าคงที่ และ τ คือ ความกว้างของพัลส์สัญญาณ

3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็น โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงนิยามตามสมการที่ 3.27 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 3.35 และสมการที่ 3.36 ตามลำดับ

$$\rho(d) = \frac{\max |r_{ab}(\tau)|}{\max \sqrt{|r_a(\tau)r_b(\tau)|}} \quad (3.35)$$

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

$$r_{ab}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (3.36)$$

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

$$r_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(\tau) v_t(t+\tau) dt \quad (3.37)$$

$$r_b(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(\tau) v_r(t+\tau) dt \quad (3.38)$$

โดยที่

$v_t(t)$ คือ สัญญาณส่ง

$v_r(t)$ คือ สัญญาณที่ได้รับได้

3.6 ประสิทธิภาพการขยาย SNR

เนื่องจากได้กำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบ สหสัมพันธ์มีอัตราการขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น อัตราขยาย SNR ของเครื่องรับแบบ สหสัมพันธ์จึงสามารถนิยามเป็นอัตราระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ อัตราขยาย SNR ของเครื่องแบบสหสัมพันธ์ G_c สามารถคำนวณหาได้จาก

$$G_c = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_c^2(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t) dt} \quad (3.39)$$

อัตราการขยาย SNR สามารถนำมาใช้หาความสัมพันธ์ระหว่าง SNR ที่ด้านอินพุตกับด้านเอาต์พุตของเครื่องรับ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เป็นอัตราระหว่าง SNR ที่ด้านเอาต์พุตต่อ SNR ที่ด้านอินพุต

3.7 ประสิทธิภาพ BER

ประสิทธิภาพ BER สามารถพิจารณาโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณแม่แบบ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ C_c สามารถเขียนได้เป็น

$$C_c = \frac{\max |r_{v,h_c}(\tau)|}{\sqrt{\max |r_v(\tau) \cdot \max |r_{h_c}(\tau)|}} \quad (3.40)$$

เมื่อ r_{fg} เป็นสหสัมพันธ์แบบไขว้ระหว่างสัญญาณ $f(t)$ กับ $g(t)$ และ r_f เป็นสหสัมพันธ์แบบออโตของฟังก์ชัน $f(t)$ ซึ่งมีนิยามเป็น

$$r_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)g(t+\tau)dt \quad (3.41)$$

$$r_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)f(t+\tau)d\tau \quad (3.42)$$

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นพารามิเตอร์แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับในการตรวจจับสัญญาณ UWB ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเหมือนกับสัญญาณรับ UWB และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเป็นออร์โธโกนอลกับสัญญาณรับ UWB ดังนั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับสหสัมพันธ์ซึ่งมีสัญญาณแม่แบบเหมือนกับสัญญาณรับ UWB จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งเป็นเครื่องรับในทางอุดมคติที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเครื่องรับ UWB

เมื่อ B_r เป็นอัตราบิต S/N เป็น SNR ที่อินพุตของเครื่องรับ และ

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt, \quad x \geq 0 \quad (3.43)$$

สำหรับเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ประสิทธิภาพ BER ในช่องสัญญาณอวกาศว่างของแบบแผนเครื่องรับที่ได้จะได้ดังสมการ 3.46

$$B = Q\left(\sqrt{\frac{C_c G_c f_b}{B_r} S/N}\right) \quad (3.44)$$

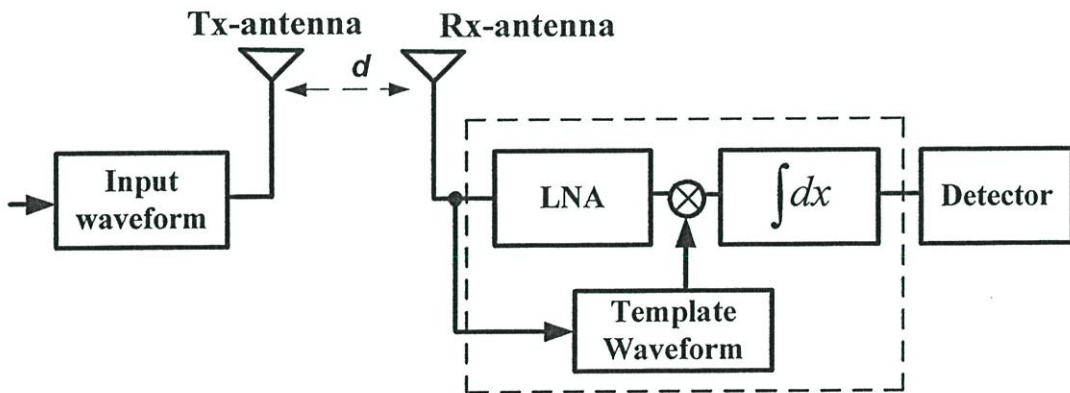
3.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีสำหรับการหาประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ซึ่งได้ใช้สัญญาณส่งรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลตและรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสำหรับการพิจารณาค่าประสิทธิภาพ โดยมีช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งเพื่อพิจารณาความเพี้ยนและใช้เครื่องรับสัญญาณต้นแบบกับเครื่องรับสัญญาณแม่แบบที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับเครื่องรับที่ได้ใช้รูปคลื่นเกาส์แบบต่างๆ เพื่อใช้ในการเป็นรูปคลื่นสัญญาณแม่แบบในการสหสัมพันธ์ จากนั้นจึงได้นำทฤษฎีทั้งหมดนี้จะนำมาใช้ในการศึกษาหาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในบทต่อไป

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณแม่แบบ

4.1 บทนำ

ในบทที่ 4 นี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการทดลองเสมือนจริงโดยใช้ช่องสัญญาณในอวกาศว่างจากการจำลองเปรียบเทียบกับการใช้ช่องสัญญาณวัดจริง โดยเป็นการดูประสิทธิภาพเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบ ซึ่งใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลตเป็นสัญญาณส่งแบบแถบกว้างยิ่ง โดยได้พิจารณาช่องสัญญาณอวกาศว่างสำหรับการสื่อสารแถบกว้าง ที่ได้ทำการศึกษาจากบทที่ผ่าน มา โดยกำหนดให้อัตราบิตเป็น 110 Mbps ซึ่งจะทำให้มีช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่นเป็น 9.09 ns และ กำหนดให้ระยะทางเป็น 10 m พารามิเตอร์ที่กำหนดนี้เป็นไปตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.3a ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้สัญญาณส่ง ช่องสัญญาณ และเครื่องรับที่แตกต่างกันเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบจากสัญญาณส่ง และช่องสัญญาณ รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับที่มีต่อประสิทธิภาพ อัตราขยาย SNR และ BER ของการสื่อสาร แถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

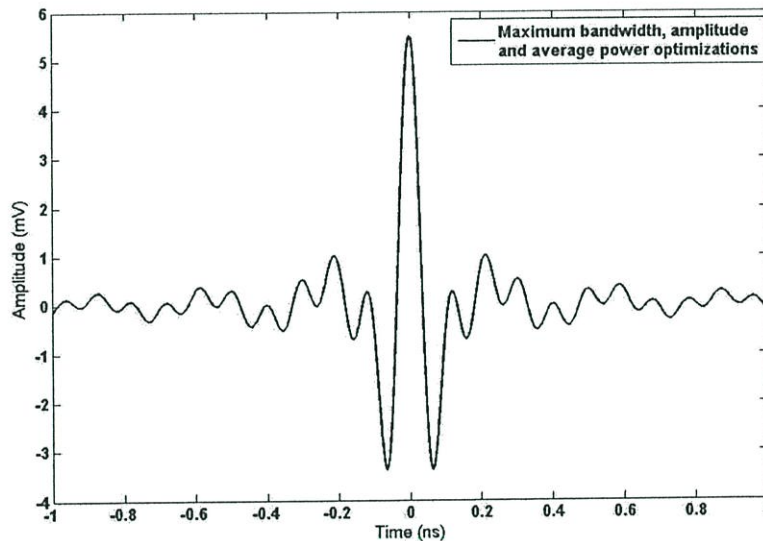
4.2 สัญญาณส่งแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณส่ง แถบกว้างยิ่ง ที่นำมาศึกษาคือรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลตซึ่งกำหนดให้มีอัตราบิตเป็น 110 Mbps ซึ่งจะมีช่วงเวลาในหนึ่งรูปคลื่นเป็น 9.09 ns และได้กำหนดให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศส่งและเครื่องส่งเป็น 50Ω รูปคลื่นที่ใช้ส่งทั้งหมดนี้จะถูกทำให้เป็นไปตามนิยามสัญญาณแถบกว้างยิ่งและสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและ

ภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC ภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้สัญญาณมีแบนด์วิดท์ที่กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุด

4.2.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาหาได้จากสมการที่ (3.4) และความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถหาได้จากสมการที่ (3.5) ซึ่งเป็นไปตามนิยามแถบกว้างยิ่ง และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้สัญญาณมีแบนด์วิดท์ที่กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากที่สุดจะมีพารามิเตอร์ที่เท่ากัน นั่นคือ $f_b = 7.50$ GHz, $f_c = 6.85$ GHz, $f_L = 3.10$ GHz, $f_H = 10.60$ GHz และ $A = 5.50$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -59.54 dBm



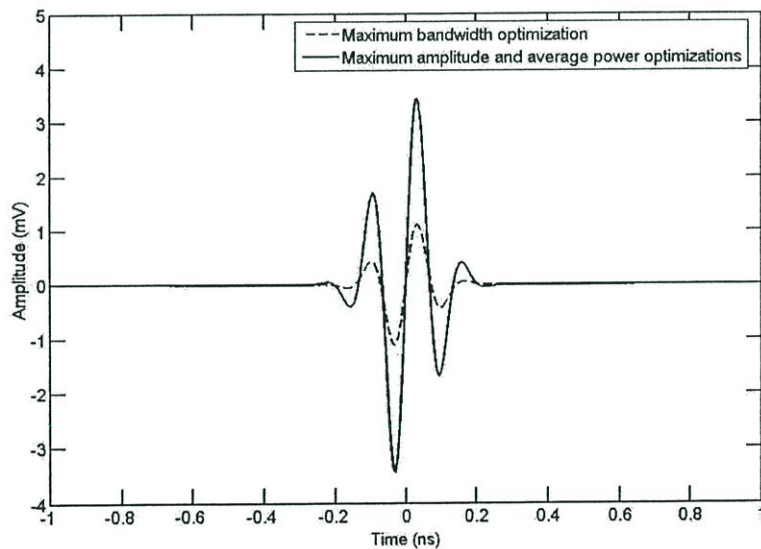
รูปที่ 4.2 รูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร

4.2.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต

รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลตในโดเมนเวลาหาได้จากสมการที่ (3.8) และความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลตสามารถหาได้จากสมการที่ (3.9) ซึ่งเป็นไปตามนิยามแถบกว้างยิ่ง และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุดคือ $t_d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 1.25$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.21 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตาม

เงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $t_d = 0.11$ ns, $f_c = 7.34$ GHz และ $A = 3.76$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 3.43 mV มีแบนด์วิดท์ที่เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 dBm

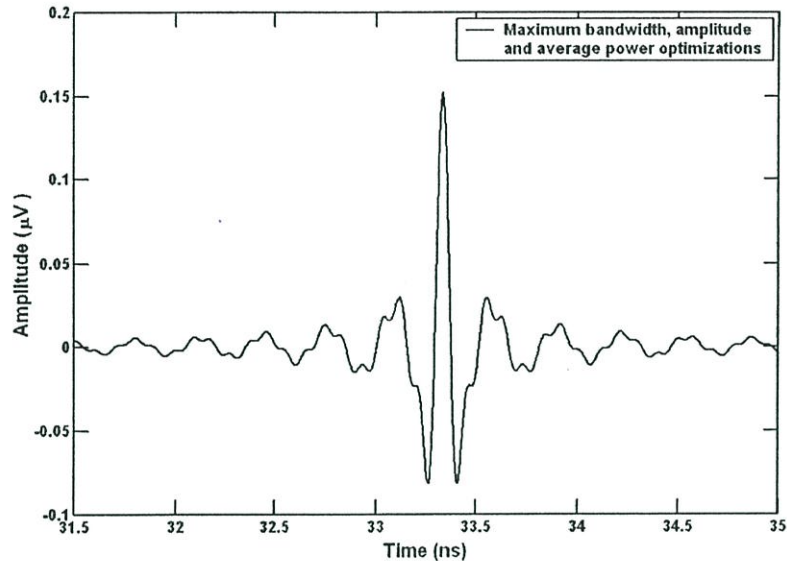
รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลตซึ่งเป็นไปตามนิยาม แถบกว้างยิ่ง และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุดคือ $t_d = 0.10$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 1.25$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์ที่เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.71 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ $t_d = 0.13$ ns, $f_c = 6.85$ GHz และ $A = 3.18$ mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.95 mV มีแบนด์วิดท์ที่เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.43 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ PSD ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกลมอดูเลตใน โดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

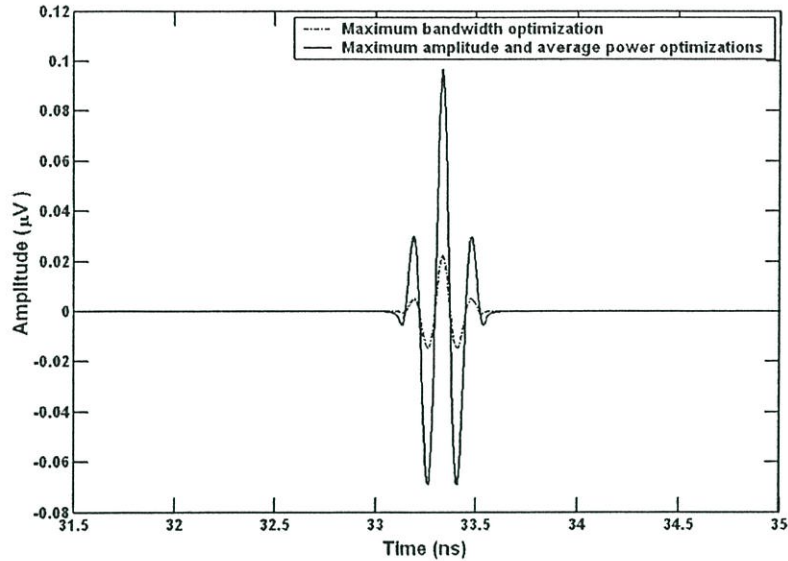
4.2.3 สัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบ

รูปที่ 4.3 แสดงรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.15 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -127.15 dBm



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

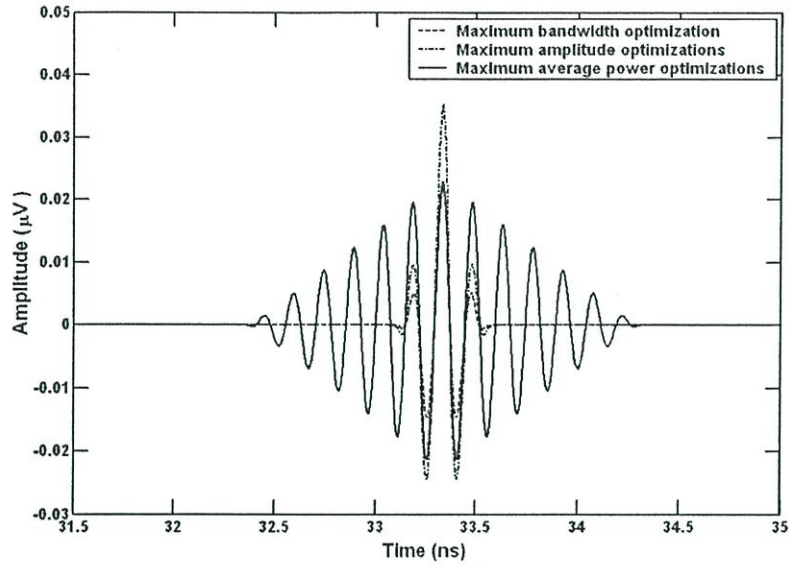
รูปที่ 4.4 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ในกรณีที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.02 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -144.07 dBm ส่วนในกรณีที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.10 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -130.81 dBm



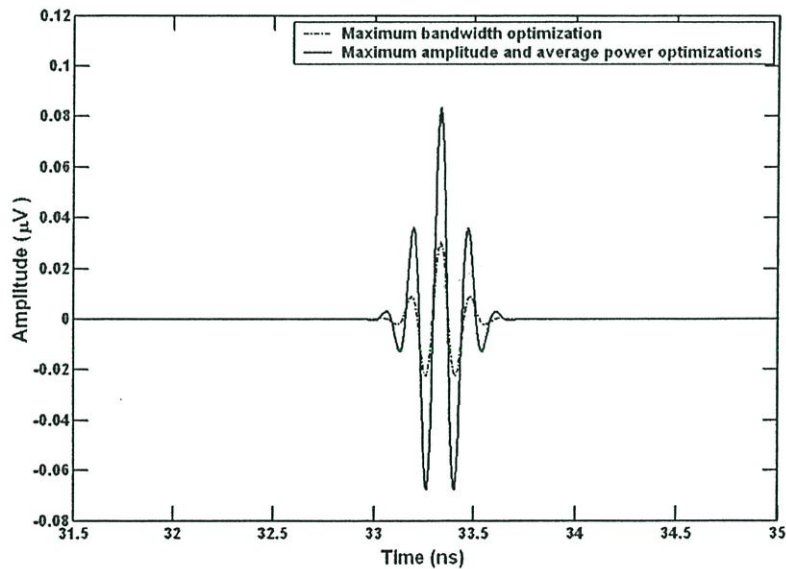
รูปที่ 4.5 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 ในกรณีที่เป็นการเป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.02 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -144.07 dBm ในกรณีที่เป็นการเป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.04 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -139.70 dBm ส่วนในกรณีที่เป็นการเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.02 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -137.28 dBm

รูปที่ 4.6 แสดงรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ในกรณีที่เป็นการเป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่กว้างที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.03 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -140.63 dBm ส่วนในกรณีที่เป็นการเป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.08 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -131.37 dBm



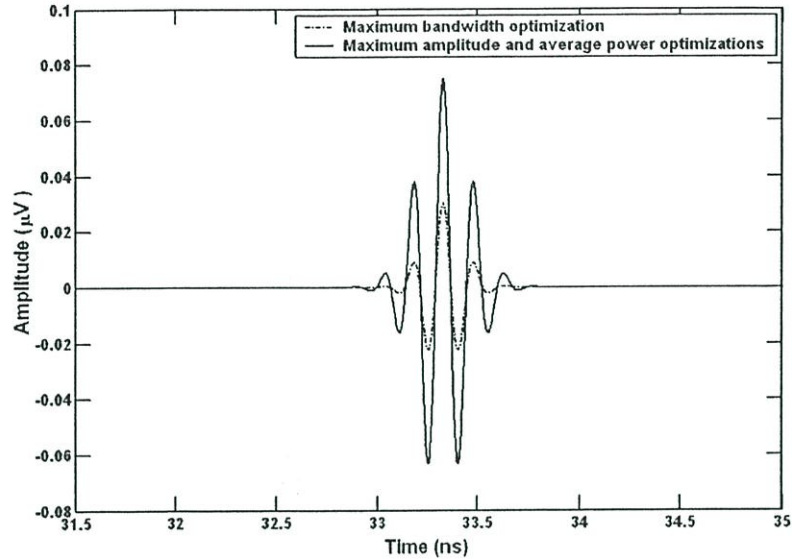
รูปที่ 4.6 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง



รูปที่ 4.7 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ในกรณีที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.03 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -140.63 dBm ส่วนในกรณีที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงสุดและ

กำลังเฉลี่ยมากที่สุด รูปคลื่นนี้จะมีแอมพลิจูดสูงสุดเป็น $0.08 \mu\text{V}$ และมีกำลังเฉลี่ยเป็น -131.55 dBm

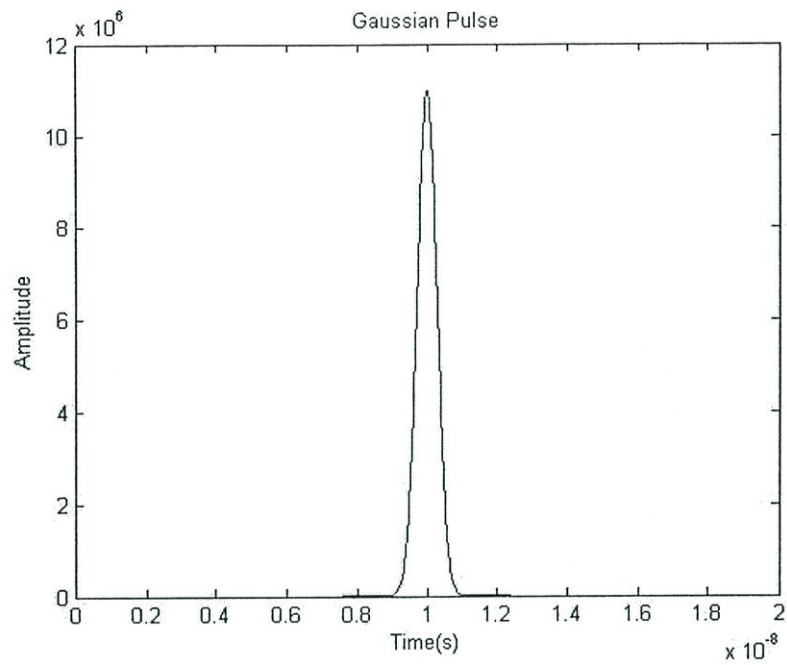


รูปที่ 4.8 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ได้จากเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

4.3 สัญญาณแม่แบบสัญญาณเกาส์อนุพันธ์ต่างๆ

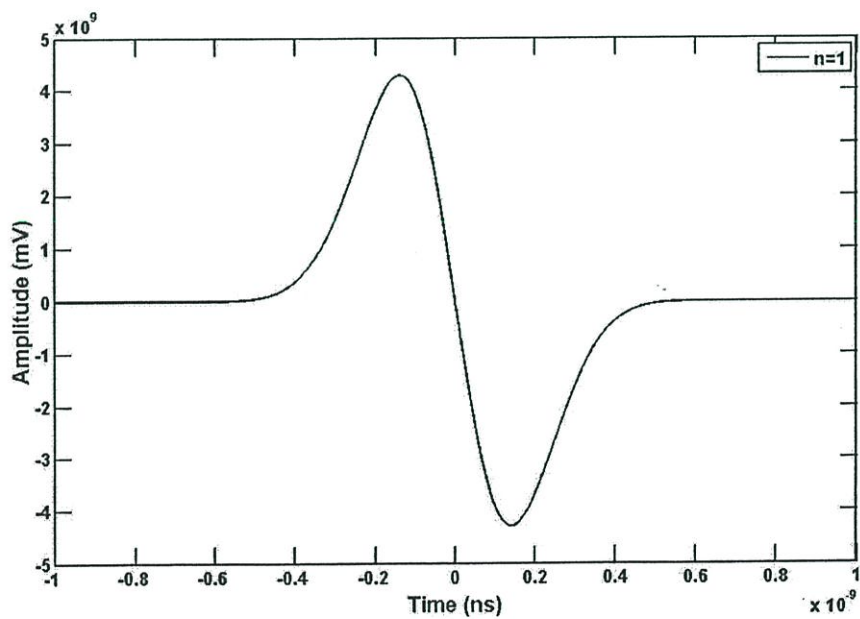
สัญญาณแม่แบบที่เรานำมาใช้พิจารณาเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้สัญญาณที่รับมาเป็นสัญญาณแม่แบบ เราได้นำสัญญาณฟังก์ชันเกาส์จากสมการที่ (3.17) มาทำการดิฟเฟอเรนเชียลเพื่อให้ได้ค่าสัญญาณอนุพันธ์ต่างๆ ที่เราต้องการ ซึ่งรูปคลื่นสัญญาณต่างนั้นเราสามารถหาจากสมการในบทที่ 3 และรูปคลื่นสัญญาณแสดงดังต่อไปนี้

4.3.1 สัญญาณรูปคลื่นฟังก์ชันเกาส์



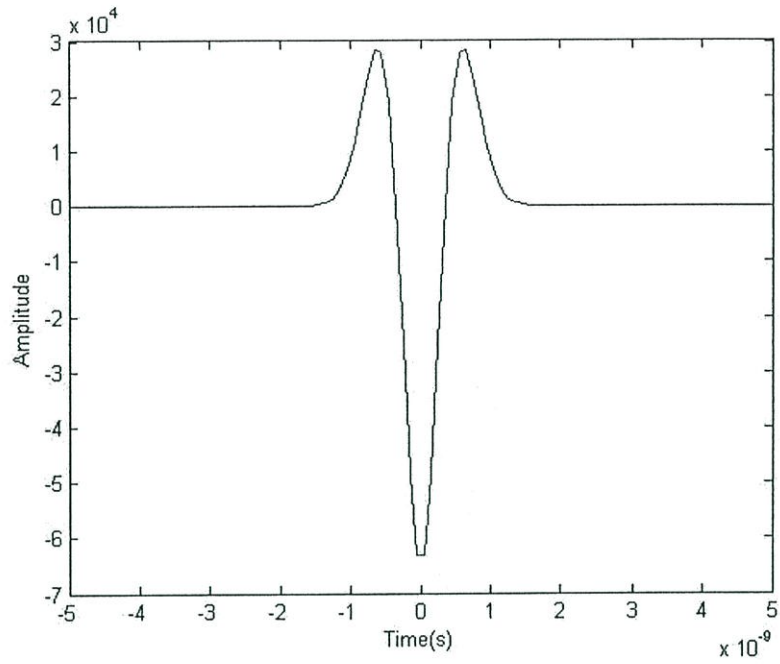
รูปที่ 4.9 สัญญาณของรูปคลื่นเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.2 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์



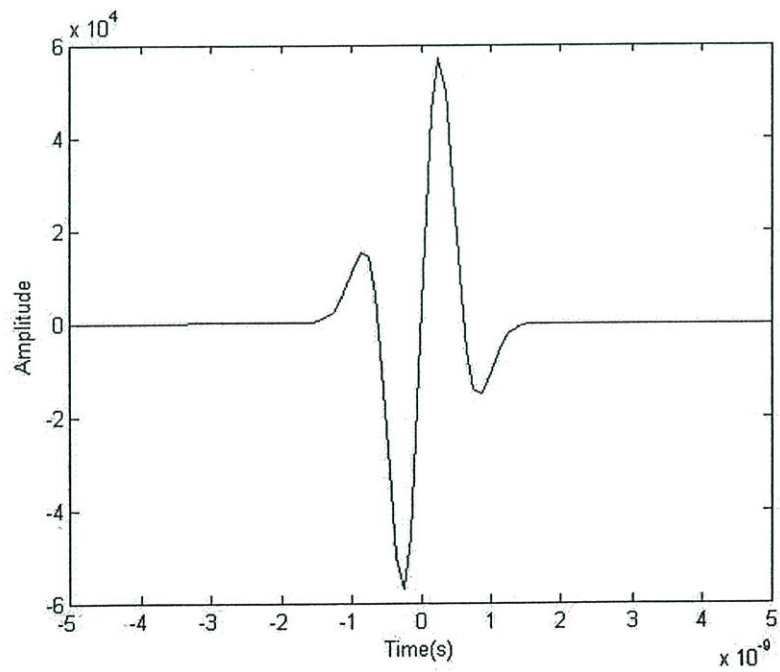
รูปที่ 4.10 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.3 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์



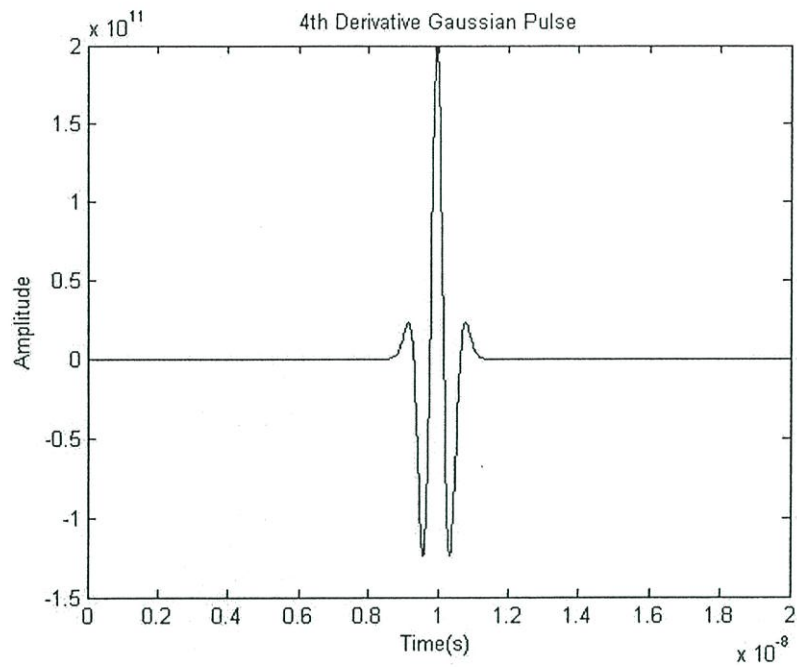
รูปที่ 4.11 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.4 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์



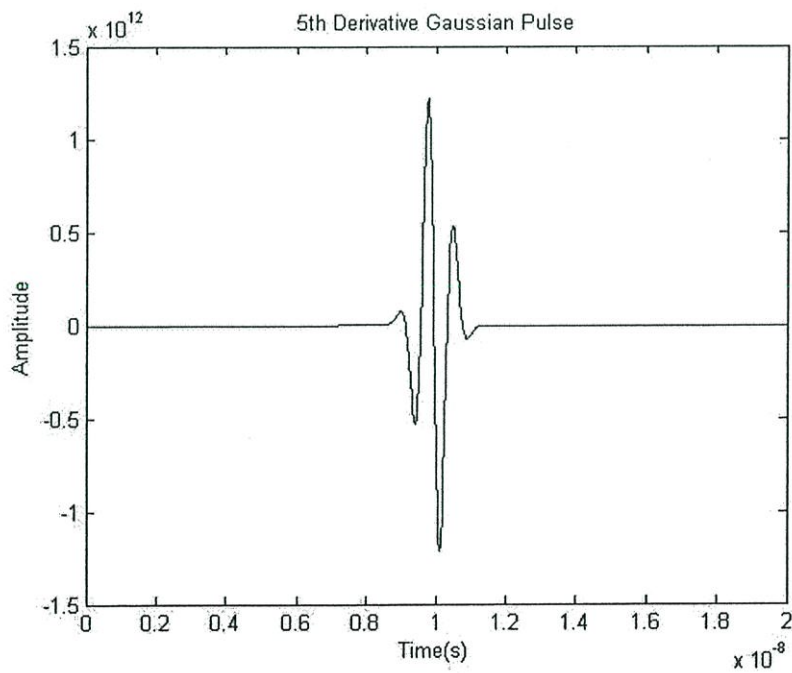
รูปที่ 4.12 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.5 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์



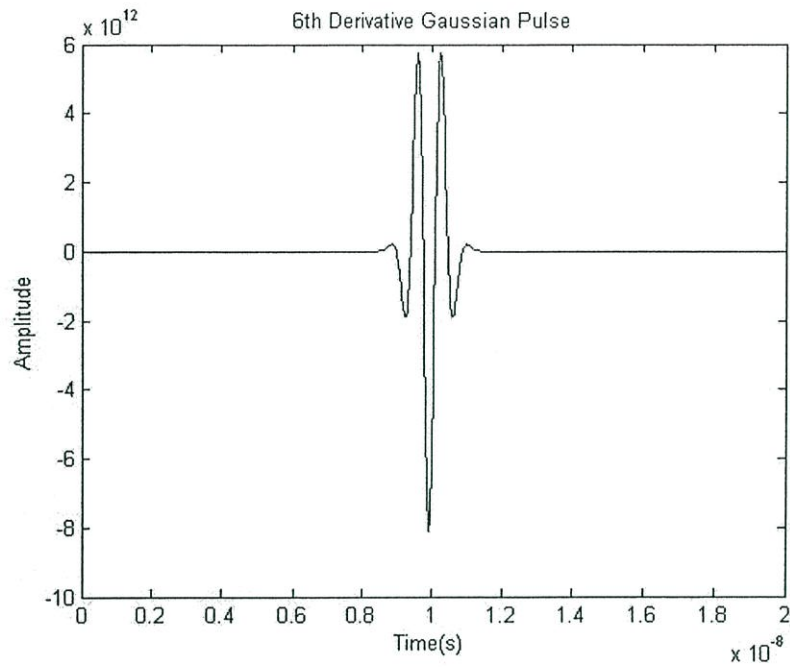
รูปที่ 4.13 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.6 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์



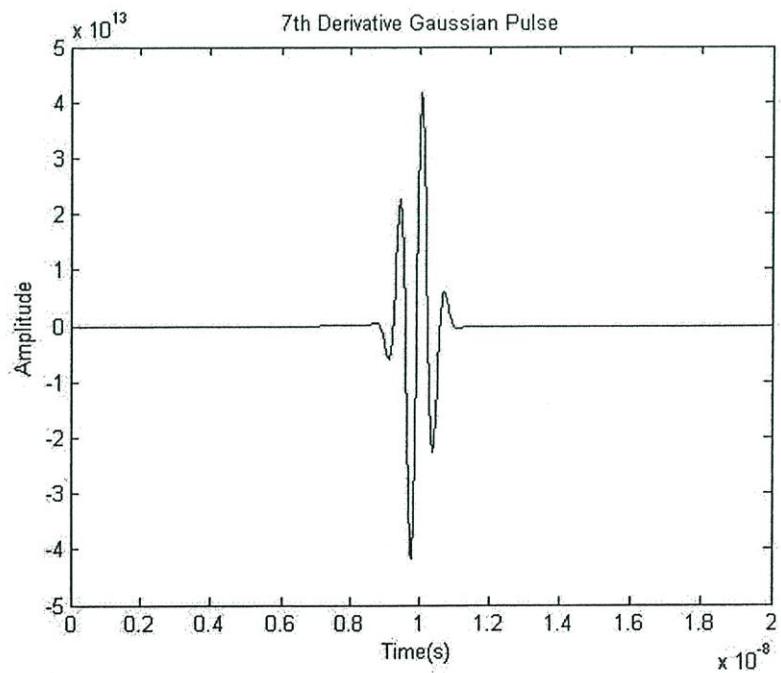
รูปที่ 4.14 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.7 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์



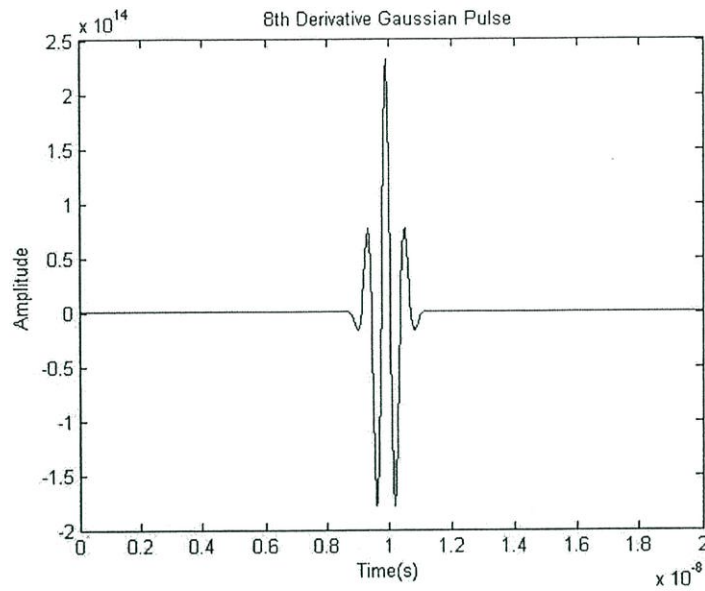
รูปที่ 4.15 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.8 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์



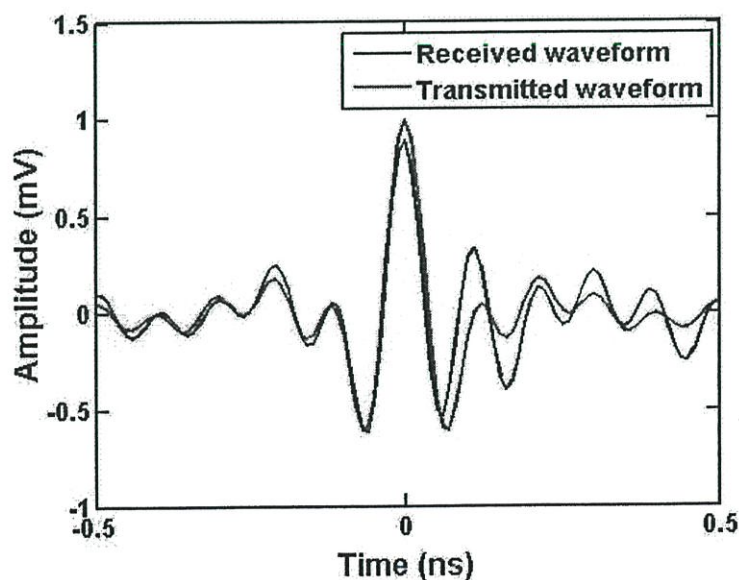
รูปที่ 4.16 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นแบบเกาส์ในโดเมนเวลา

4.3.9 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์

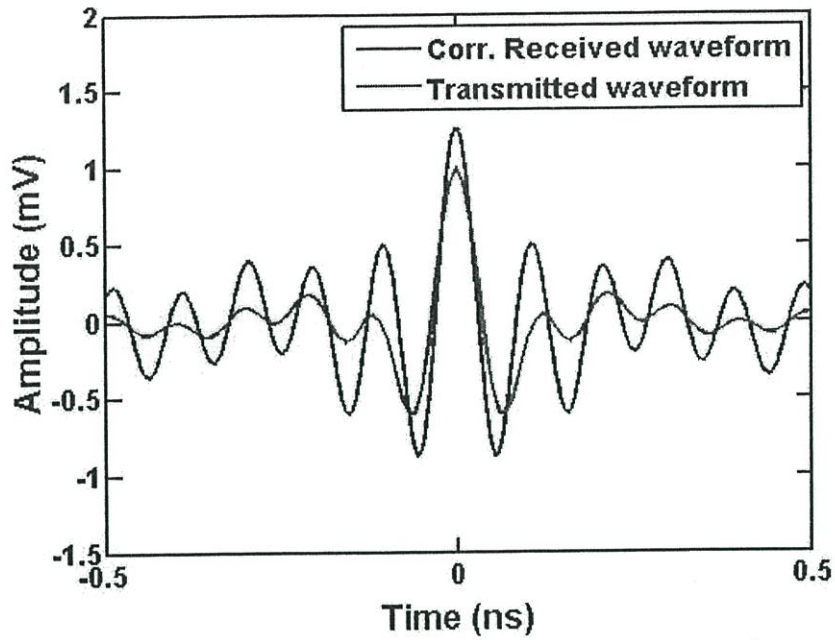


รูปที่ 4.17 สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นแบบเกาส์ใน โดเมนเวลา

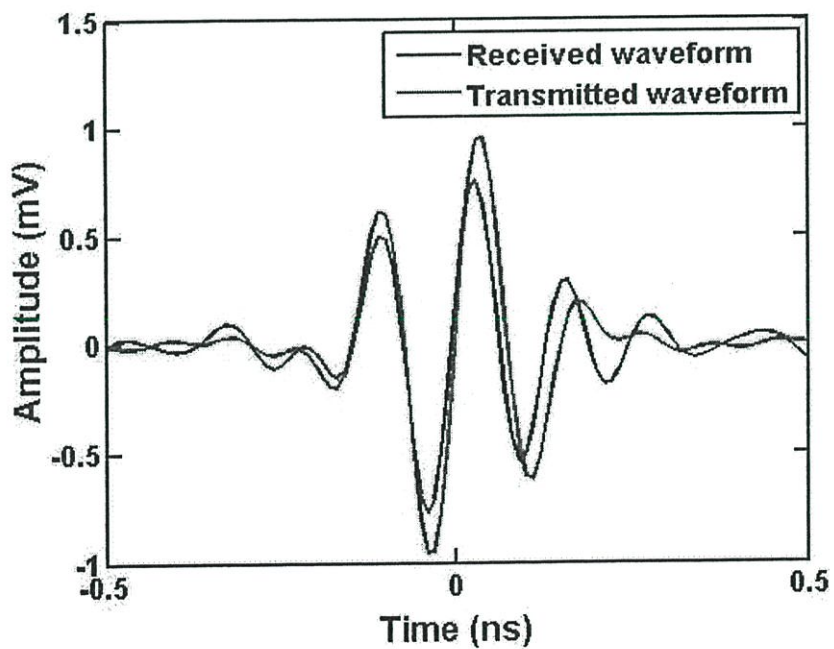
ผลที่ได้จากการทดลองนั้นเราสามารถนำมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและทำการเปรียบเทียบจากผลที่ได้จากการประมวลผลในช่องสัญญาณจำลองและช่องสัญญาณจากการวัดจริง ซึ่งจะทำให้สามารถทราบได้ว่าผลจากการทดลองนั้นสามารถนำไปใช้งานจริงแล้วได้ผลอย่างไรบ้าง ซึ่งผลที่ได้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



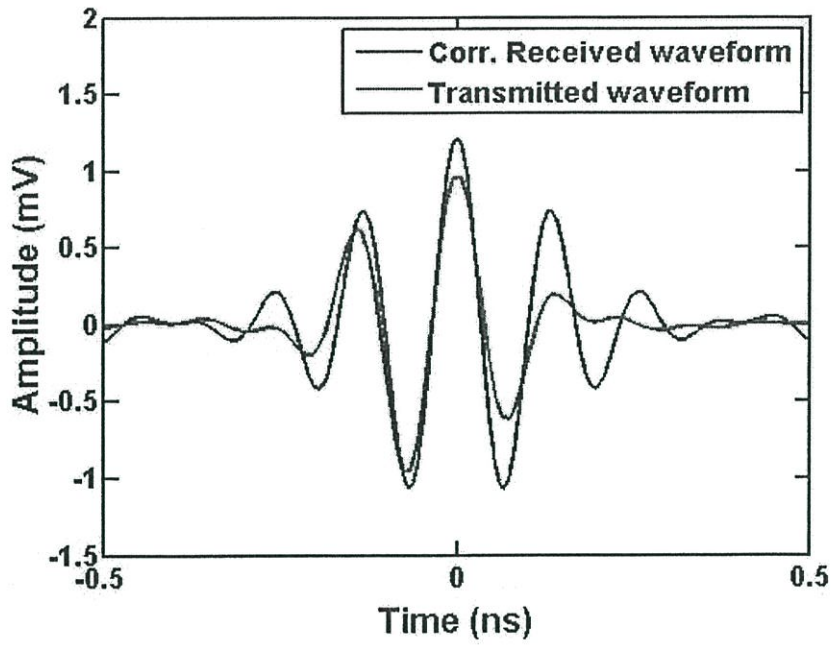
รูปที่ 4.18 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง



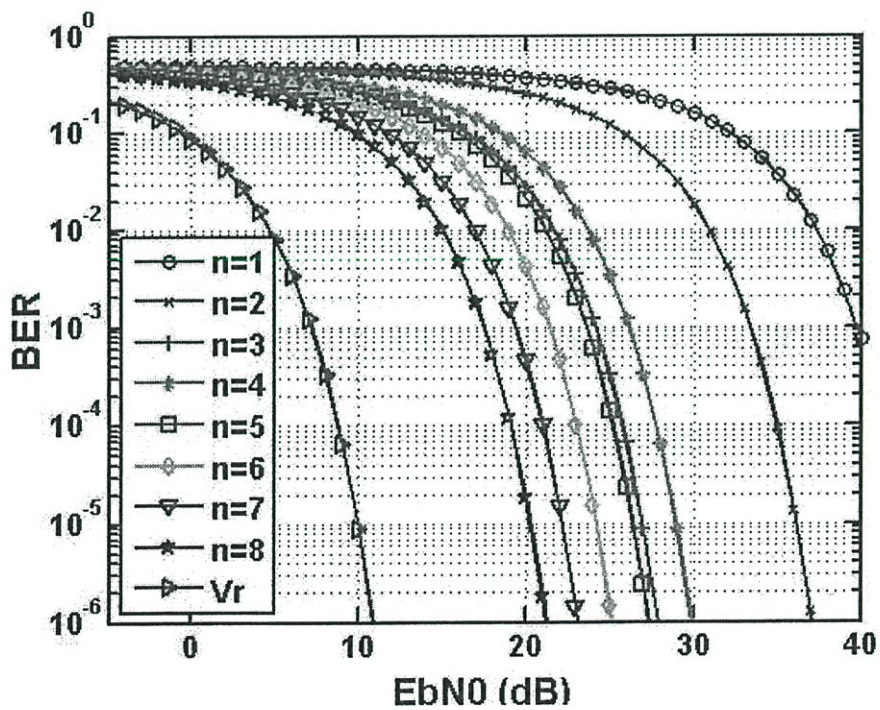
รูปที่ 4.19 รูปคลื่นสัญญาณที่ผ่านการสหสัมพันธ์จากสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่าน
สี่เหลี่ยมเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง



รูปที่ 4.20 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้จากสัญญาณรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลตเทียบกับ
รูปคลื่นสัญญาณส่ง



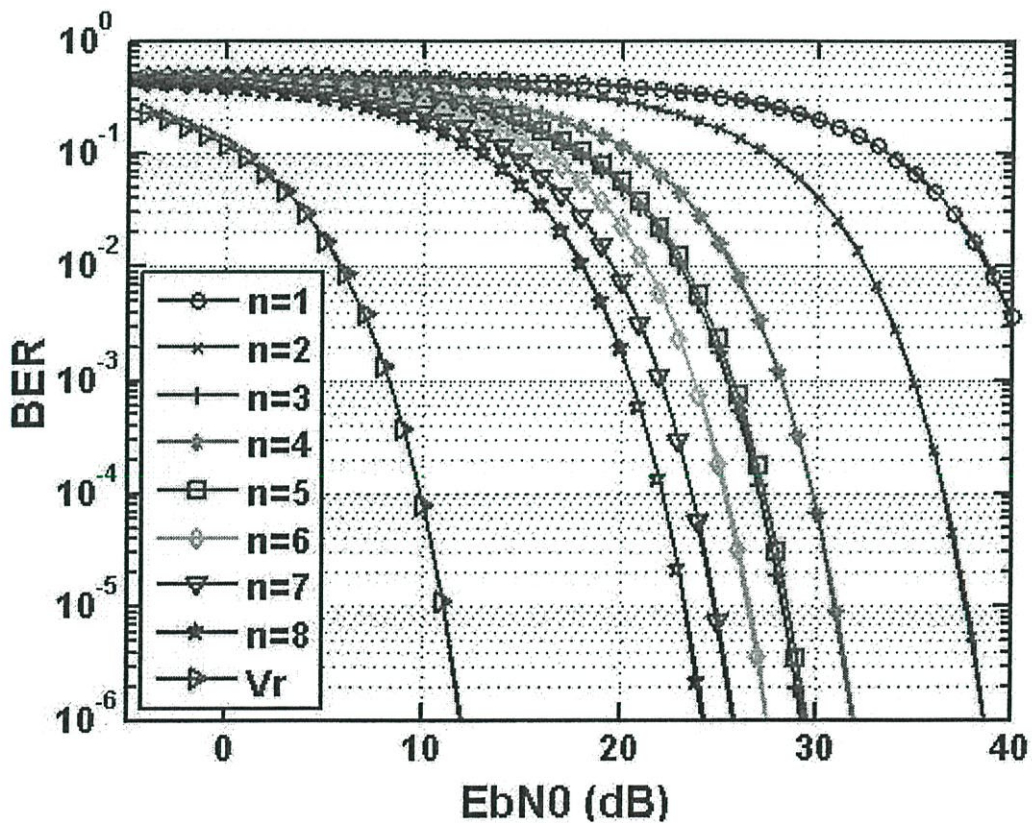
รูปที่ 4.20 รูปคลื่นสัญญาณที่รับได้ที่ผ่านการสหสัมพันธ์จากสัญญาณรูปคลื่น
เกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลตเทียบกับรูปคลื่นสัญญาณส่ง



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบโดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตาม
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ตารางที่ 4.1 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ช่องสัญญาณในอวกาศว่าง

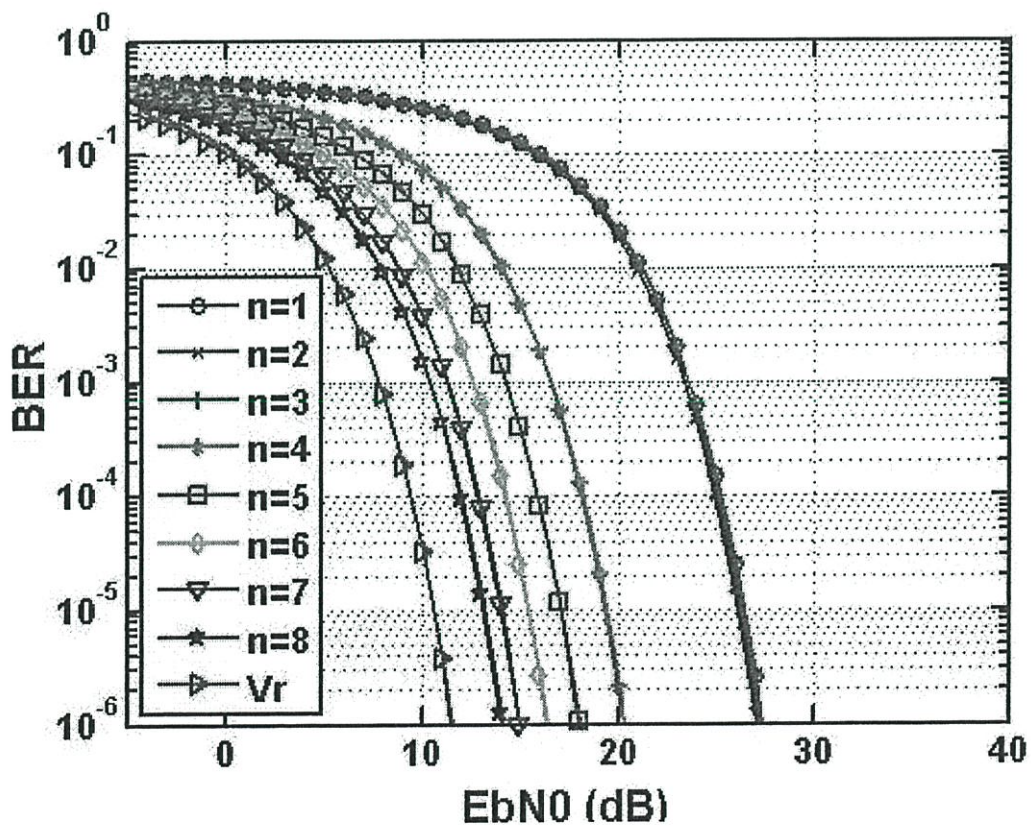
สัญญาณแม่แบบ(Template waveform)	ค่า SNR ที่ BER = 10^{-3} (dB)
สัญญาณรูปคลื่นที่รับได้	7.1320
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเกาส์	39.7356
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นเกาส์	33.3200
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นเกาส์	24.1370
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นเกาส์	26.1300
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นเกาส์	23.5700
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นเกาส์	21.3762
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นเกาส์	19.3591
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นเกาส์	17.4543



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณวัดจริง

ตารางที่ 4.2 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ช่องสัญญาณวัดจริง

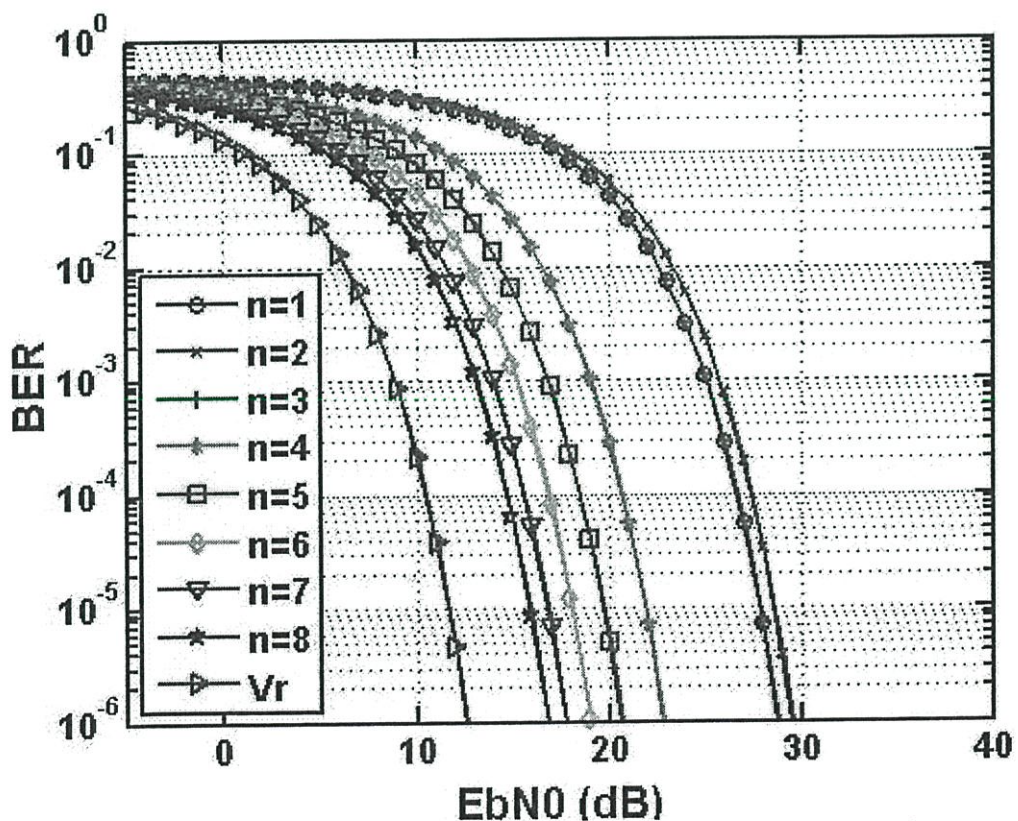
สัญญาณแม่แบบ(Template waveform)	ค่า SNR ที่ BER = 10^{-3} (dB)
สัญญาณรูปคลื่นที่รับได้	8.2243
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเกาส์	45.5200
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นเกาส์	34.9220
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นเกาส์	25.4691
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นเกาส์	28.1400
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นเกาส์	25.7200
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นเกาส์	23.7423
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นเกาส์	22.0565
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นเกาส์	20.5252



รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบ โดยใช้อุปกรณ์ผ่านสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ตารางที่ 4.3 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ช่องสัญญาณในอวกาศว่าง

สัญญาณแม่แบบ(Template waveform)	ค่า SNR ที่ BER = 10^{-3} (dB)
สัญญาณรูปคลื่นที่รับได้	7.7535
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเกาส์	23.6100
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นเกาส์	23.6099
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นเกาส์	23.3665
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นเกาส์	16.5152
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นเกาส์	14.2600
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นเกาส์	12.6250
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นเกาส์	11.2378
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นเกาส์	10.3180



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพ BER ของเครื่องรับแบบโดยใช้รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารและผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง

ตารางที่ 4.4 ใช้สัญญาณส่งแบบสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ช่องสัญญาณวัดจริง

สัญญาณแม่แบบ(Template waveform)	ค่า SNR ที่ BER = 10^{-3} (dB)
สัญญาณรูปคลื่นที่รับได้	8.8406
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของรูปคลื่นเกาส์	25.0525
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สองของรูปคลื่นเกาส์	25.0500
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สามของรูปคลื่นเกาส์	25.7695
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่สี่ของรูปคลื่นเกาส์	19.0435
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่ห้าของรูปคลื่นเกาส์	16.8785
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่หกของรูปคลื่นเกาส์	15.2645
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่เจ็ดของรูปคลื่นเกาส์	14.0295
สัญญาณอนุพันธ์ลำดับที่แปดของรูปคลื่นเกาส์	13.1139

4.4 บทสรุป

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับแบบใช้สัญญาณแม่แบบ โดยใช้รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นเกาส์เขียนที่ถูกลมอดูเลต ส่งผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและช่องสัญญาณการวัดจริง ได้พิจารณาหารูปคลื่นที่รับได้และรูปคลื่นที่ได้จากเครื่องรับในแต่ละกรณี ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองอย่างเช่น BER สามารถนำมาใช้อ้างอิงถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ได้ทำการออกแบบสำหรับนำไปใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาเครื่องรับที่ได้ทำการออกแบบสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง เพื่อดูประสิทธิภาพเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเครื่องรับที่อยู่เดิม โดยในการทดลองได้ใช้สัญญาณส่งสองชนิด เพื่อดูคุณสมบัติของรูปคลื่นสำหรับการนำไปใช้งาน ซึ่งแบบแรกคือรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ส่วนรูปคลื่นที่สองคือรูปคลื่นเกาส์เซียนที่ถูกมอดูเลต ซึ่งได้กำหนดให้เป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารของ FCC โดยได้ทำการเปรียบเทียบเครื่องรับแบบดั้งเดิมกับเครื่องรับที่เราได้ทำการออกแบบและได้ใช้ช่องสัญญาณอวกาศว่างจากการจำลองและช่องสัญญาณในการวัดจริงเพื่อเปรียบเทียบถึงการนำเครื่องรับที่เราได้ทำการออกแบบมาใช้งานจริง [15] และประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR และ BER ในแต่ละกรณี ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลของประสิทธิภาพจากการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณแม่แบบในกรณีที่ดีที่สุดของแต่ละรูปคลื่น โดยเปรียบเทียบที่ตำแหน่งของค่า BER ที่เท่ากัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า SNR ของแต่ละกรณี ซึ่ง SNR ที่เราต้องการนั้นคือค่าต่ำสุดที่ระบบสามารถดีเทคสัญญาณได้ จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ที่ต้องการที่ดีที่สุดสำหรับทั้งช่องสัญญาณอวกาศว่างจากการจำลองและช่องสัญญาณการวัดจริง ส่วนรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตจะมีประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ที่มากกว่ารูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่าง รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตจะมีประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ที่มากกว่า

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพอัตราขยาย SNR ที่ต้องการของเครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบในกรณีที่ดีที่สุดของแต่ละรูปคลื่นที่ $BER = 10^{-3}$

รูปคลื่น	ช่องสัญญาณ	
	อวกาศว่าง	ช่องสัญญาณการทดลอง
แถบผ่านสี่เหลี่ยม	7.7535dB	8.8406 dB
เกาส์ที่ถูกมอดูเลต	7.1320dB	8.2243 dB

5.2 สรุปผลของประสิทธิภาพ BER

ตารางที่ 5.1 แสดง SNR ที่ทำให้ประสิทธิภาพ BER เท่ากับ 10^{-3} ของเครื่องรับสัญญาณแม่แบบในกรณีที่ดีที่สุดของแต่ละรูปคลื่น เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า BER โดยดูจากรูปที่ 4.21-รูปที่ 4.24 โดยกำหนดให้ค่า SNR คงที่จะเห็นได้ว่า รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพ BER ดีที่สุดมีค่าความผิดพลาดน้อยสุดทั้งสำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างและการวัดจริง รองลงมาเป็นรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ตามลำดับ ส่วนในการใช้เครื่องรับที่ใช้สัญญาณเกาส์ในอนุพันธ์ต่างๆ นั้นจะให้ค่า BER ที่มีความผิดพลาดมากกว่าการใช้เครื่องรับแบบสัญญาณแม่แบบที่เราได้ทำการนำเสนอ เนื่องจากเครื่องรับที่เราได้นำเสนอนั้นใช้สัญญาณที่รับได้มาเป็นสัญญาณแม่แบบโดยกำหนดให้ได้ค่าสัญญาณที่ดีที่สุดจึงทำให้ผลจากการสหสัมพันธ์จึงให้ค่าสัญญาณที่สูงที่สุด เหมือนกับการใช้เครื่องรับแบบแมตซ์ฟิลเตอร์ และเมื่อเทียบกับเครื่องรับค้นแบบที่สร้างสัญญาณแม่แบบเพื่อใช้ในการสหสัมพันธ์แล้ว จะให้ผลที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเครื่องรับที่เราได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์นี้จึงเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ยังไม่ได้พิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศที่ใช้ส่งและรับดังนั้นเพื่อในการออกแบบระบบการสื่อสาร UWB ที่มีความถูกต้อง จึงควรวิเคราะห์ที่สายอากาศแบบต่างๆ และทำการเปรียบเทียบช่องสัญญาณแบบต่างๆ เพื่อดูประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kazimierz S. and Debra M. **Ultra-Wideband Radio Technology.** England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [2] K.Siwiak, “**Ultra Wideband radio: introducing a new technology,**” 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001. H.T. Friis, “**A Note on a Simple Transmission Formula,**” *Proc. IRE*, vol. 34, pp. 254-, May 1946.
- [3] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. **Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering.** England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [4] Kentaro Taniguchi, Ryuji Kohno Yokohama National University “**Design and analysis of Template Waveform for Receiving UWB Signals,**” International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies (Joint UWBST & IWUWBS 2004) pp. 125-129, May 2004.
- [5] S. Promwong, and L. Takada, “**Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas,**” *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 7, pp.188-192, July 2004.
- [6] 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.
- [7] James D. Taylor. **Introduction to Ultra –Wideband Radar Systems.** USA : CRC Press. 1995.
- [8] Ian O., Matti H. and Jari I. **UWB Theory and Applications.** England : John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [9] 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), pp. 626-629, May 2005.
- [10] Simon R. Saunders. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems.** England : John Wiley & Sons Ltd. 1999.

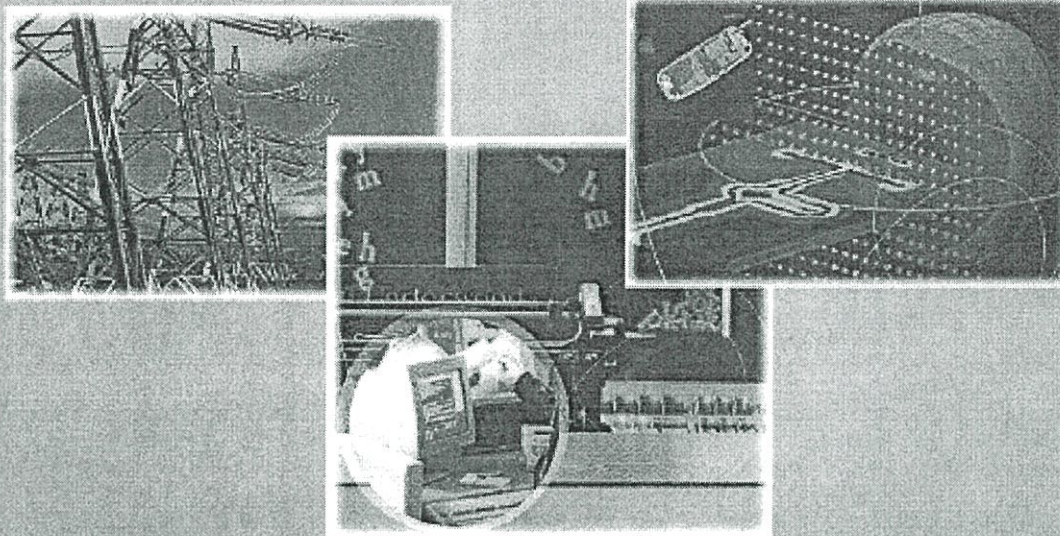
- [11] Theodore S. Rappaport. **Wireless Communications Principles and Practice**. USA : Prentice-Hall Inc. 1996. Joseph H. Microwave Engineering:Passive, Active and Non-Reciprocal Circuits. USA : McGraw Hill Inc. 1992.
- [12] J. Takada, S. Promwong, and W. Hachitani, “**Extension of Friis’ Transmission Formula for Ultra Wideband System**,” IEICE Tech. Rep., WBS2003-8/MW2003-20, May 2003.
- [13] Dimitris G. Manolakis, Vinay K. Ingle and Stephen M. Kogon. **Statistical and Adaptive Signal Processing**. USA : McGraw Hill ,Inc. 2000.
- [14] J.G. Proakis, **Digital Communications**,4th edition. USA : McGraw Hill ,Inc. 2001.
- [15]P. Supanakoon, K. Teplee, S. Promwong S. Keawmeechai and J. Takada, “**Theoretical SNR Gain and BER Performance of UWB Communication with Match Filter and Correlation Receiver**,” The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computer and Communications (ITC-CSCC 2006), no.3, pp.269-272, July 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] **Sanit Teawchim**, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada. "Experimental Study and Analysis of Antenna Effects for UWB Radio Transmission" ECTI-CON, Chiang Rai, Thailand, 9-12 May 2007. pp.757-760
- [2] **Sanit Teawchim** and Sathaporn Promwong. "A Novel of Template Receiver for Ultra Wideband Impulse Radio" JICT 2007, Vientiane, Laos, 19-22 December 2007, pp.296-299
- [3] **Sanit Teawchim** and Sathaporn Promwong. "Waveform Analysis of Template Receiver for UWB Impulse Radio" APSAEM 08, Bangkok, Thailand, 24-25 July 2008, pp.298-298



ECTI-CON 2007

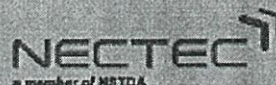
*Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007*

VOLUME 1

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

VOLUME 2

- *Communication Systems*
- *Signal Processing*
- *Computer and Information*



Experimental Study and Analysis of Antenna Effects for UWB Radio Transmission

Sanit Teawchim¹, Sathaporn Promwong¹ and Jun-ichi Takada²

¹Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Email: {s9061060,kpsathap}@kmitl.ac.th

²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,
2-12-1-S6-4, O-okayama, Meguro-ku, 152-8550, Tokyo, Japan.

E-mail: takada@ide.titech.ac.jp

Abstract—This paper present the transmission gain of UWB system based on the extended Friis' transmission formula. The template waveform is considered at the receiver side to maximize the SNR for evaluation. An experimental evaluation of the antenna transfer function needs the three types of broadband antennas. The technique gives very accurate results and is very useful for design and evaluation of UWB impulse radio transmission systems, especially for the evaluation of waveform distortion effects.

Keywords: UWB, link budget, transmission gain, Friis' transmission formula

I. INTRODUCTION

The propagation 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 transmitter and receiver is not significant because of the distortion of the waveform caused by the frequency response of the antenna.

In this paper, we discuss the free space link budget and transmission gain evaluation scheme for UWB impulse radio systems. 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 impulse radio systems. The transmission waveform and the receiver template waveform are keys for the extension of the Friis' transmission formula to UWB transmission signal.

II. THEORY

In this study, we focus on the link budget evaluation for UWB impulse radio system in free space.

A. Extension of Friis' Transmission Formula for UWB transmission System

The Friis' transmission formula [1] has been widely used, and can be applied to the calculation of these LOS channels.

$$G_{\text{Friis}}(f) = \frac{P_r(f)}{P_t(f)} = G_r(f)G_t(f)G_i(f), \quad (1)$$

where G_r and G_t are Rx and Tx antenna gain,

$$G_i(f) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

is the free space propagation gain (less than unity in practice), $\lambda = \frac{c}{f}$ is the wavelength, c is the velocity of the light, f is the operating frequency, and d is the separation between transmitter and receiver antennas.

It is noted, however, that Eq. (1) is satisfied only at some certain frequency, and is not directly applicable to UWB systems. 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

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t), \quad (3)$$

where

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1. \quad (4)$$

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

$$H_{\text{c-Friis}}(f) = \frac{V_r(f)}{E_i} = H_r H_i H_t \cdot H_i, \quad (5)$$

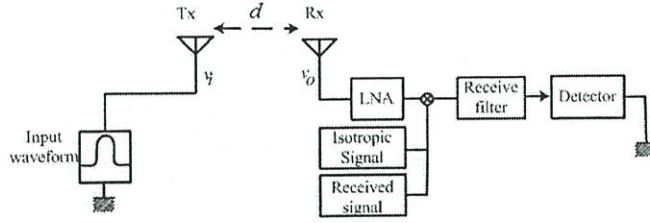


Fig. 1. Block diagram of transmission system for the extension of Friis' transmission formula to treat UWB signal.

where

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a &= \mathbf{H}_a(\theta_a, \varphi_a, f) \\ &= \hat{\theta}_a H_{a\theta}(\theta_a, \varphi_a, f) + \hat{\varphi}_a H_{a\varphi}(\theta_a, \varphi_a, f) \quad (6) \\ a &= r \text{ or } t, \end{aligned}$$

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

$$H_f = \frac{\lambda}{4\pi d} \exp(-jkd), \quad (7)$$

is the free space transfer function where

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (8)$$

is the propagation constant.

B. Correlation Receiver

Let us consider a correlation receiver shown in Fig. 1. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. The correlator output $v_o(\tau)$ is therefore expressed as

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt, \quad (9)$$

where $v_r(t)$ is the receiver input waveform which is inverse Fourier transform, and $h_w(t)$ is the template waveform. τ corresponds to the timing of the template waveform, and the optimum timing τ_o is chosen as

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau). \quad (10)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (11)$$

where B is the signal bandwidth, so that the output noise power is constant as $N_0 B$, where $\frac{N_0}{2}$ is power spectral density of AWGN.

Under the constraint of Eq. (11), $h_{wm}(t)$ maximizes $v_o(\tau_o)$ when $h_{wm}(t)$ is a time-reversed and scaled version of $v_r(t)$, i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_r(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

where τ_o is usually chosen so that $h_{wm}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. $h_{wm}(t)$ is called the optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in Ref. [5] when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

C. Isotropic Correlation Receiver

It is obvious from Eq. (12) that the optimum template waveform is not the simple time-reversed version of the transmitter waveform, but the channel characteristics including the antennas and the free space propagation. Therefore, it is not always feasible to adapt the template waveform to the angular-dependent antenna characteristics, since the waveform shall be generated at the clock rate of tens of gigahertz. Therefore, we consider a canonical template waveform $h_{wc}(t)$. In this paper we have chosen $h_{wc}(t)$ that is optimum for the isotropic and the constant gain antennas, i.e.

$$h_{wc}(t) = \frac{\sqrt{2B} v_{r-iso}(\tau_o - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_{r-iso}(t)|^2 dt}}, \quad (13)$$

where

$$v_{r-iso}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_f(f) V_i(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (14)$$

is the receiver input voltage for isotropic antenna including. The difference between the optimum and the isotropic templates indicates quantitatively the distortion of the waveform.

III. UWB ANTENNA TRANSFER FUNCTION MEASUREMENTS

A. UWB waveform Transmission

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

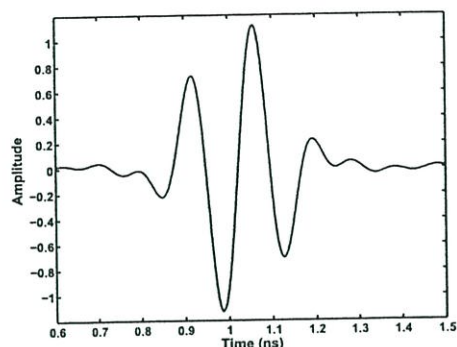


Fig. 2. The transmission waveform of UWB signal.

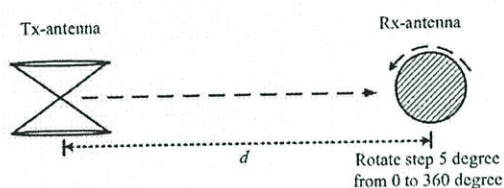


Fig. 3. Top view antenna setting.

radio signal that fully covers the FCC band [4], 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 roll-off filter with roll-off factor $\alpha = 0$ (rectangular window) and passband $\left(f_0 - \frac{f_b}{2}, f_0 + \frac{f_b}{2}\right)$. Figure 2 shows the transmit pulse waveform. The transmission process of the pulse waveform is simulated based on the measured transfer function of the antenna.

B. Experimental Setup and Measurement Model

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. Biconical antennas with the maximum diameter of 65.3 mm and the length of 37 mm are used both as the standard antennas and as AUT. The measurement was done in the anechoic chamber. Both Tx and Rx antennas were fixed at the height of 1.75 m and separated at a distance of 4 m.

Figure 3 shows the orientations of the S_{21} , transfer function measurement for Tx and Rx antennas. The Tx antenna is fixed at pointing angle 0° and the Rx antenna

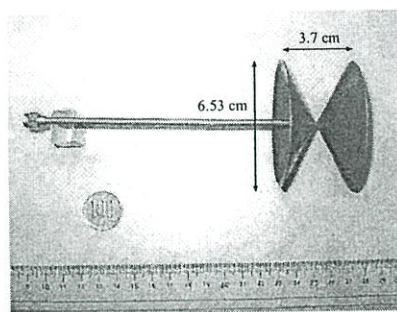


Fig. 4. Biconical antenna structure.

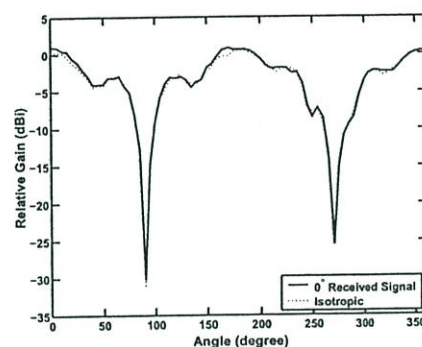


Fig. 5. Normalized UWB transmission gain for biconical-biconical link.

is rotated from pointing angle 0° to 360° with each step at 5° .

IV. EXPERIMENT RESULTS

In this section, standard broadband antennas and deployable antennas are used in the measurement for the link budget evaluation.

USA suggested the use of a biconical antenna, and log-periodic antenna for the frequency ranges of 30 – 200 MHz, 200 – 960 MHz, and 0.96 – 18 GHz, respectively, for the compliance test of UWB transmitters [6]. We chose these two kinds of antennas, operating in the same frequency range.

1) *Biconical Antenna*: First, the same biconical antennas were used at both Tx and Rx sides. Figure 5 shows the normalized UWB transmission gain as a function of antenna pointing angle in E-plane. Well-known 8-shaped patterns were obtained. Two template waveforms were used for comparison, and the difference was rather small. The phase center of the biconical antenna is the feed point and it has theoretically the frequency independent gain at the broadside direction, and that is why the waveform distortion effect is small compared with the isotropic template.

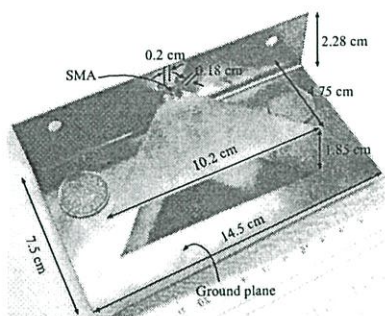


Fig. 6. Trapezoidal antenna with L-shaped ground plane.

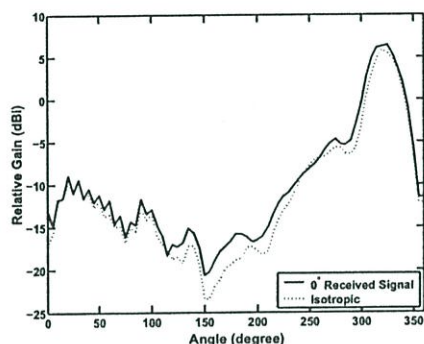


Fig. 7. Normalized UWB transmission gain for biconical-trapezoidal link.

2) *Trapezoidal Antenna*: A trapezoidal antenna with the L-shaped ground plane has been introduced by Duzdar and Kompa [7] and was later modified by Eskelinen [3]. We have chosen this antenna just for the ease of the fabrication. The structure and dimensions of the antenna is shown in Fig. 6. The element shape itself is similar to that of a bow-tie antenna, but the L-shaped ground plane is parallel to the trapezoidal element to achieve the unidirectional characteristics.

Figure 7 shows the normalized UWB transmission gain pattern for biconical-trapezoidal link in E-plane. Note that 0° and 270° are the top and the broadside of the antenna, respectively. The peak is found at 320° . Therefore, the peak is elevated from the broadside of the antenna toward the top. The gain is relatively high, and the difference between two templates is small. As Refs.[1] consider the waveform transmission applications, the waveform distortion seems to be small.

V. CONCLUSION

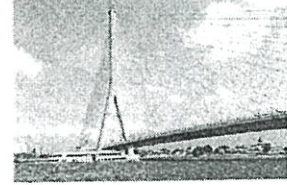
This presented the evaluation scheme for UWB transmission gain, which includes the transmit waveform, the antennas, free space propagation, and the receiver corre-

lator template. By using the definition, we have evaluated two types of broadband antennas. The performance can be evaluated only by the UWB transmission gain.

REFERENCES

- [1] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, vol. 34, no. 5, pp. 254–256, 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] P. Eskelinen, "Improvements of an inverted trapezoidal pulse antenna," IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 43, no. 3, pp. 82–86, June 2001.
- [4] 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.
- [5] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp. 188–192, July 2004.
- [6] 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.
- [7] A. Duzdar and G. Kompa, "A novel trapezoidal antenna fed by a ground image plane and backed by a reflector," Proc. European Microwave Conference (EuMC) 2000, vol. 2, pp. 1–4, Paris, France, Sept. 2000.

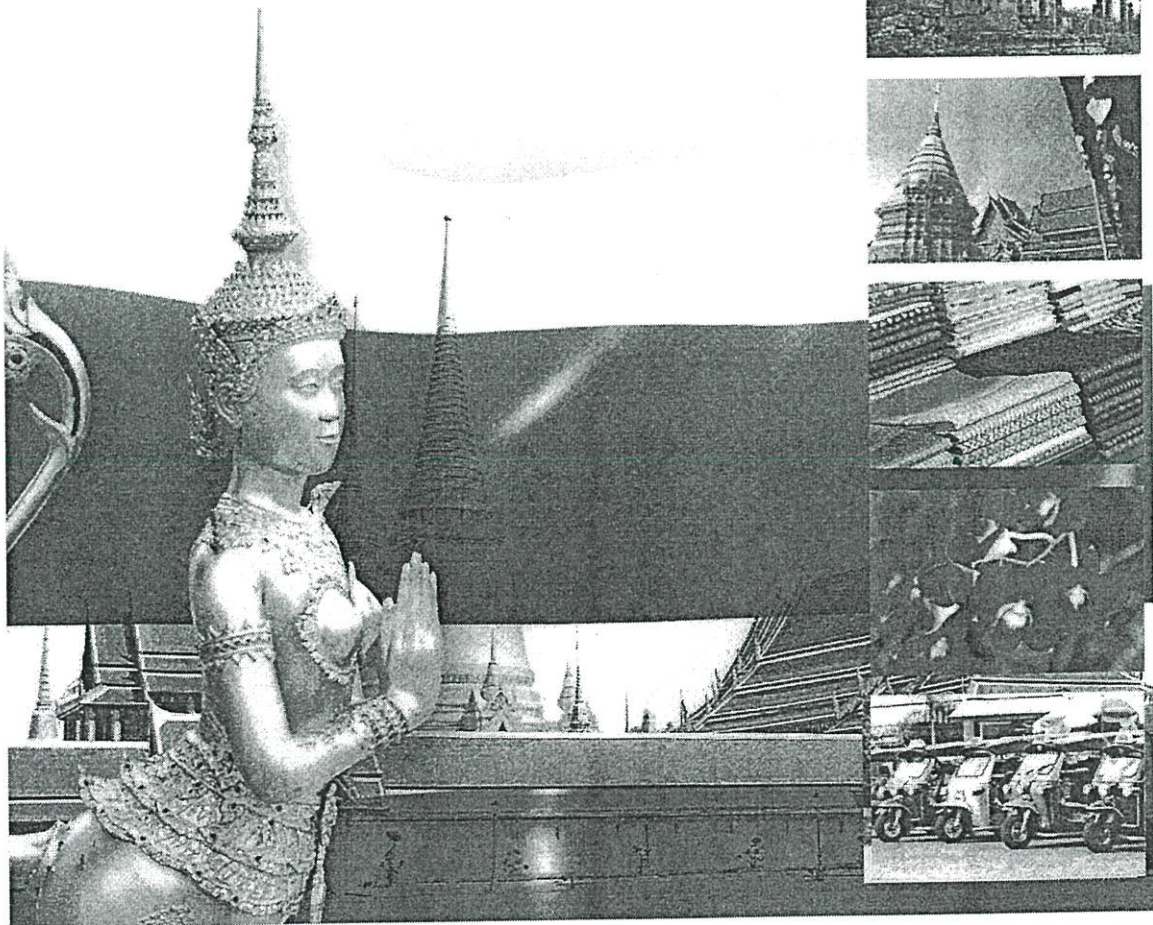
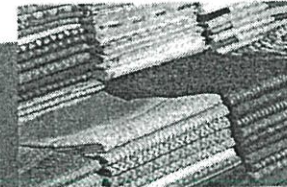
Sponsors



APSAEM08

Bangkok, Thailand, July 24-25, 2008.

Organized by Department of Electrical Technology Education,
King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)



Waveform Analysis of Template Receiver for UWB Impulse Radio

Sanit Teawchim¹ and Sathaporn promwong¹,

¹ Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: {ktsanit, kpsathap}@kmitl.ac.th

This paper presents a method to evaluate the performance of template receiver used for UWB systems. We analyze the performance of template receiver by considering many signal waveforms, such as Gaussian waveform [1, 2], the Modified Hermite Pulse [3] etc. For simulation scheme, we pick one signal from several signals to be the transmit signal and pass it through the channel created by simulation. Then, we can get the received waveform. After that the received waveform will be brought to the template. The template that we design will change several signal waveforms to compare with received waveform. Form examination of template, we can find the suitable waveform to be the template signal by comparing the performance of BER and signal to noise ratio (SNR).

Keywords: UWB, BER, SNR.

1. INTRODUCTION

The Ultra Wideband (UWB) impulse radio technology has an important for wireless communication because of its potentiality for application to short-range wireless as computer device (PDA, smartphone, laptop computer, etc.) for Wireless Personal Area Network (WPAN) [4]. UWB has low cost, low power, high data rate and high capacity. The Federal Communication Commission (FCC) specified UWB signal has frequency spectrum range at 3.1 GHz to 10.6 GHz [5]. That has large bandwidth more over other wireless communication.

In this paper we consider many pulse waveform template signal that have been investigated the performance for UWB receiver. Due to UWB system use pulse for communication there for it wants to detect pulse signal. The waveform transmit signal used in this paper. We used Gaussian modulated waveform and Hermit waveform for transmission. Which transmitted waveform in this experiment used Pulse Position Modulation (PPM)

In this section we propose technique for improve signal at the receiver. The template receiver is matching of received signal with signal template, When we know time and shape of signal. By increase the received energy, it can be detection. The convention template receivers have a template generator for generated the signal waveform. After that correlated with received signal, but in this paper we use received signal instead template generator. That important process is increase the received energy. In this research we present technique it difference from conventional template. By we used received signal for template receiver correlate with received signal. The performance will follow change the template waveform. Then, we consider other

parameter such as delay time bit error rate (BER), signal to noise ratio (SNR) [9] etc.

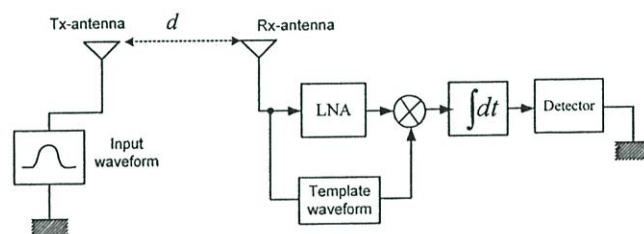


Fig. 1 Block diagram of template receiver for UWB system.

2. THEORY

The Friis' Transmission Formula [6], [7] has been widely used and can be applied calculation of these LOS channels

$$G_f = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

Where

$$G_c = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 G_t G_r \quad (2)$$

Where d is distance and c is the velocity. The free space channel of UWB in this experiment used complex transfer function channel. The transfer function channel H_f can be express as

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

These papers we used transmission signal for UWB radio communication by consider Gaussian signal, for this experiment. That specified power spectrum density of signal has constant. Then power spectrum density of signal for UWB radio is given as

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |V_t(f)|^2 \quad (4)$$

where T_s is time per one bit, V_t is power spectrum density of UWB transmission signal, which calculate from Fourier transform in time domain v_t . that express by

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

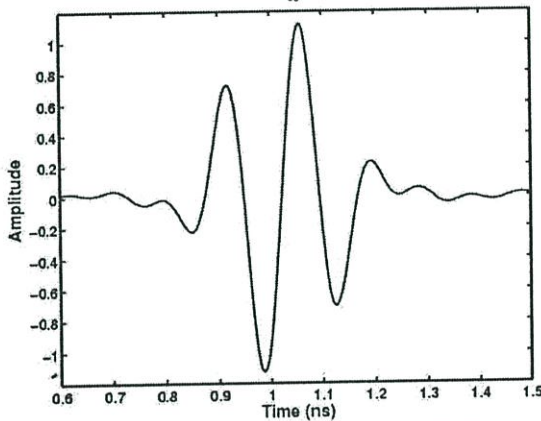


Fig.2 The transmitted waveform of UWB.

$$f(t) = A e^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (6)$$

Where τ_0 is usually chosen so that $h_{wm}(t)=0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. $h_{wm}(t)$ is called optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in [9] when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

The transmit signal of UWB that use for template signal. We consider Gaussian modulates for transmission and use eight Gaussian order correlated with received signal.

The transmit signal as is amplitude shift This experiment used simulation signal processing for these operation. By generated signal many type for transmission signal. Considered the transmission signal that fully covers the FCC band [2] the center frequency and bandwidth were set to be $f_0 = 6.85$ GHz. and $f_b = 7.5$ GHz, respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was pulse position modulation. The parameter for simulation show as

table.1 That specified operation through complex transfer function channel for UWB. The result will be show the performance each a template signal waveform.

The Hermit transmit waveform can be express as Eq.7.

$$H_n(z) = \frac{n!}{2\pi i} \oint e^{-t^2+2tz} t^{-n-1} dt, \quad (7)$$

and

$$h_0(t) = k_0 e^{-t^2/4\tau^2} \quad (8)$$

Where n is number of order and the template waveform of Gaussian that used in correlation it can show that.

2.1 Template Receiver

Let us consider a correlation receiver show in Fig. 1 The output SNR is depend on the choice of the template waveform. The waveform will difference form convention receiver as Fig.1, that used template receiver for generate waveform correlation with received signal. In this paper we use received signal for template waveform. The correlator output $v_t(\tau)$ is therefore expressed as

$$v_t(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t-\tau) dt \quad (9)$$

Where. $v_t(t)$ is the receiver input waveform which is inverse Fourier transform, and $h_w(t)$ is the template waveform. τ corresponds to the timing of the template waveform and the optimum timing τ_0 is chose as

$$\tau_0 = \arg \max_{\tau} v_o(\tau) \quad (10)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (11)$$

Where B is the signal bandwidth, so that the output noise power is constant as $N_o B$, where $\frac{N_o}{B}$ is power spectrum density of AWGN.

Under the constant of Eq.12, $h_{wm}(t)$ maximize $v_o(\tau_0)$ when $h_{wm}(t)$ a time-reverse is and scale version of, $v_r(t)$ i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_r(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

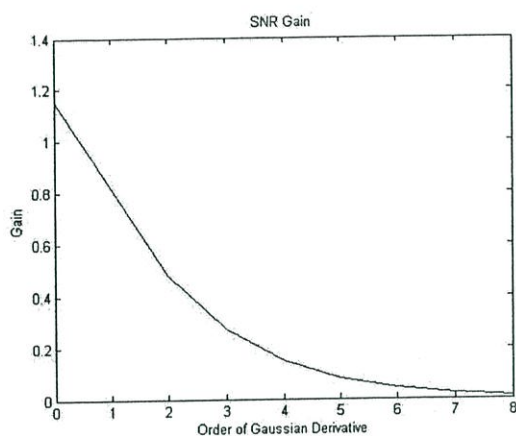


Fig. 3 SNR Gain of Gaussian waveform first order.

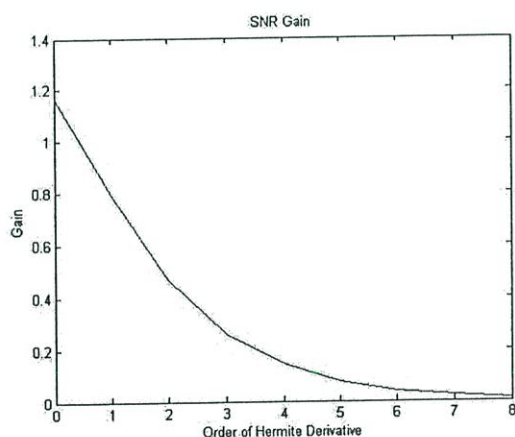


Fig. 4 SNR Gain of Hermit waveform first order.

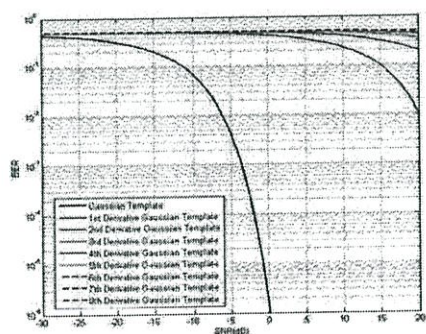


Fig. 5 BER of Hermit waveform first order..

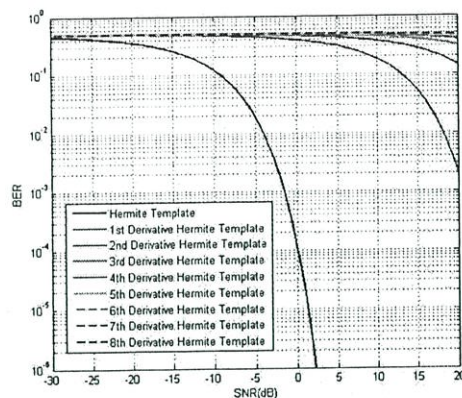


Fig. 6 BER of Hermit waveform first order.

Table 1: Parameter of simulation

PARAMETER	
Frequency range	3.1GHz.-10.6 GHz.
Bit rate	110 Mbps
Modulation	PPM
Gaussian order pulse	1-8
Channel	AWGN

2.2. Simulation signal processing of template receiver

This experiment used simulation signal processing for these operation. By generated signal two type for transmission signal. Considered the transmission signal that fully covers the FCC band [2] the center frequency and bandwidth were set to be $f_0=6.85$ GHz. and $f_b=7.5$ GHz, respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was pulse position modulation. The parameter for simulation show as table.1That specified operation through complex transfer function channel for UWB. The result will be comparison two receiver is Gaussian waveform receiver and Hermit waveform receiver, for

comparison performance each template signal waveform.

3. SIMULATION RESULT AND DISCUSSION

The result of experiment shows as Fig. 4 and Fig. 5 is SNR Gain of Gaussian waveform first order. When we used Gaussian waveform first order is template receiver it can see that, SNR gain it closely with use Hermit pulse and BER of Hermit waveform first order its closely BER of Hermit waveform first order. It can see that the SNR gain at $BER = 10^{-3}$ [8] we got the result correlation receiver, that use Gaussian waveform first order of -7.8750 and Hermit waveform first order of -5.4250, respectively. Which was the result from correlation, when comparison SNR gains and BER of many Gaussian waveform and Hermit waveform. It can see performance of template by using Gaussian waveform better than template is using Hermit waveform but Hermit waveform give as SNR higher using Gaussian waveform

4. CONCLUSION

This paper present template waveform receiver for UWB communication system. We focus on waveform and template receiver, by analysis performance of our design template receiver. We used many waveform for indicate the performance. From simulation template receiver its use Gaussian waveform and Hermit waveform give as SNR gain and BER too closely. It both waveforms should be implemented. In the future we will consider in channel measurement.

REFERENCES

- [1] 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), pp. 626-629, May 2005.
- [2] Pichaya Supanakoon, Kritsana Wansing, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada "Simple Waveform for UWB Communication," International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT'06), Bangkok, pp. 605-608, October 2006.
- [3] M. Ghavami L. B. Michael R. Kohno " Ultra Wideband signals and systems in communication engineering," England John Wiley & Sons, Ltd. 2004
- [4] K.Siwiak, "Ultra Wideband radio: introducing a new technology," 2001 Spring IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 2, pp. 1088-1093, May 2001
- [5] 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.
- [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] S. Promwong, and L. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," IEICE Electronics Express, vol. 1, no. 7, pp.188-192, July 2004.
- [8] Kentaro Taniguchi, Ryuji Kohno Yokohama National University "Design and analysis of Template Waveform for Receiving UWB Signals," International Workshop on Ultra Wideband Systems Joint with Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies (Joint UWBST & IWUWBS 2004) pp. 125-129, may 2004.
- [9] P. Supanakoon, K. Teplee, S. Promwong S. Keawmeechai and J. Takada, "Theoretical SNR Gain and BER Performance of UWB Communication with Match Filter and Correlation Receiver," The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computer and Communications (ITC-CSCC 2006), no.3, pp.269-272, July 2006.

**JICT
2007**

Proceedings

Joint International Conference
on Information Communication Technology



JICA

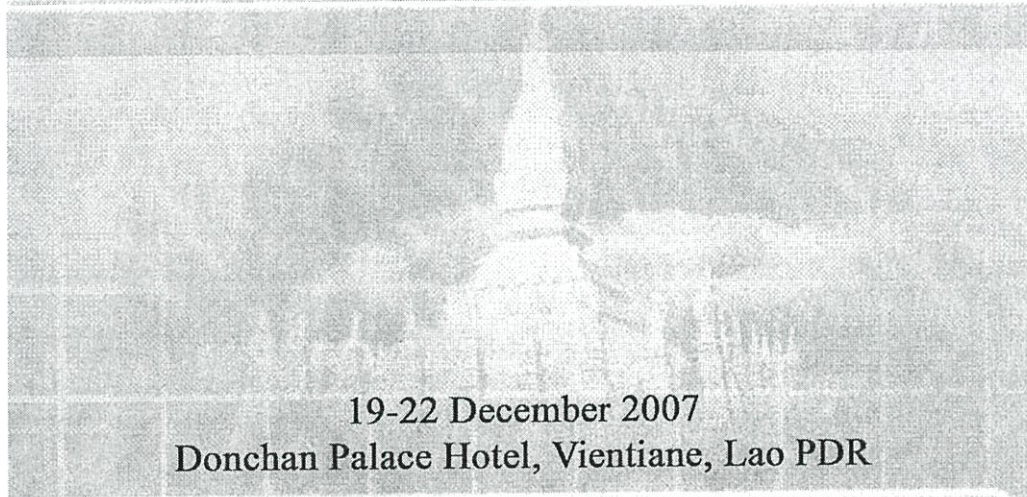


**TOKAI
UNIVERSITY**

**MEIJI
UNIVERSITY**

**ECTI
Association**

日本シミュレーション学会
JSST
Japan Society for Simulation Technology



19-22 December 2007
Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR



CT
07

JICT
2007

JICT
2007

JICT
2007

JICT
2007

JICT
2007

JICT
2007

NOVEL TEMPLATE RECEIVER FOR ULTRA WIDEBAND IMPULSE RADIO

Sanit Teawchim, Sathaporn Promwong,

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

ABSTRACT

This paper a novel template receiver for ultra wideband impulse radio. Which designed template waveform and evaluated bit error rate and signal to noise ratio gain for most performance of each a template waveform. By using many pulse gaussian waveform difference type. That difference of template waveform is generated transmission signal. The result from this experiment is template signal correlated with received signal. The performance of each a template receiver will indicate performance for design appropriate template waveform for UWB receiver

1. INTRODUCTION

The Ultra Wideband (UWB) impulse radio technology has an important for wireless communication because of its potentiality for application to short-range wireless as a candidate for Wireless Personal Area Network (WPAN) [1]. UWB has low cost, low power, high data rate and high capacity. The Federal Communication Commission (FCC) specified UWB signal has frequency spectrum range at 3.1 GHz to 10.6 GHz [2]. That have large bandwidth more over other wireless communication.

In this paper, we consider many pulse waveforms for transmission signal that have been investigated for UWB impulse radio. such as Gaussian monocycle[3], Gaussian doublet and Gaussian third order. Which gaussian signal waveform in experiment used for Pulse position Modulation (PPM) scheme.

In this section, we propose technique for improve signal at the receiver side. By focus on conventional template receiver. For correlation with received signal. The conventional template receiver[4]-[5] will generated many pulse signal waveform for correlation. That difference from this paper is we use received signal instead generated signal waveform. That important process for increase signal to noise ratio, due to UWB system want to detect signal . In this paper we present technique by use many waveform for signal processing by using many gaussian signal for transmission signal, that was pulse position modulation and specified isotropic antenna type. Not only that, we still used complex transfer channel for UWB radio communication. The impact from distortion and attenuation in channel UWB will be consider together.

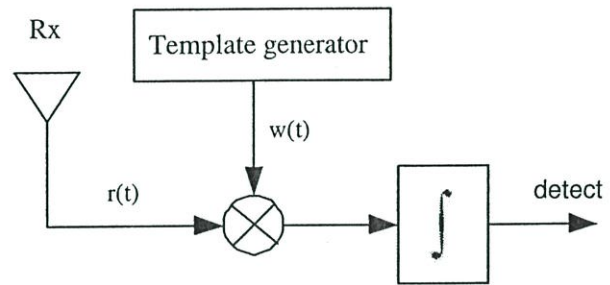


Figure 1. The conventional receiver structure in PPM-UWB system

2. THEORY

2.1. Free space transfer function

Friis' Transmission Formula[6]. has been widely used and can be applied calculation of these LOS channels[7]

$$G_f = \frac{c^2}{16\pi^2 f^2 d^2} \quad (1)$$

where d is distance and c is the velocity. The free space channel of UWB in this experiment used complex transfer function channel. The transfer function channel H_f can be express as

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

These paper we used transmission signal for UWB radio communication by consider gaussian signal, for this experiment. That specified power spectrum density of signal has constant. Then power spectrum density of signal for UWB radio is given as

$$S(f) = \frac{1}{T_s} |V_t(f)|^2 \quad (3)$$

where T_s is time per one bit, V_t is power spectrum density of UWB transmission signal, which calculate from Fourier transform in time domain v_t . that express by

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (4)$$

The transmission signal of UWB, that use for template signal we consider three signal waveform, Gaussian monocycle, Gaussian doublet and Gaussian third order, for comparison performance each a template receiver. The first Gaussian monocycle that express as equation

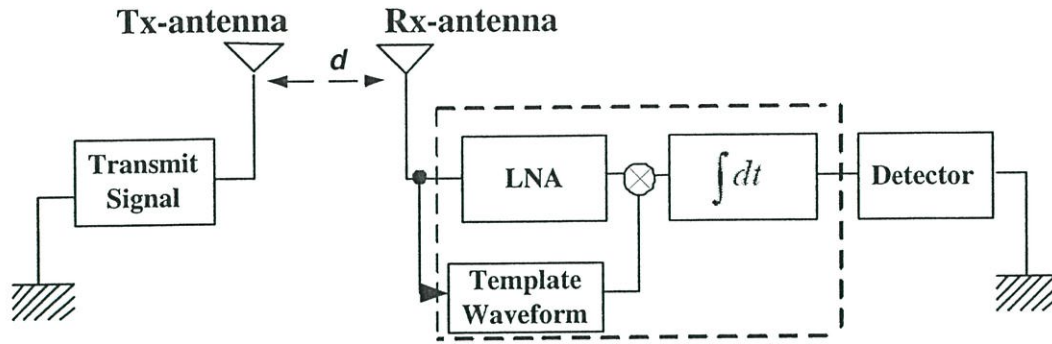


Figure 2. The block diagram of template receiver for UWB system

Table 1. Simulation conditions parameters.

Parameter	Value
Frequency range	3.1 GHz to 10.6 GHz
Bit rate	110 Mbps
Modulation	PPM
Gaussian order	1,2,3
Channel	AWGN

$$v_t = K \frac{-2t}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \quad (5)$$

where $-\infty < t < \infty$, K is constant value and τ is pulse bandwidth that show as Fig. 3 which K express as

$$K = \sqrt{\frac{\tau E}{\sqrt{\pi/2}}} \quad (6)$$

where E is energy, later consider Gaussian doublet for transmit signal. Gaussian doublet can be express that equation

$$v_{g2}(t) = K_2 \left(\frac{-2}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} + \frac{4t^2}{\tau^2} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (7)$$

where τ is pulse bandwidth and K_2 is constant value that show as Fig. 4 last signal we consider Gaussian third order use for transmission signal by defined as

$$v_{g3}(t) = K_3 \left(\frac{12}{\tau^4} e^{-(t/\tau)^2} + \frac{8t^3}{\tau^6} e^{-(t/\tau)^2} \right) \quad (8)$$

where τ is pulse bandwidth and K_3 is constant value that show as Fig. 5

2.2. Correlation Receiver

Let us consider a correlation receiver shown in Fig. 2. The output SNR is dependent on the choice of the template waveform. that difference from conventional receiver as Fig. 1, that used template generator for generated waveform w_t correlation with receive signal. but in this paper

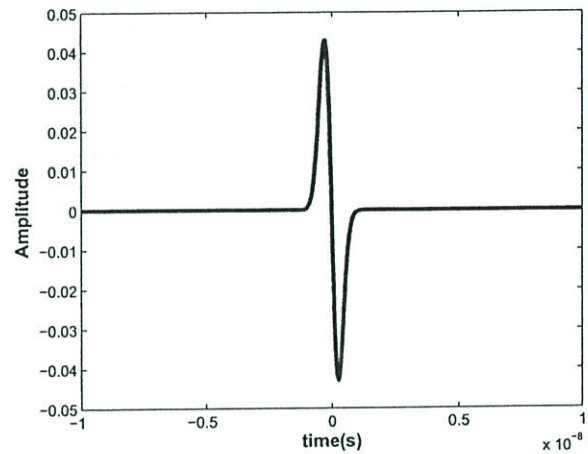


Figure 3. The transmission signal of Gaussian Monocycle

we use received signal for template waveform. The correlator output $v_o(\tau)$ is therefore expressed as

$$v_o(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} v_r(t) h_w(t - \tau) dt, \quad (9)$$

where $v_r(t)$ is the receiver input waveform which is inverse Fourier transform, and $h_w(t)$ is the template waveform. τ corresponds to the timing of the template waveform, and the optimum timing τ_o is chosen as

$$\tau_o = \arg \max_{\tau} v_o(\tau). \quad (10)$$

Hereafter $h_w(t)$ is normalized as

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h_w(t)|^2 dt = 2B, \quad (11)$$

where B is the signal bandwidth, so that the output noise power is constant as $N_0 B$, where $\frac{N_0}{2}$ is power spectral density of AWGN.

Under the constraint of Eq. (11), $h_{wm}(t)$ maximizes $v_o(\tau_o)$ when $h_{wm}(t)$ is a time-reversed and scaled version

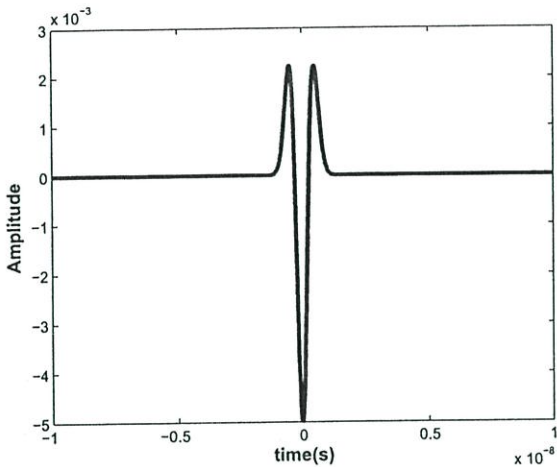


Figure 4. The transmission signal waveform of Gaussian doublet

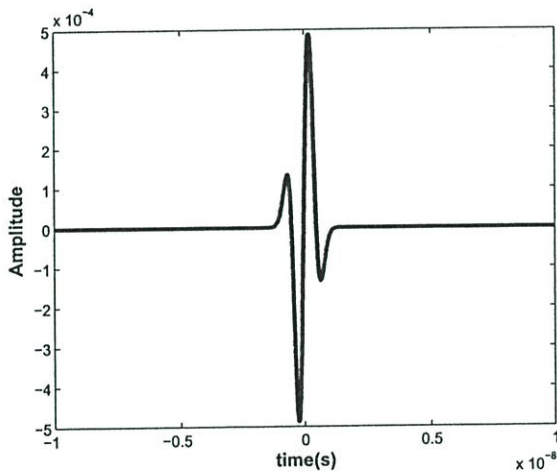


Figure 5. The transmission signal waveform of Gaussian third order

of $v_r(t)$, i.e.

$$h_{wm}(t) = \frac{\sqrt{2B}v_r(\tau_0 - t)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |v_r(t)|^2 dt}}, \quad (12)$$

where τ_0 is usually chosen so that $h_{wm}(t) = 0$ for $t < 0$ to satisfy the causality. $h_{wm}(t)$ is called the optimum template waveform hereafter. It is noted that the link budget evaluation is identical to that in [8] when $h_{wm}(t)$ is used as the receiver template.

2.3. Simulation signal processing of template receiver

This experiment used simulation signal processing for these operation. By generated signal many type for transmission signal. That considered the transmission signal that fully covers the FCC band [2] the center frequency and bandwidth were set to be $f_0=6.85$ GHz. and $f_b=7.5$ GHz,

respectively. The transmit waveform assumed in the simulation was pulse position modulation. The parameter for simulation show as table.1 That specified operation through complex transfer function channel for UWB. The result will be comparison two receiver is match filter receiver and correlation receiver, for comparison performance each template signal waveform.

3. ANALYSIS PERFORMANCE OF TEMPLATE RECEIVER

The performance of template receiver we observe at the SNR gain and BER that indicate performance of template receiver. The frequency transfer function of correlation receiver have gain giving to noise power constant, so SNR gain of correlation receiver can be defined as average power of receiver to average power of received signal ratio. SNR gain of correlation receiver G_c can calculate as

$$G_c = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} v_c^2(t)dt}{\int_{-\infty}^{\infty} v_r^2(t)dt} \quad (13)$$

which we knows SNR gain can be find relative between SNR gain at input and output of receiver
The BER can considered from correlation coefficient between received signal with template waveform. The correlation coefficient of correlation coefficient of template waveform C_c show as

$$C_c = \frac{\max|r_{vrhc}(\tau)|}{\sqrt{\max|r_{vr}(\tau) \cdot \max|r_{hc}(\tau)|}} \quad (14)$$

where r_{fg} is cross correlation $f(t)$ with $g(t)$ and r_f is auto correlation of $f(t)$ can be defined as

$$r_{fg}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f * (t)g(t + \tau)dt \quad (15)$$

$$r_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f * (t)f(t + \tau)dt \quad (16)$$

The BER of correlation receiver for AWGN channel, that have modulation scheme was $B_{c,a}$ and $B_{c,o}$ show as

$$B_{c,a} = Q \left(\sqrt{\frac{2C_c G_c f_b}{B_r} S/N} \right) \quad (17)$$

$$B_{c,a} = Q \left(\sqrt{\frac{C_c G_c f_b}{B_r} S/N} \right) \quad (18)$$

4. SIMULATION RESULT AND DISCUSSION

The Fig. 6 show the result from some experiment. That using signal template waveform. That received signal for indicated performance, is received signal from template receiver correlation with received signal. That in the Fig. 6 comparison three signal waveform is Gaussian monocycle waveform, Gaussian doublet waveform and Gaussian third order waveform for template receiver. It can seen that the SNR at the 10^{-3} , we got the result correlation receiver, that used Gaussian monocycle waveform of -1.13

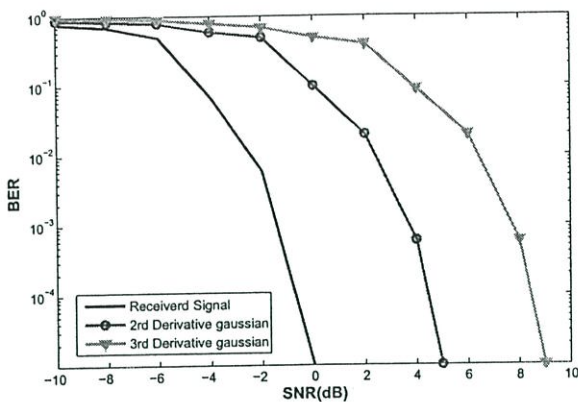


Figure 6. Performance of template receiver of UWB

dB, for Gaussian doublet waveform of 3.78 dB, and at the used Gaussian third order waveform of 7.82 dB, respectively. Which was the result from correlation receiver by used Gaussian monocycle, when compared SNR and BER with Gaussian doublet and Gaussian third order is result that use Gaussian monocycle signal that has SNR better than Gaussian doublet and Gaussian third order signal.

5. CONCLUSION

This paper presented template waveform receiver for UWB radio communication. We use several type of signal waveform to evaluate The performance of our receiver template and find the signal corresponding with this template. From the result indicates that the Gaussian monocycle signal used in the experiment is give more value in BER. However, it is better than other types that is Gaussian doublet signal and Gaussian third order. Therefore in order to take the best performance from our template, the Gaussian monocycle signal should be implement. In the future we will additive consider use difference type, for comparison performance the template receiver with gaussian signal waveform transmission. that find the best signal waveform for use UWB communication.

6. REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Moz F. Win and Robert A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple Access Communication" *IEEE Trans. Commun.* vol. 48, no. 4, pp. 679-691, April 2000.
- [4] Kentaro Taniguchi, and Ryuji Kohno "Design

and Analysis of Template Waveform for Receiving UWB Signal," Proc. 2004 Int. Workshop Ultra Wideband Syst. / Conf. Ultra Wideband Syst. Tech. (Joint UWBST & IWUWBS 2004), Kyoto, Japan, May 2004. page 125-129.

- [5] 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.
- [6] H.T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946.
- [7] Theodore S. Rappaport "Free space propagation model," *Proc. IRE*, pp. 108-109, .
- [8] S. Promwong, and J. Takada, "Free space link budget estimation scheme for ultra wideband impulse radio with imperfect antennas," *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 7, pp. 188-192, July 2004.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสนธิ เตยวณิม
วัน เดือน ปีเกิด	7 กรกฎาคม 2525 ที่ อ.เหนือคลอง จ. กระบี่
ที่อยู่	83 หมู่ 4 หมู่บ้านทุ่งสาคร ต. ปากส้าย อ.เหนือคลอง จ.กระบี่ 81130
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาพระนครเหนือ
พ.ศ.2549-2551	ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
	ผลงานวิจัย
พ.ศ.2550	Sanit Teawchim, Sathaporn Promwong and Jun-ichi Takada “ Experimental Study and Analysis of Antenna Effects for UWB Radio Transmission ”National Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association (ECTI-2007), Mae Fah Luang University, pp.775-778, Chiang Rai, Thailand, May 9-12, 2007. Sanit Teawchim and Sathaporn Promwong “ Novel Template Receiver for Ultra Wideband Impulse Radio ” The 1st Joint International Conference on Information Communication Technology (JICT 2007), Donchan Palace Hotel, pp296-299, Vientiane, Loas PDR, December 19- 22, 2007