

การประยุกต์ใช้เวฟเลตสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

APPLICATION OF THE WAVELET FOR ULTRA-WIDEBAND
COMMUNICATION SYSTEM

ธัญญ์ พงศ์พิสุทธิ์
TANAT PONGPISUT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2497-0

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้เวฟเลตสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

APPLICATION OF THE WAVELET FOR ULTRA-WIDEBAND
COMMUNICATION SYSTEM

ธนัฐ พงศ์พิสุทธิ

TANAT PONGPISUT

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61629
วัน,เดือน,ปี..... ๑๑ ก.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2497-8

**APPLICATION OF THE WAVELET FOR ULTRA-WIDEBAND
COMMUNICATION SYSTEM**

TANAT PONGPISUT

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

2006

ISBN 974-15-2497-8

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง
นักศึกษา	นายธนัฐ พงศ์พิสุทธิ
รหัสประจำตัว	47061140
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. มนต์ชัย แซ่มซ้อย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการออกแบบสัญญาณพัลส์เพื่อใช้ในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีความหลากหลาย เนื่องจากยังไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนสำหรับรูปแบบของสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ออกแบบมาแม้เป็นสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC แต่ยากต่อการนำไปออกแบบอุปกรณ์เพื่อสร้างสัญญาณเหล่านั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอถึงการศึกษาและการประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการสังเคราะห์สัญญาณด้วยเวฟเลทนั้นเป็นวิธีหนึ่งซึ่งสามารถช่วยทำให้การออกแบบอุปกรณ์มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น ด้วยคุณสมบัติเฉพาะของฮาร์เวฟเลทที่มีความเป็นดิจิทัล และมีวิธีการที่ง่ายในการสังเคราะห์สัญญาณ โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณที่ออกแบบมาได้ใกล้เคียงกับสัญญาณต้นแบบ และทำให้ง่ายต่อการออกแบบอุปกรณ์ในการสร้างสัญญาณ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการวิเคราะห์สัญญาณที่สังเคราะห์ออกมาให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC โดยใช้คุณสมบัติของฮาร์ซึ่งเป็นเวฟเลทต้นแบบ อีกทั้งยังประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการใช้ตัวกรองเวฟเลทที่เป็นเวฟเลทต้นแบบที่แตกต่างกัน ทำการเปรียบเทียบตัวกรองเวฟเลทชนิดต่างๆ ในประเด็นของการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนว่าตัวกรองเวฟเลทชนิดใดทำการลดสัญญาณรบกวนในระบบได้ดีที่สุด โดยใช้วิธีการแยกและการรวมเวฟเลทแบบหลายระดับ ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เวฟเลทนั้น สามารถช่วยในการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งได้จริง

Thesis Title	Application of The Wavelet for Ultra-Wideband Communication System
Student	Mr. Tanat Pongpisut
Student ID.	47061140
Degree	Master of Engineering
Programme	Information Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Asst. Prof. Monchai Chamchoy

ABSTRACT

Recently, there are several methods to design UWB pulse. Because of the standard signal waveform is not specific. Although the pulse is satisfied the FCC's standard, it is difficult to implement. This thesis presents the application of the wavelet for ultra-wideband (UWB) communication system. The synthesis signal is one method that can use for implement. The characteristics of Haar wavelet are digital and simple method for synthesizing. By using discrete wavelet transform, the synthesis signal is similar with the mother signal and simple to implement. Therefore, the synthesis signals are analyzed for satisfying the FCC's standard. Moreover, the wavelet is used to detect for this system by using multiple-level wavelet decomposition and multiple-level wavelet reconstruction method. The difference types of the wavelets are compared to consider the best detecting. From the results, it is possible to employ the wavelet for synthesizing and detecting in the UWB communication system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือสนับสนุนและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ก่อนอื่นใดต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ชัย แซ่มะซ้อย ที่คอยควบคุม ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจน แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และคอยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษา และช่วยเหลือผู้วิจัยในการสอบในทุกๆ ครั้งที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่คอยให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาค้างๆ ให้กับผู้วิจัยตลอดเวลาที่ผู้วิจัยมีปัญหาในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พนารัตน์ เจริญนอมวงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ถึงแม้จะศึกษาต่ออยู่ที่ประเทศญี่ปุ่นแต่ยังคงเป็นห่วงและคอยให้คำปรึกษาตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา บุคคลที่มีความสำคัญที่สุดในชีวิต ที่คอยให้กำลังใจ กำลังทรัพย์ และทุกๆ อย่าง โดยไม่มีข้อแม้ใดๆ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จมาถึงทุกวันนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยทำสิ่งต่างๆ ให้มากมาย คอยให้คำปรึกษา เมื่อผู้วิจัยประสบกับปัญหาทางความคิด ก็จะคอยช่วยให้หายเสมอ

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธนัฐ พงศ์พิสุทธิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	4
2.3 กว้างข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.3.1 การนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในสหรัฐอเมริกา.....	5
2.4 การกำหนดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.4.1 คำจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.4.2 วิธีการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.4.3 การออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.5 สรุป.....	15
บทที่ 3 การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้เวฟเลท.....	16
3.1 บทนำ.....	16
3.2 การดำเนินการแบบหลายขั้นตอน (Multirate Processing).....	16
3.2.1 การซัดตัวอย่างแบบลดลง.....	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น.....	18
3.3 การแปลงเวฟเลท (Wavelet transforms).....	18
3.3.1 พื้นฐานของการแปลงเวฟเลท.....	18
3.3.1.1 การสเกล (Scaling).....	19
3.3.1.2 การเลื่อน (Shifting).....	20
3.3.2 การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง (Continuous wavelet transform : CWT).....	21
3.3.2.1 ขั้นตอนในการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง.....	22
3.3.3 การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform : DWT).....	23
3.3.3.1 สเปซเวกเตอร์และ MRA.....	24
3.3.4 การแปลงฮาร์ (Haar Transform).....	27
3.4 การแยกย่อยเวฟเลท (Wavelet Decomposition).....	29
3.4.1 การแยกย่อยเวฟเลทแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition).....	30
3.5 การรวมกลับของเวฟเลท (Wavelet reconstruction).....	31
3.5.1 การสังเคราะห์โดยใช้ส่วนของรายละเอียดและส่วนของการประมาณ.....	32
3.6 สรุป.....	33
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	34
4.1 บทนำ.....	34
4.2 สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์.....	34
4.2.1 พัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform).....	35
4.2.2 พัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulated Rectangular Waveform).....	37
4.2.3 สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian waveform).....	39
4.3 ขั้นตอนในการสังเคราะห์สัญญาณ.....	40
4.4 การตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน.....	41
4.4.1 ตัวกรองเวฟเลท (ฟังก์ชันเวฟเลท).....	41
4.4.1.1 เวฟเลทตระกูล Daubechies.....	41
4.4.1.2 เวฟเลทตระกูล Biorthogonal.....	43
4.4.2 ขั้นตอนในการลดสัญญาณรบกวน.....	44
4.5 แบบจำลองเครื่องส่ง.....	45

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 แบบจำลองเครื่องรับ.....	46
4.7 สรุป.....	46
บทที่ 5 ผลการจำลอง.....	47
5.1 บทนำ.....	47
5.2 ผลการสังเคราะห์สัญญาณ.....	47
5.2.1 การสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	47
5.2.2 การสังเคราะห์พัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกลมอดูเลต.....	50
5.2.3 การสังเคราะห์สัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต.....	52
5.3 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น.....	55
5.4 การประยุกต์ใช้เวฟเลทในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนสำหรับระบบ การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง.....	57
5.5 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการตีเทกสัญญาณ ภายใต้สัญญาณรบกวน.....	59
5.6 สรุป.....	61
บทที่ 6 สรุปผลการจำลองและแนวทางในการพัฒนา.....	62
6.1 วิเคราะห์ผลการจำลอง.....	62
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก ก บทความที่ ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสาร ทั้งภายในและภายนอกอาคาร.....	6
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	35
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ถูกลมอดูเลต.....	37
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต.....	39
5.1 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	50
5.2 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	52
5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม.....	54
5.4 ตัวแปรซึ่งใช้ในการจำลองหาค่าประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น.....	57
5.5 ตัวแปรซึ่งใช้ในการจำลองหาค่าประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกักระบบอื่นๆ.....	5
2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร.....	7
2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร.....	7
2.4 จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	8
2.5 แนวคิดในการสร้างระบบแถบกว้างยิ่ง.....	9
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันขอบของสัญญาณกับการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	10
2.7 เอาท์พุทจากวงจรลอจิกที่ใช้สร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง.....	11
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่ของพัลส์โดย การแปลงฟูรีเยร์ทรานฟอร์ม.....	12
2.9 ลักษณะของสัญญาณใน โดเมนเวลาที่มีพลังงานออกมาทางด้านข้างน้อยที่สุด.....	14
2.10 ความแตกต่างของสัญญาณใน โดเมนเวลาที่มีแบนด์วิดท์เท่ากันแต่มีพลังงานด้าน ข้างในระดับต่างๆ กัน.....	14
3.1 การชักตัวอย่างแบบลดลง.....	16
3.2 ลักษณะสัญญาณที่ถูกชักตัวอย่างแบบลดลง.....	17
3.3 การชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น.....	18
3.4 การสเกลเวฟเลท.....	19
3.5 การเลื่อนของฟังก์ชันเวฟเลท.....	20
3.6 ลักษณะของการแยกย่อยสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเลท.....	20
3.7 องค์กรประกอบสัญญาณ โดยการแปลงฟูรีเยร์.....	21
3.8 องค์กรประกอบสัญญาณ โดยการแปลงเวฟเลท.....	22
3.9 การหาค่าสัมประสิทธิ์.....	22
3.10 การเลื่อนเวฟเลทไปทางขวา.....	23
3.11 การสเกลเวฟเลทในการหาค่าสัมประสิทธิ์ C	23
3.12 การแปลงและการทำส่วนกลับของเวฟเลท.....	27
3.13 ฟังก์ชันพื้นฐานของฮาร์ที่ระดับ 0 ถึง 2.....	28
3.14 ขั้นตอนในการแยกย่อยเวฟเลท.....	29
3.15 การแยกย่อยเวฟเลทโดยใช้เทคนิคการชักตัวอย่างแบบลดลง.....	30
3.16 การแยกย่อยเวฟเลทแบบหลายระดับ.....	31
3.17 การรวมกลับของเวฟเลทโดยใช้เทคนิคของการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น.....	31

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 การสังเคราะห์ส่วนของการประมาณ.....	32
3.19 การสังเคราะห์ส่วนของรายละเอียด.....	32
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์และการสังเคราะห์เวฟเลท.....	33
4.1 สัญญาณแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในขอบเขตทางเวลา.....	36
4.2 สัญญาณแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในขอบเขตทางความถี่.....	36
4.3 สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตทางเวลา.....	38
4.4 สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตทางความถี่.....	38
4.5 สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตของเวลา.....	39
4.6 สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตของความถี่.....	40
4.7 ฟังก์ชันการสเกลของ Daubechies(2).....	41
4.8 ฟังก์ชันเวฟเลท Daubechies(2).....	42
4.9 ฟังก์ชันการสเกล Daubechies(10).....	42
4.10 ฟังก์ชันเวฟเลท Daubechies(10).....	42
4.11 ฟังก์ชันการสเกล Biorthogonal(6.8) สำหรับการแยกย่อยเวฟเลท.....	43
4.12 ฟังก์ชันเวฟเลท Biorthogonal(6.8) สำหรับการแยกย่อยเวฟเลท.....	43
4.13 ฟังก์ชันการสเกล Biorthogonal(6.8) สำหรับการรวมกลับเวฟเลท.....	44
4.14 ฟังก์ชันเวฟเลท Biorthogonal(6.8) สำหรับการรวมกลับเวฟเลท.....	44
4.15 แบบจำลองในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน.....	44
5.1 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงเวลา.....	50
5.2 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงความถี่.....	51
5.3 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงเวลา.....	52
5.4 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงความถี่.....	53
5.5 เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้าง พัลส์เท่ากับ 0.3 ns ที่ระดับเวฟเลท 2 ถึง 5 ในเชิงเวลา.....	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6	เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอคูลเดคและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.3 ns ที่ระดับเวฟเลข 2 ถึง 5 ในเชิงความถี่.....55
5.7	เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอคูลเดคและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.6 ns ที่ระดับเวฟเลข 2 ถึง 5 ในเชิงเวลา.....55
5.8	เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอคูลเดคและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.6 ns ที่ระดับเวฟเลข 2 ถึง 5 ในเชิงความถี่.....56
5.9	ผลการจำลองประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น.....58
5.10	แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสาร.....59
5.11	แบบจำลองสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน.....60
5.12	แบบจำลองสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน.....60
5.13	ผลการจำลองประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน.....62

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา(Federal Communications Commission)	FCC
ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band)	UWB
อัตราการผลิตของบิต (Bit error rate)	BER
การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform)	CWT
การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform)	DWT
การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis)	MRA
การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่องแบบย้อนกลับ (Inverse discrete wavelet transform)	IDWT
เดซิเบล (Decibel)	<i>dB</i>
กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	<i>GHz</i>
นาโนวินาที (Nanosecond)	<i>ns</i>
วินาที (Second)	<i>s</i>
สัดส่วนแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth)	<i>BW</i>
ค่าความถี่บนของระบบสื่อสาร	f_H
ค่าความถี่ล่างของระบบสื่อสาร	f_L
ค่าตัวประกอบการชกตัวอย่างแบบลดลง	<i>D</i>
ค่าตัวประกอบการชกตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น	<i>U</i>
ฟังก์ชันเวฟเลท (Wavelet function)	$\psi_{jk}(t)$
ฟังก์ชันการสเกล (Scaling function)	$\varphi_{jk}(t)$
ค่าสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันการสเกล	c_{jk}
ค่าสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันเวฟเลท	d_{jk}
ตัวกรองความถี่สูง (High pass filter)	<i>H</i>
ตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter)	<i>L</i>
ส่วนกลับตัวกรองความถี่สูง	<i>H'</i>
ส่วนกลับตัวกรองความถี่ต่ำ	<i>L'</i>
ค่าตัวประกอบการประมาณ	<i>cA</i>
ค่าตัวประกอบรายละเอียด	<i>cD</i>

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในวงการสื่อสารมากขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ภายในสำนักงานหรือแม้กระทั่งภายในบ้าน ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงเพื่อรองรับระบบมัลติมีเดีย ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra-wideband) จึงเป็นระบบที่ถูกพัฒนาารองรับกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ เช่น จำนวนของข้อมูลที่ส่งได้ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล ระยะทางที่ส่งได้ และอื่นๆ

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีคลื่นวิทยุระบบอื่น โดยระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณอิมพัลส์เป็นสัญญาณในการสื่อสาร และไม่มีให้นำสัญญาณนั้นไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ นอกจากนี้กำลังงานของสัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ส่งมีค่าต่ำ และมีแถบความถี่ของช่องสัญญาณที่กว้าง ดังนั้นระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งสามารถส่งสัญญาณด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทะลุผ่านสิ่งกีดขวางและทำให้ลดผลกระทบจากการกระจัดกระจายของสัญญาณหลายวิถี และทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission :FCC) ได้กำหนดให้ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 3.1–10.6 GHz สเปกตรัมความหนาแน่นกำลังในการส่งสัญญาณอยู่ในระดับไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนเพื่อไม่ให้ระบบสื่อสารนี้ไปรบกวนกับระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิม และมีสัดส่วนของแบนวิดท์ (Fractional bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่ในการใช้งานมากกว่า 500 MHz ซึ่งวัดในตำแหน่งกำลังงานของสัญญาณที่จุด -10 dB

ในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งจะใช้สัญญาณอิมพัลส์เป็นสัญญาณในการส่ง และรูปแบบของสัญญาณนั้นยังไม่มีรูปแบบที่ตายตัว รวมทั้งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการเลือกใช้รูปแบบของสัญญาณในระบบนี้ ดังเช่น ข้อกำหนดต่างๆ ความเหมาะสมของรูปสัญญาณความเป็นไปได้ในการสร้างสัญญาณนั้นในการใช้งานจริง และอื่นๆ อีกมากมาย จึงเกิดแนวความคิดเกี่ยวกับการออกแบบรูปแบบของสัญญาณเพื่อให้เหมาะสมกับระบบแถบกว้างยิ่ง และมีแนวโน้มที่จะสามารถนำสัญญาณที่ออกแบบได้นั้นไปใช้งานได้จริง และทำการศึกษาการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในระบบแถบกว้างยิ่งเพื่อให้สัญญาณที่รับได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยใช้พื้นฐานของเวฟเลท

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องด้วยลักษณะรูปแบบสัญญาณในการสื่อสารระบบแถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณแบบพัลส์เป็นสัญญาณในการสื่อสาร ซึ่งสัญญาณพัลส์นั้นมีรูปแบบที่หลากหลาย ไม่มีรูปแบบที่ตายตัวในการใช้รูปสัญญาณรูปแบบใด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิธีการสร้างรูปแบบสัญญาณพัลส์ในระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีในการสร้างสัญญาณมาทำการวิเคราะห์และออกแบบสัญญาณ ซึ่งวิธีการนั้นคือ วิธีการสังเคราะห์สัญญาณ โดยใช้ความรู้พื้นฐานทางด้านเวฟเลท เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย ทำการสังเคราะห์สัญญาณจากสัญญาณต้นแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้สัญญาณในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง และได้ทำการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านเวฟเลททำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนของสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ เมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณในทางภาครับ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต (Bit error rate :BER) ซึ่งค่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยสามารถสรุปวัตถุประสงค์โดยรวมได้ดังนี้ คือ เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานทางด้านเวฟเลทร่วมกับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งทางด้านภาคส่งสัญญาณในส่วนของการสังเคราะห์สัญญาณ และทางด้านภาครับสัญญาณในส่วนของการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้โดยส่วนใหญ่จะใช้ความรู้พื้นฐานทางค้วเวฟเลท เช่น การแปลงเวฟเลท การแปลงฮาร์ การแยกย่อยของเวฟเลท และการรวมกลับของเวฟเลท เป็นต้น โดยที่การแปลงเวฟเลท เป็นวิธีการในการนำมาสังเคราะห์สัญญาณพัลส์จากสัญญาณต้นแบบที่มีรูปแบบต่างๆ ที่เหมาะสมกับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการแปลงเวฟเลทนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง และการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง วิทยานิพนธ์นี้ใช้การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่องเป็นวิธีการในการสังเคราะห์สัญญาณ เนื่องจากการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่องมีข้อดีกว่าการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง คือ การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่องสามารถเลือกช่วงเวลาในการกำหนดขนาดและตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเลทเพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงได้ ซึ่งการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่องจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงในทุกๆ ค่าการสเกลของฟังก์ชันเวฟเลท ทำให้การแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่องมีความง่ายและสะดวกในการสังเคราะห์สัญญาณ และในส่วนของการแยกย่อยเวฟเลทและการรวมกลับของเวฟเลท เป็นวิธีการในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน สุดท้ายทำการจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของผลที่ได้จากการสังเคราะห์และการลดสัญญาณรบกวนทั้งในฝั่งของภาครับและ

ภาคส่งโดยการเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบว่ากระบวนการนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการประยุกต์การใช้พื้นฐานทางด้านเวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ทั้งในส่วนของทางภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยในส่วนของภาคส่ง ทำการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์จากสัญญาณต้นแบบด้วยสัญญาณรูปแบบต่างๆ ด้วยเวฟเลทต้นแบบ ทำการสังเคราะห์สัญญาณที่ระดับของเวฟเลทที่แตกต่างกันเพื่อหาความสัมพันธ์ว่าระดับของเวฟเลทมีความสัมพันธ์กับสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นมาอย่างไร ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์กับสัญญาณต้นแบบในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต และในส่วนของภาครับ ทำการลดสัญญาณรบกวน โดยอาศัยหลักการของการแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลท ที่มีตัวกรองเวฟเลทชนิดต่างๆ กัน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่ไม่มี การตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ได้ทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเวฟเลทที่มีชนิดต่างๆ กัน ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาสามารถเป็นข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยใช้พื้นฐานของเวฟเลทได้ต่อไป

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีโดยรวมของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง วิธีการมอดูเลตสัญญาณ

บทที่ 3 กล่าวถึงการวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง หลักการในการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง การแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลท

บทที่ 4 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยแสดงลักษณะของสัญญาณต้นแบบ การสังเคราะห์สัญญาณ และการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

บทที่ 5 กล่าวถึงผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยการสังเคราะห์สัญญาณและการลดสัญญาณรบกวน

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

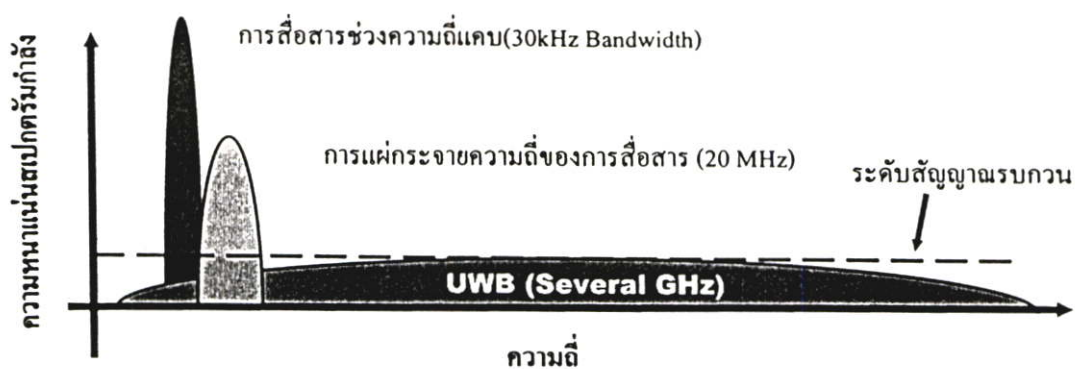
ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันได้เกิดขึ้นมามากมายหลายระบบเพื่อรองรับความต้องการในการใช้งานที่แตกต่างกันไปทั้งในระบบแบบไร้สาย (wireless) และแบบใช้สายส่ง (wire) ซึ่งในแต่ละระบบจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ช่วงความถี่ในการใช้งาน ระดับกำลังงาน ฯลฯ โดยข้อกำหนดดังกล่าวก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงข้อจำกัดของระบบนั้นๆ ว่าสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วและระยะเวลาให้บริการมากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการส่งข้อมูลจะอยู่ในระดับที่ไม่มากนัก แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำเสนอเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากขึ้นที่เรียกว่าระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (ultra wideband) ซึ่งได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั่วโลก โดยเทคโนโลยีนี้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากอดีตที่ถูกนำไปใช้เฉพาะทางด้านการทหารแต่ในปัจจุบันได้กลายมาเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในเชิงธุรกิจเพื่อรองรับการเติบโตของระบบสารสนเทศที่ต้องการระบบที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลได้มากขึ้นทั้ง ภาพ เสียงและข้อมูล โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบแบบแถบกว้างยิ่งที่ถูกนำมาเป็นหัวข้อการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงมากและยังมีข้อแตกต่างจากระบบการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่นๆ คือ เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห้ (carrierless) โดยจะทำการส่งสัญญาณที่มีลักษณะเป็นพัลส์ (pulse) ซึ่งจะเป็นพัลส์ที่มีความกว้างในระดับนาโนวินาที (nano second) เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบมีความหนาแน่นของแถบกำลังงาน (power spectral density) ครอบคลุมในช่วงความถี่ที่กว้างมากอยู่ในระดับกิกะเฮิร์ต (GHz) ในโดเมนความถี่ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงแต่ด้วยข้อจำกัดในระดับของกำลังงานที่ใช้ส่งจึงทำให้ระยะทางในการให้บริการถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE802.15.3a (WPAN) โดยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งกักระบบอื่นๆ

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั่นก็คือการจัดสรรช่วงความถี่ในการใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกันกับระบบเดิมที่มีใช้อยู่ ซึ่งในแต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎข้อบังคับในการใช้งานของระบบแถบกว้างยิ่งตามความเหมาะสมของกิจการโทรคมนาคมของประเทศนั้นๆ อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศสิงคโปร์ ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะอ้างอิงถึงข้อกำหนดของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์กรที่เรียกว่า คณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ FCC (Federal communications commission) เป็นหลักในการพิจารณา

2.3.1 การนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้ในสหรัฐอเมริกา

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ โดยในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 3 ประเภทคือ ระบบตรวจจับภาพ ระบบเรดาร์ในยานพาหนะ ระบบการวัดและการสื่อสาร โดยการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้งานในประเภทระบบการสื่อสารนั้นจะถูกกำหนดค่าสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth : BW) ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 หรือแบนด์วิดท์รวมทั้งหมดต้องไม่ต่ำกว่า 500 MHz ดังนิยามตามสมการที่ 2.1 และกำหนดช่วงความถี่ใช้งานไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งที่กำหนดโดย FCC แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

โดยที่

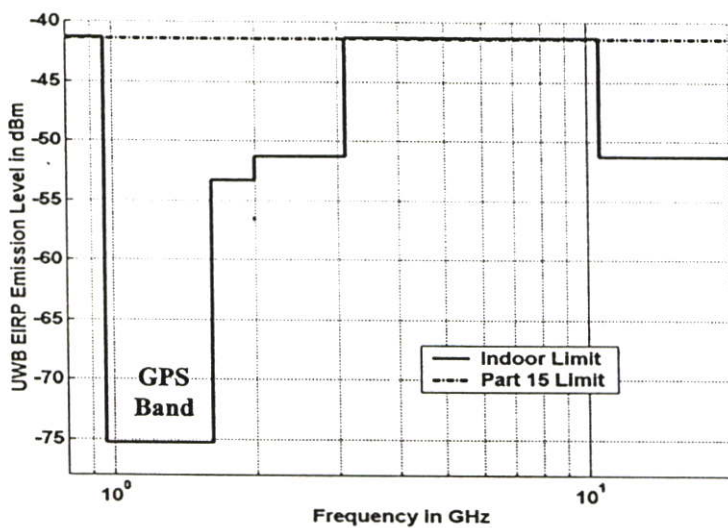
f_L คือ ความถี่ต่ำสุด

f_H คือ ความถี่สูงสุด

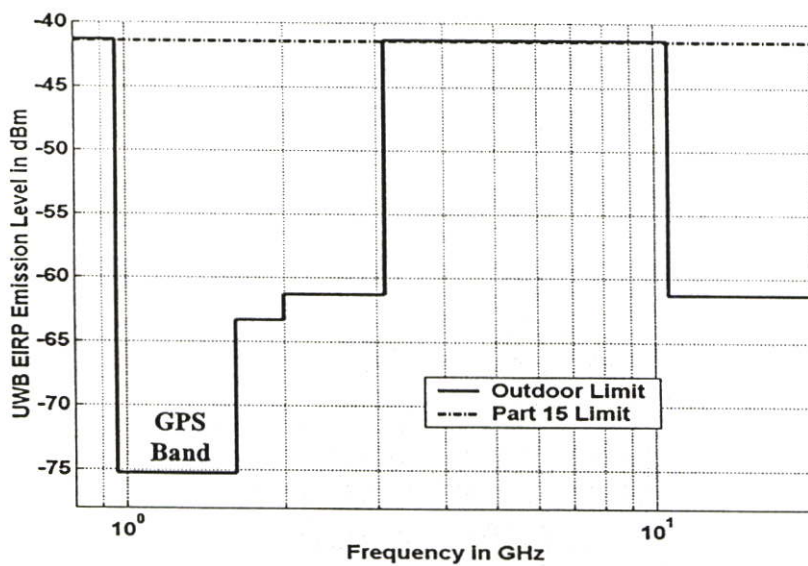
ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

โดยในรูปที่ 2.4 และ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งโดย FCC ทั้งภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดของสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

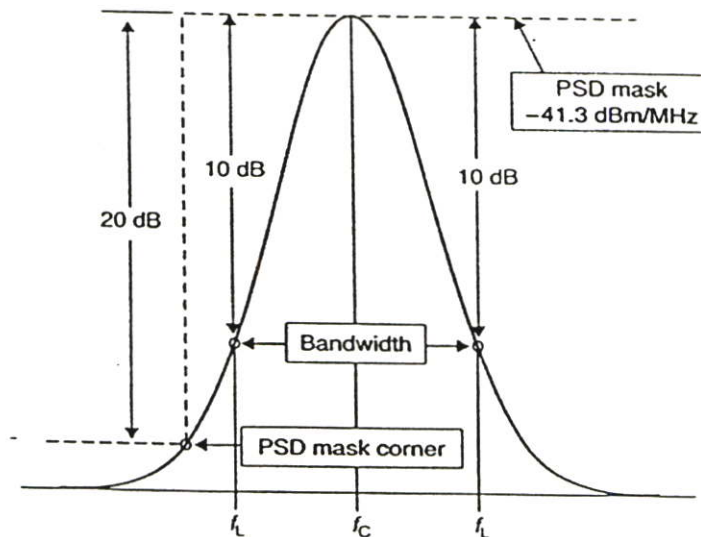


รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดของสเปกตรัมความถี่โดย FCC ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร

2.4 การกำหนดสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

2.4.1 ค่าจำกัดความของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

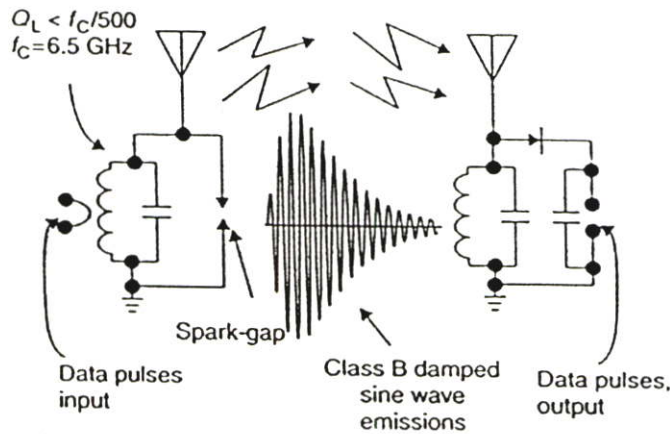
ถ้าจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและระบบของสัญญาณแล้ว จะเกี่ยวกับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งและระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้าน หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องสามารถทำงานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่ง อีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dB หรือเท่ากับ 500 MHz โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz เพราะฉะนั้นในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับระดับของแบนด์วิดท์ที่ 10 dB จากระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานสูงสุด (PSD mask) ซึ่งเป็นช่วงที่มีแบนด์วิดท์น้อยที่สุดและระดับแบนด์วิดท์ที่ 20 dB ซึ่งเป็นตำแหน่งจุดหักมุมในบริเวณช่วงความหนาแน่นแถบกำลังงานที่ใช้ในการสื่อสารแถบกว้างยิ่งโดยรูปที่ 2.4 จะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดดังกล่าว



รูปที่ 2.4 จุดพิจารณาในการออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [16]

2.4.2 วิธีการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นอาจจะสร้างขึ้นโดยใช้วิธีการต่าง ๆ กันเช่นเลือกใช้แหล่งจ่ายสัญญาณอิมพัลส์ที่มีความแคบมากๆ ส่งผ่านตัวกรองความถี่แบบช่วงที่กำหนดผ่าน (band-pass filter) ทางเลือกที่สองคือ สร้างจากการกำหนดรูปร่างของสัญญาณแถบกว้างยิ่งและกำหนดจุดต่างๆ ของสัญญาณให้เป็นไปตามข้อกำหนดของสเปกตรัม ทางเลือกต่อมาก็คือ ใช้วิธีการมอดูเลตแบบทั่วไปของระบบคลื่นวิทยุ อาทิเช่นระบบการแผ่กระจายความถี่ลำดับเส้นตรง (direct sequence spread spectrum :DSSS) หรือระบบมัลติเพล็กซ์แบบตั้งฉากในโดเมนความถี่ (OFDM) และวิธีที่สร้างจากเวฟเลทซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงแนวคิดของระบบที่เรียกว่า “retro-UWB” ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของตัวกรองความถี่แบบกระตุ้นด้วยอิมพัลส์ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งได้

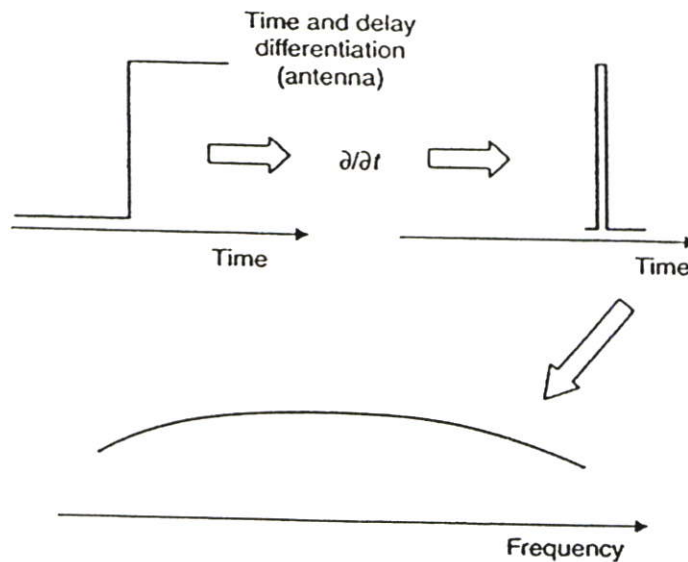


รูปที่ 2.5 แนวคิดในการสร้างระบบแถบกว้างยิ่ง [16]

ในแบบจำลองนี้ที่มีลักษณะเฉพาะของระบบกระตุ้นแบบไร้สาย (wireless spark system) นั้น ในส่วนของเครื่องส่งจะเป็นแหล่งจ่ายข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งแหล่งจ่ายพลังงานอิมพัลส์ที่ตำแหน่งอินพุตจะถูกส่งไปยังหม้อแปลงและอุปกรณ์ที่เรียกว่า “spark gap” โดยที่ค่า Q หรือ “sharpness” ของวงจรีโซแนนซ์จะถูกกำหนดให้เป็นไปตามผลของค่าแบนด์วิดท์นั้นก็เท่ากับ 500 MHz โดยในส่วนของเครื่องรับนั้นจะเป็นตัวตรวจจับระดับของแอมพลิจูดที่เป็นไปตามตัวกรองข้อมูลซึ่งวงจรมีแสดงให้เห็นถึงหลักการอย่างง่ายของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งภายใต้ข้อกำหนดของ FCC

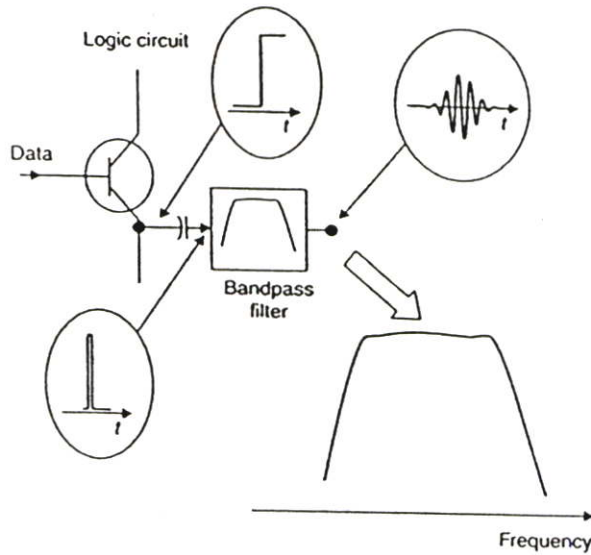
2.4.3 การออกแบบสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

ทางเลือกในการออกแบบสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับกฎข้อบังคับ โดยระดับการแพร่กระจายกำลังงานที่ได้รับอนุญาต (ตามข้อกำหนดของ FCC) สำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่งถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz ดังนั้นกำลังงานที่แพร่กระจายรวมทั้งหมดจะขึ้นตรงกับจำนวนของการใช้งานสเปกตรัมนั้นก็หมายความว่าเราต้องการใช้แบนด์วิดท์มากเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของกำลังงานมากที่สุดและในการออกแบบโดยอาศัยรูปร่างของสัญญาณนั้นจะเป็นฟังก์ชันของเวลาซึ่งความสัมพันธ์นี้จะอยู่ในลักษณะทางคณิตศาสตร์แสดงโดยการแปลงฟูรีเยร์ อีกวิธีการหนึ่งของการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งก็คือใช้สัญญาณที่มีรูปร่างของขอบมุมที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลาเหมือนกับฟังก์ชันขั้นบันได (step function) หรือพัลส์สี่เหลี่ยมที่มีความแคบมากๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเป็นไปตามตัวกรองความถี่ที่เรียกว่า (band-shaping filter) โดยรูปที่ 2.6 จะสร้างให้เห็นถึงลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชันขอบของสัญญาณกับการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง [16]

แหล่งจ่ายสัญญาณอิมพัลส์ที่เป็นอินพุตป้อนให้กับตัวกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่านนั้น เป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลในการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.7 [16]



รูปที่ 2.7 เอทพุทจากวงจรลอจิกที่ใช้สร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

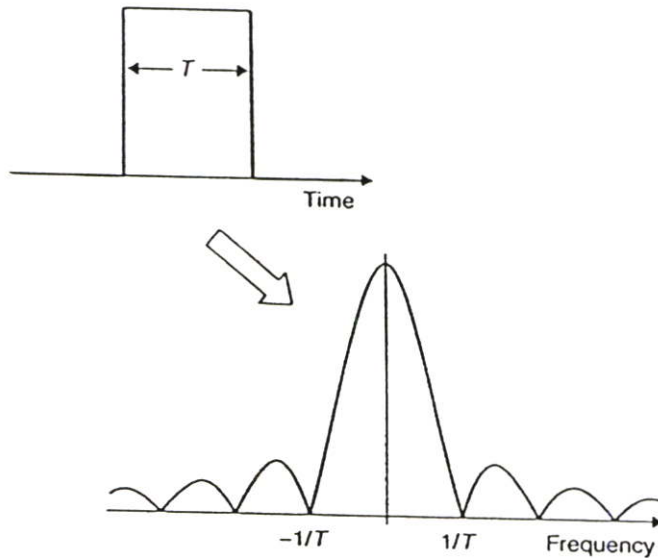
ในวิธีการอีกแบบหนึ่งนั้นยังสามารถสังเคราะห์สัญญาณแถบกว้างยิ่งที่มีความถูกต้องทั้งในรูปร่างสัญญาณและตำแหน่งของสัญญาณในสเปกตรัมความถี่ด้วยการเลือกรูปร่างของสัญญาณ อีกทั้งการกำหนดแบนวิดท์ที่เหมาะสม เพื่อให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจะทำการพิจารณาตัวอย่างของสัญญาณพัลส์มูลฐาน (base band pulse) ที่เรียกว่าสัญญาณที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม (rectangular shaped signal) แทนด้วยฟังก์ชัน $r(t)$ โดยมีจุดศูนย์กลางที่ $t=0$ และมีความกว้างเท่ากับ T พิโกวินาที (picoseconds) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.2 [16]

$$r(t) = 1, \left\{ -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \right\}; \quad 0 \text{ elsewhere} \quad (2.2)$$

โดยการแปลงฟูริเยร์ของ $r(t)$ นั้นจะได้สัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่ $R(f)$ ซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.3

$$R(f) = \frac{T \sin(\pi T f)}{\pi T f} \quad (2.3)$$

ในรูปที่ 2.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ $r(t)$ และ $R(f)$ ซึ่งจะเห็นว่ายิ่งทำให้สัญญาณมีความแคบมากเท่าไรก็จะทำให้สเปกตรัมความถี่กว้างมากเท่านั้น นั่นก็หมายความว่า การกำหนดความถี่ของสเปกตรัมความถี่นั้นสามารถทำในเทอมของความถี่ของพัลส์ในโดเมนเวลาได้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ของพัลส์โดยการแปลงฟูรีเยร์ [16]

คุณสมบัติที่น่าสนใจของสัญญาณอีกอย่างหนึ่งนั่นคือมีความราบเรียบทั้งช่วงขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ เมื่อพิจารณาในโดเมนเวลาโดยสิ่งสำคัญคือการทำให้ความจุพลังงานของสัญญาณทางด้านข้าง (side lobe) มีน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงพบว่ารูปร่างของขอบของสัญญาณในโดเมนเวลาสามารถควบคุมความจุพลังงานทางด้านข้างของสเปกตรัมสัญญาณได้ โดยในรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของสัญญาณทั้ง 3 ชนิดกับการควบคุมการเกิดความจุพลังงานทางด้านข้าง ซึ่งสัญญาณทั้ง 3 ชนิดถูกนิยามไว้ดังนี้คือ

1. พัลส์แบบสี่เหลี่ยม (rectangular pulse $r(t)$) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.2 และ 2.3
2. พัลส์ที่มีแบบโคไซน์ (cosine pulse $c(t)$) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.4 และ 2.5
3. พัลส์แบบระฆังคว่ำหรือพัลส์แบบเกาส์ (bell shaped-Gaussian pulse $g(t)$) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.6 และ 2.7

พัลส์แบบโคไซน์ในโดเมนเวลาสามารถอธิบายได้ดังนี้ [16]

$$c(t) = \cos\left(\frac{2\pi f_a t}{2}\right); |t| < \frac{1}{2f_a}; \quad 0 \text{ elsewhere} \quad (2.4)$$

สมการในโดเมนความถี่คือ

$$C(f) = \frac{\cos\left(\pi \frac{f}{f_a}\right)}{1 - \left(2 \frac{f}{f_a}\right)^2} \quad (2.5)$$

สมการในโดเมนเวลาของพัลส์แบบเกาส์

$$g(t) = \exp\left(\frac{-0.5t^2}{u^2}\right) \quad (2.6)$$

สมการในโดเมนความถี่คือ

$$G(f) = \exp\left[-2(\pi fu)^2\right] \quad (2.7)$$

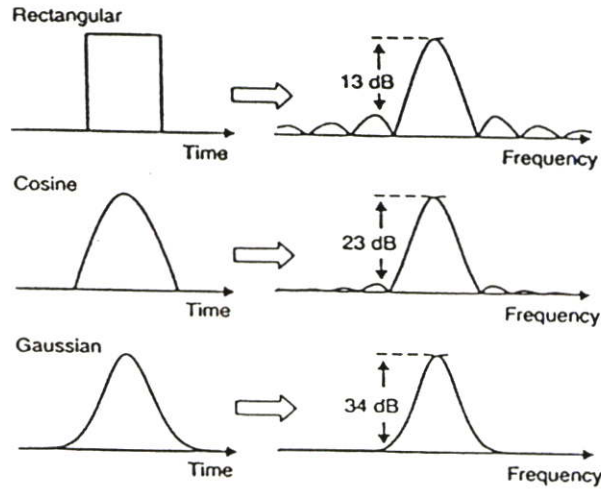
โดยที่

u คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดความกว้างของพัลส์และ $u = u_B$

$$u_B = \frac{1}{\left[2\pi f_B [\log(e)]^{1/2}\right]} \quad (2.8)$$

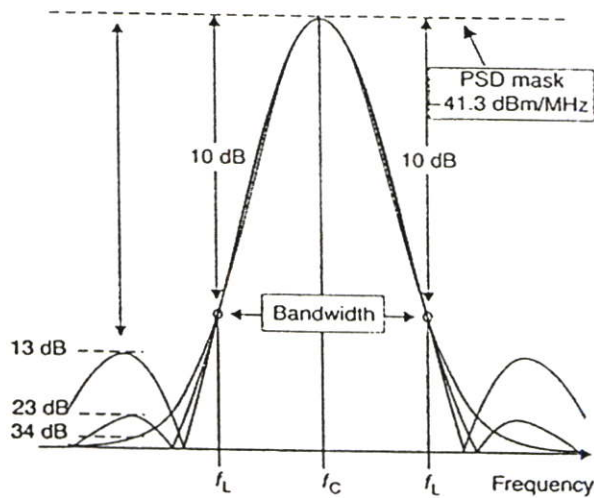
f_B คือ ครึ่งหนึ่งของความต้องการแบนด์วิธใน 1GHz

e คือ ลอการิทึมธรรมชาติ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.81828...



รูปที่ 2.9 ลักษณะของสัญญาณในโดเมนเวลาที่มีพลังงานออกมาทางด้านข้างน้อยที่สุด [16]

ในการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับสัญญาณพัลส์ทั้ง 3 แบบนั้นสามารถที่จะเลือกได้จากระดับของแบนด์วิดท์ที่ 10 dB ในโดเมนความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.10 [16]



รูปที่ 2.10 ความแตกต่างของสัญญาณในโดเมนเวลาที่มีแบนด์วิดท์เท่ากันแต่มีพลังงานด้านข้างในระดับต่างๆ กัน

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งหรือ Ultra wideband รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ในการใช้งาน ข้อบังคับต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งจะสัมพันธ์กับแบนด์วิดท์ของระบบ ระดับกำลังงานที่แพร่กระจายทั้งภายในและภายนอกอาคาร ที่กำหนดโดยองค์กรที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องคือ คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้เป็นข้อกำหนดหลักในการอ้างอิง รวมถึงหลักการวิธีการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งให้เป็นไปตามข้อกำหนดต่าง ๆ และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงโดยวิธีการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้นนั้นเป็นเพียงหลักการและแนวความคิดโดยทั่วไป ซึ่งในบทต่อไปนั้นจะกล่าวถึงวิธีการที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่เรียกว่า การแปลงเวฟเลต ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในทางปฏิบัติได้

บทที่ 3

การวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้เวฟเลท

3.1 บทนำ

การแปลงเวฟเลทเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ลักษณะของสัญญาณ ซึ่งมีประโยชน์มากในงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ทฤษฎีเวฟเลทสามารถนำมาประยุกต์เพื่ออธิบายลักษณะของระบบต่างๆ หรือ ระบบใดๆ ได้ เช่น อธิบายการแก้ปัญหาสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่จำลองระบบใดระบบหนึ่ง การเต้นของหัวใจ การไหลเวียนของเลือดผ่านร่างกาย การหาขอบภาพ การลดขนาดข้อมูล และอื่นๆ ดังนั้นทฤษฎีเวฟเลทจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อทำการประยุกต์ใช้กับระบบต่างๆ ที่เราต้องการ

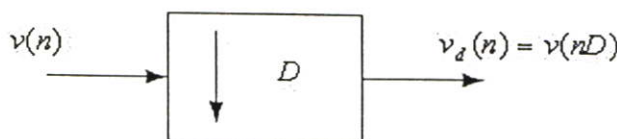
3.2 การดำเนินการแบบหลายขั้นตอน (Multirate Processing)

การดำเนินการแบบหลายขั้นตอนมีความสำคัญกับการประยุกต์ใช้ในหลายวิธีการต่างๆ ไปด้วย ตัวอย่างเช่น การแปลงเวฟเลทโดยใช้พื้นฐานของการดำเนินการแบบหลายขั้นตอน การชักตัวอย่างแบบลดลง (Downsampling) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์จากสมการในการวิเคราะห์ (การแปลงแบบไปข้างหน้า : Forward transform) และการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น (Upsampling) ซึ่งเป็นการคอนโวลูชันจากสมการในการสังเคราะห์ (การแปลงแบบย้อนกลับ : Inverse transform)

3.2.1 การชักตัวอย่างแบบลดลง

การชักตัวอย่างแบบลดลงคือ กระบวนการในการทำการลดอัตราการชักตัวอย่างโดยค่าตัวประกอบ D และการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้นคือ กระบวนการในการเพิ่มอัตราการชักตัวอย่างโดยค่าตัวประกอบ U รูปที่ 3.1 แสดงสัญญาณ $v(n)$ และสัญญาณที่ถูกชักตัวอย่างแบบลดลง $v_d(n)$ โดยมีสมการทางเวลาดังนี้ [15]

$$v_d(n) = v(nD) = v_a(nD) \tag{3.1}$$



รูปที่ 3.1 การชักตัวอย่างแบบลดลง

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $V(\Omega)$ และ $V_d(\Omega)$ สามารถอธิบายได้จาก 2 ฟังก์ชัน ดังนี้ [15]

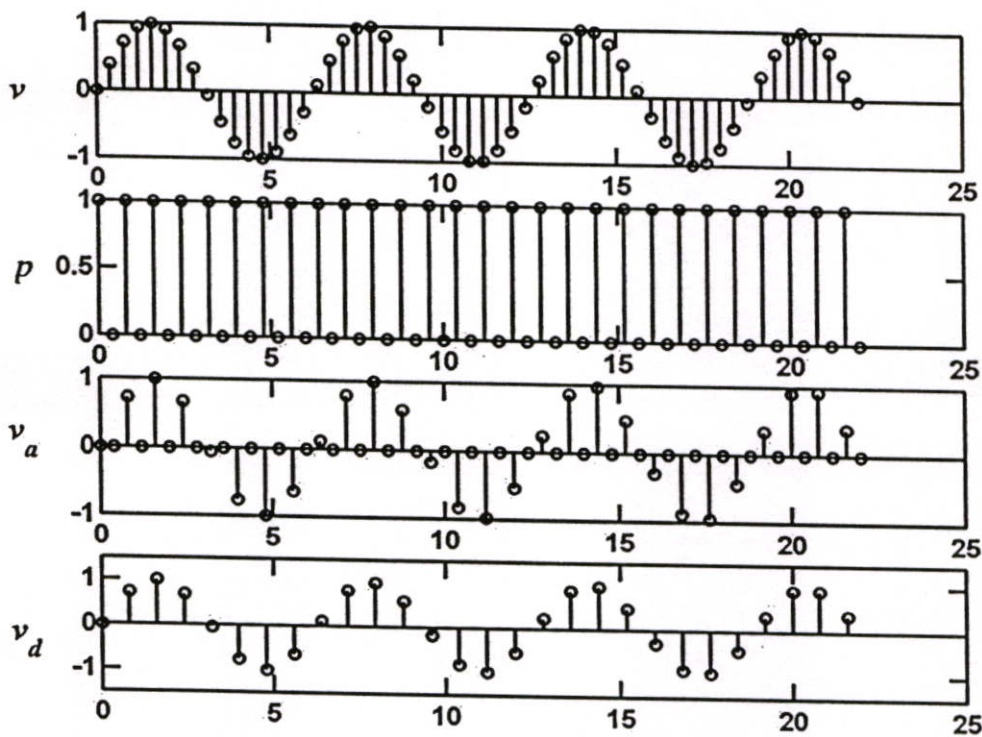
$$v_a(n) = \begin{cases} v(n), & n = 0, \pm D, \pm 2D, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

$$p(n) = \begin{cases} 1, & n = 0, \pm D, \pm 2D, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

เมื่อ

$$v_d(n) = p(n)v(n) \quad (3.4)$$

รูปที่ 3.2 แสดงฟังก์ชัน $v(n)$, $p(n)$ และ $v_a(n)$ ทำการคูณฟังก์ชัน $v(n)$ โดย $p(n)$ เพื่อให้ได้ฟังก์ชัน $v_d(n)$ ทำการลบค่าตัวประกอบที่เป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ค่าฟังก์ชัน $v_d(n)$

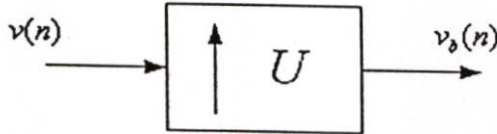


รูปที่ 3.2 ลักษณะสัญญาณที่ถูกซัดตัวอย่างแบบลดลง

3.2.2 การชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น

รูปที่ 3.3 แสดงการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น โดยค่าตัวประกอบ U สามารถแทนฟังก์ชัน $v_b(n)$ ในรูปของ $v(n)$ ได้ดังนี้ [15]

$$v_b(n) = \begin{cases} v(n/U), & n = 0, \pm U, \pm 2U, \dots \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.5)$$



รูปที่ 3.3 การชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น

3.3 การแปลงเวฟเลต (Wavelet transforms)

3.3.1 พื้นฐานของการแปลงเวฟเลต

เมื่อใช้การแปลงฟูริเยร์ในการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะบางส่วนของสัญญาณ เฉพาะบางช่วงเวลาและความถี่เท่านั้นจะเสียเวลาในการคำนวณมากเพราะต้องคำนวณใหม่ตลอดย่าน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการแปลงที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้เฉพาะช่วงเวลา และช่วงความถี่ที่สนใจเท่านั้น ทำให้สามารถพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเฉพาะช่วงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การแปลงที่พัฒนานี้เรียกว่า “การแปลงเวฟเลต”

การแปลงเวฟเลตเป็นการอธิบายลักษณะ โครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณมารวมกันเป็นสัญญาณหรือระบบนั้นๆ ที่เรียกว่า เวฟเลต ลักษณะของเวฟเลตจะเป็นคลื่นที่มีการแปลงอย่างต่อเนื่องและขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน

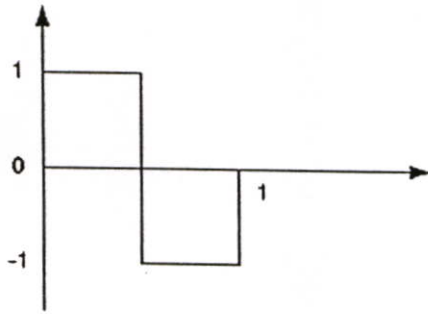
การนำเวฟเลตหลายๆ อันมารวมกันเป็นกลุ่มเพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของสัญญาณใดๆ โดยที่คลื่นเวฟเลตแต่ละตัวจะมี โครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเลตต้นแบบ (Mother wavelet) คลื่นเวฟเลตแต่ละอันจะอยู่ภายใต้เขตของเวฟเลตนี้ โดยแต่ละคลื่นจะเกิดจากการสเกล (Scaling : a) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation : b) ดังนั้นถ้าให้ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเลตต้นแบบ สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปของเวฟเลตที่ตำแหน่ง “ a ”, “ b ” ใดๆ ที่สัมพันธ์กันได้ดังนี้ [14]

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.6)$$

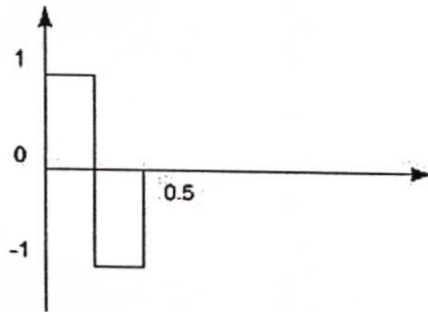
$\psi(t)$ จะเป็นฟังก์ชันเวฟเลทต้นแบบที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเลทที่ถูกสเกลไปแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเลทต้นแบบจึงต้องทำการนอร์มัลไลซ์ด้วย $1/\sqrt{a}$ เสมอ

3.3.1.1 การสเกล (Scaling)

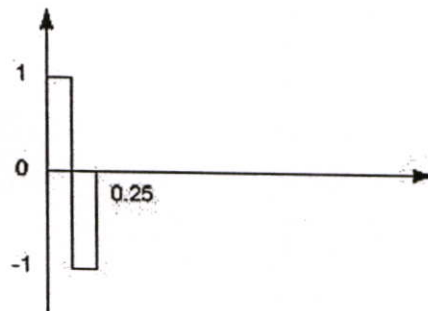
การสเกลเวฟเลท คือ การบีบอัดหรือการขยายสัญญาณ ด้วยตัวประกอบการสเกล โดยทั่วไปแล้วจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ a การสเกลด้วยตัวประกอบการสเกลที่มีค่าน้อยจะเป็นการบีบอัดสัญญาณ



$$f(t) = \psi(t) \quad , a = 1$$



$$f(t) = \psi(2t) \quad , a = \frac{1}{2}$$

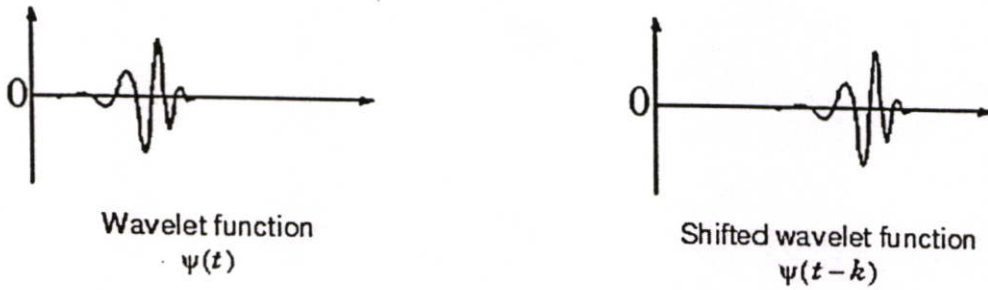


$$f(t) = \psi(4t) \quad , a = \frac{1}{4}$$

รูปที่ 3.4 การสเกลเวฟเลท

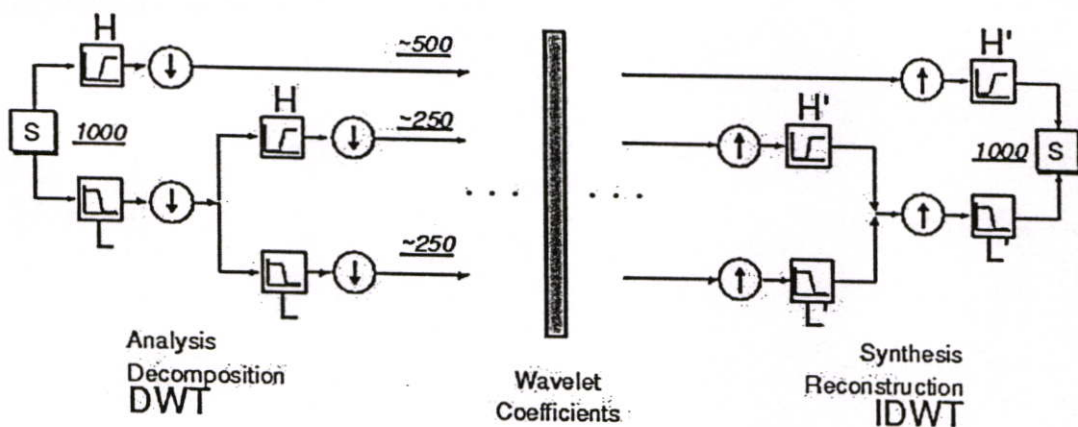
3.3.1.2 การเลื่อน (Shifting)

การเลื่อนของเวฟเลต คือ การหน่วงเวลาจุดเริ่มต้นของสัญญาณ ในทางคณิตศาสตร์ การหน่วงเวลาของฟังก์ชัน $f(t)$ ด้วยค่า k จะถูกแทนด้วย $f(t-k)$



รูปที่ 3.5 การเลื่อนของฟังก์ชันเวฟเลต

ทฤษฎีเวฟเลตจะใช้ในการอธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่งเหมือนการแตกสิ่งนั้นออกเป็นลักษณะของส่วนประกอบเล็กๆ ที่สัมพันธ์กันโดยที่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเวฟเลตที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ สามารถสร้างขึ้นมาได้โดยมีฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) การแยกย่อยเวฟเลต (Wavelet Decomposition) คือการทำการแปลงเวฟเลตนั่นเอง ในทำนองเดียวกับการรวมกลับเวฟเลต (Wavelet reconstruction) จะเป็นการแปลงกลับเวฟเลต ซึ่งเป็นการนำส่วนประกอบย่อยๆ เหล่านี้มารวมกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะของการแยกย่อยสัญญาณและการรวมกลับสัญญาณของเวฟเลต

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution analysis :MRA) จะเป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดได้ โดยการนำสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี b หลายๆ ตำแหน่งมารวมกันเกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดที่เลือกไว้ และเมื่อนำสัญญาณที่ทุกระดับความละเอียดมารวมกันจะเกิดเป็นสัญญาณอินพุทจริง

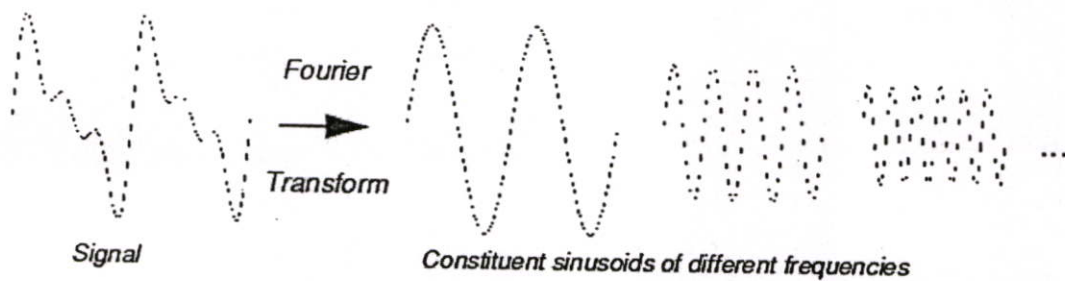
3.3.2 การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง (Continuous wavelet transform : CWT)

กระบวนการวิเคราะห์ฟูริเยร์ โดยทั่วไปจะถูกนำเสนอในรูปของการแปลงฟูริเยร์ [15]

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.7)$$

ซึ่งเป็นการหาค่าอินทิกรัลของผลคูณระหว่างสัญญาณ $f(t)$ และ จำนวนเชิงซ้อนที่เป็นเอกซ์โพเนนเชียล โดยที่ จำนวนเชิงซ้อนที่เป็นเอกซ์โพเนนเชียล สามารถแยกออกได้เป็นจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพในรูปตัวประกอบของไซน์และโคไซน์

โดยผลที่ได้จากการแปลงนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ $F(\omega)$ ซึ่งเมื่อนำไปคูณกับสัญญาณไซน์และโคไซน์ที่มีความถี่เท่ากับ ω จะได้สัญญาณต้นแบบออกมาในรูปของค่าตัวประกอบของสัญญาณต้นแบบที่มีองค์ประกอบของสัญญาณไซน์และโคไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

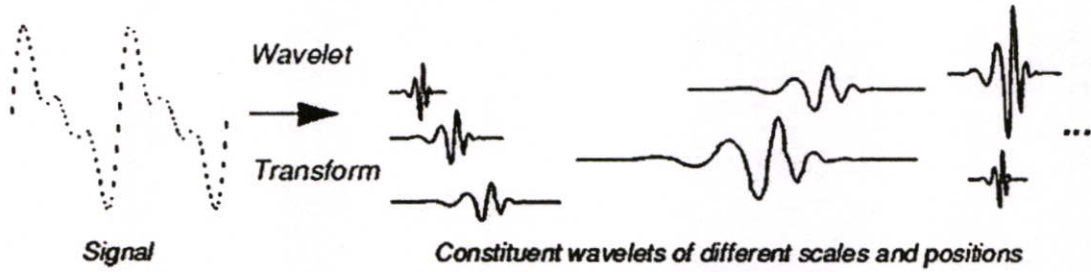


รูปที่ 3.7 องค์ประกอบสัญญาณ โดยการแปลงฟูริเยร์

ในทำนองเดียวกัน การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง คือ การหาค่าอินทิกรัลของผลคูณระหว่างสัญญาณและฟังก์ชันของขนาดและตำแหน่งของเวฟเลท (ψ) ดังสมการ

$$C(\text{scale, position}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(\text{scale, position, } t) dt \quad (3.8)$$

ผลของการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเลท C ซึ่งอยู่ในรูปของฟังก์ชันของขนาดและตำแหน่ง หากทำการคูณแต่ละค่าสัมประสิทธิ์ด้วยเวฟเลทที่ทำการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งที่เหมาะสม จะได้สัญญาณต้นแบบที่มีเวฟเลทเป็นองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

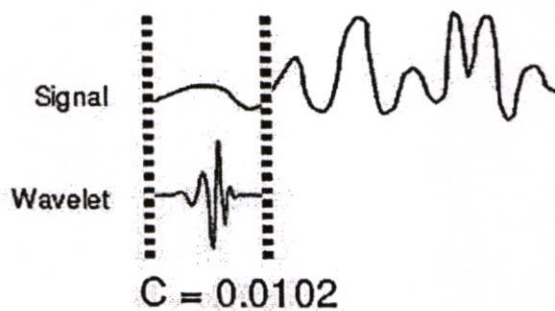


รูปที่ 3.8 องค์ประกอบสัญญาณโดยการแปลงเวฟเลท

3.3.2.1 ขั้นตอนในการแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่อง

การแปลงเวฟเลทแบบต่อเนื่องมีกระบวนการในการแปลงแบบง่ายด้วยกัน 5 ขั้นตอน

1. ทำการเลือกเวฟเลทต้นแบบทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบในแต่ละส่วน โดยเริ่มที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณต้นแบบ
2. กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ C เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวฟเลทและสัญญาณต้นแบบในแต่ละส่วน โดยส่วนใดมีค่าสัมประสิทธิ์ C มากที่สุด เวฟเลทและสัญญาณต้นแบบจะมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด หากช่วงโคพลังงานของสัญญาณและเวฟเลทมีค่าเท่ากับ 1 แล้วค่าสัมประสิทธิ์ C อาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์ C ที่ได้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเวฟเลทที่เลือกเป็นเวฟเลทต้นแบบ



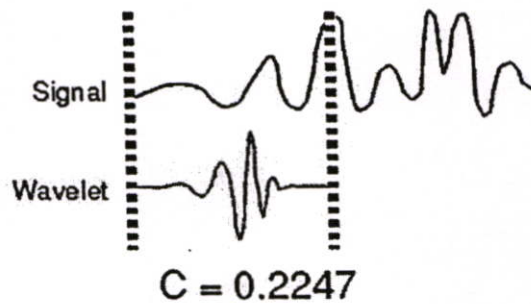
รูปที่ 3.9 การหาค่าสัมประสิทธิ์ C

3. ทำการเลื่อนเวฟเลตไปทางขวาและกระทำกระบวนการซ้ำตามหัวข้อที่ 1 และ 2 จนครอบคลุมสัญญาณทั้งหมด



รูปที่ 3.10 การเลื่อนเวฟเลตไปทางขวา

4. ทำการสเกลเวฟเลตและกระทำกระบวนการซ้ำตามหัวข้อที่ 1 ถึง 3



รูปที่ 3.11 การสเกลเวฟเลตในการหาค่าสัมประสิทธิ์ C

5. กระทำกระบวนการซ้ำตามหัวข้อที่ 1 ถึง 4 ด้วยค่าสเกลทั้งหมด

3.3.3 การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform : DWT)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเลตในทุกๆ ค่าของการสเกลที่เป็นไปได้ เป็นการสร้างข้อมูลที่มีจำนวนมากและบางข้อมูลไม่มีความจำเป็นในการคำนวณ ดังนั้นการที่สามารถเลือกช่วงในการกำหนดขนาดและตำแหน่ง โดยใช้พื้นฐานของ 2 ยกกำลังด้วยค่า n หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การกำหนดขนาดและตำแหน่งที่มีค่า 2 เป็นค่าตัวประกอบ การวิเคราะห์จึงจะมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูง การวิเคราะห์นี้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาศัยหลักการของ MRA เป็นวิธีการในการวิเคราะห์และมีความเกี่ยวข้องกับพื้นฐานของสเปซเวกเตอร์ (Vector space) ซึ่งมีหลักการในการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.3.1 สเปซเวกเตอร์และMRA

สเปซของเวกเตอร์ในการวิเคราะห์สัญญาณคือ สเปซหรือปริภูมิของสัญญาณใดๆ ที่เกิดจากการรวมกันของฟังก์ชันย่อยๆ ที่เรียกว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) กำหนดให้ \mathbf{a}, \mathbf{b} เป็นจำนวนจริงใดๆ และ i, j เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในสเปซ V เสมอ ดังนั้นหากเวกเตอร์ใดประกอบขึ้นจากหลายเวกเตอร์หนึ่งหน่วยจะได้ว่าเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในสเปซเวกเตอร์นี้ ดังนั้น $a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k} + \dots \in V$ โดยที่เวกเตอร์หนึ่งหน่วย i, j จะเป็นลักษณะเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) ซึ่งกันและกัน ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจมองว่า i, j คือ ฟังก์ชันพื้นฐาน ที่เป็นสัญญาณเล็กๆ ที่นำมาประกอบกันเป็นสัญญาณใดๆ

สมมติให้ V^j เป็นสเปซเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น หาก j มีค่าสูงขึ้น แสดงว่าที่ระดับความละเอียดสูงขึ้นจะมีจำนวนฟังก์ชันพื้นฐานมากขึ้น ทำให้สัญญาณที่เกิดจากการประกอบกันของฟังก์ชันพื้นฐานมีความละเอียดมากขึ้นด้วย ดังนั้น j จึงเป็นค่าที่แสดงถึงระดับความละเอียดของสัญญาณ จากข้อกำหนดเหล่านี้สามารถสรุปเป็นลักษณะสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) $V^{-\infty} \dots \subset V^{-1} \subset V^1 \dots \subset V^{\infty}$
- 2) $\text{Close}_{L^2} \left(\bigcup_{j \in Z} V^j \right) = L^2(\mathbb{R})$; $\mathbb{R} =$ เซตของจำนวนจริง,
 $Z =$ เซตของจำนวนเต็ม
- 3) $\left(\bigcap_{j \in Z} V^j \right) = \{0\}$
- 4) $V^j + W^j = V^{j+1}$; $j \in Z$
- 5) $f(x) \in V \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1}$; $j \in Z$

การที่ฟังก์ชันพื้นฐานประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณที่ระดับความละเอียด j ภายในสเปซ V^j จะเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านั้นว่า ฟังก์ชันการสเกล (Scaling function : $\varphi(t)$) สัญญาณเหล่านี้จะเกิดที่ตำแหน่งเวลาต่างๆ กันของสเปซและมีความถี่เท่ากันภายในสเปซเดียวกัน ฟังก์ชันการสเกลที่ระดับความละเอียดสูง จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นความสัมพันธ์กันระหว่างฟังก์ชันการสเกลของแต่ละสเปซจะเป็นดังนี้

$$f(x) \in V \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1} \quad ; j \in Z \quad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) ทำให้สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันการสเกลภายในสเปซใดๆ ได้ดังนี้

$$\varphi_{jk} = 2^{j/2} \varphi_0(2^j t - k) \quad (3.10)$$

จากสมการที่ (3.10) จะพบว่าที่ระดับความละเอียดต่ำลงมาหนึ่งระดับ ฟังก์ชันพื้นฐานจะมีความถี่ลดลงมาครึ่งละสองเท่า อาศัยคุณสมบัติ MRA จะทำให้สามารถประมาณสัญญาณ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ ไปอยู่ในสเปซที่ระดับความละเอียด j ใดๆ ได้ดังนี้

$$f(t) = \sum_k c_k^j \varphi_{j,k}(t) \quad (3.11)$$

โดยที่ c_k^j เป็นสัมประสิทธิ์หรือนำหนักที่คูณกับฟังก์ชันการสเกลที่ตำแหน่ง k ใดๆ แล้วประกอบขึ้นเป็น $f(t)$ ที่ระดับความละเอียด j นั้นๆ

จากคุณสมบัติข้อ 4 ของ MRA การวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่ำลงมาจะทำให้พลังงานหรือสัญญาณบางส่วนหายไปอยู่ในสเปซอีกอันหนึ่งซึ่งเรียกว่า สเปซของเวกเตอร์เวฟเลต (Wavelet vector space : W^j) สเปซชนิดนี้คล้ายกับสเปซของเวกเตอร์ ดังนั้นสัญญาณภายใน W^j จะประกอบด้วยฟังก์ชันพื้นฐานเช่นเดียวกันซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันเวฟเลต (Wavelet function : $\psi(t)$) ดังนั้นสามารถเขียนสมการฟังก์ชันเวฟเลตที่ระดับความละเอียดใดๆ ได้ดังนี้

$$\psi_{jk} = 2^{j/2} \psi_{00}(2^j t - k) \quad (3.12)$$

จากสมการที่ (3.6) ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่อย่างต่อเนื่องจะเปลี่ยนเป็นฟังก์ชันเวฟเลตดังสมการที่ (3.12) ที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่แบบเต็มหน่วยโดยที่ $a = 2^{-j}, b = 2^{-j} k$

หากกำหนดให้ $g_j(t)$ เป็นสัญญาณที่เพิ่มจากฟังก์ชันพื้นฐานและ $\psi_{j,k}(t)$ ภายในสเปซเดียวกันมารวมกันเป็นสัญญาณใดๆ จะได้ว่า

$$g_j(t) = \sum_k d_k^j \psi_{j,k}(t) \quad (3.13)$$

โดยที่ d_k^j เป็นค่าสัมประสิทธิ์หรือนำหนักที่คูณกับฟังก์ชันเวฟเลตที่ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อเกิดเป็นสัญญาณ $g_j(t)$ ดังนั้นจากความสัมพันธ์จากคุณสมบัติข้อที่ 4 และจากสมการที่ (3.11) และ (3.13) จะได้ว่า

$$f_{j+1} = f_j + g_j \quad (3.14)$$

สมมติให้ $f(t) \in V^{j+1}$ จะสามารถแยกย่อยให้ $f(t)$ ให้มีความละเอียดน้อยลงได้จากคุณสมบัติข้อที่ 4 ซึ่งในขณะเดียวกัน V^j สามารถแยกย่อยออกไปได้เรื่อยๆ จนกระทั่ง $j = 0$ ดังนั้นจะเป็นความสัมพันธ์ว่า

$$V^{j+1} = V^0 + W^0 + W^1 + \dots + W^j \quad (3.15)$$

ในการทำงานเดียวกัน f_{j+1} สามารถแยกย่อยเป็น f_j และ g_j ได้เช่นกัน f และ g ที่ลดระดับความละเอียดลงมาจะมีความถี่ของฟังก์ชันพื้นฐานลดลงครึ่งละสองเท่าเสมอ และสามารถแจกแจงสัญญาณ $f(t)$ ที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการสเกลและฟังก์ชันเวฟเลทได้ดังนี้

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{jk} \varphi_{jk}(t) + \sum_{j=J}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{jk} \psi_{jk}(t) \quad (3.16)$$

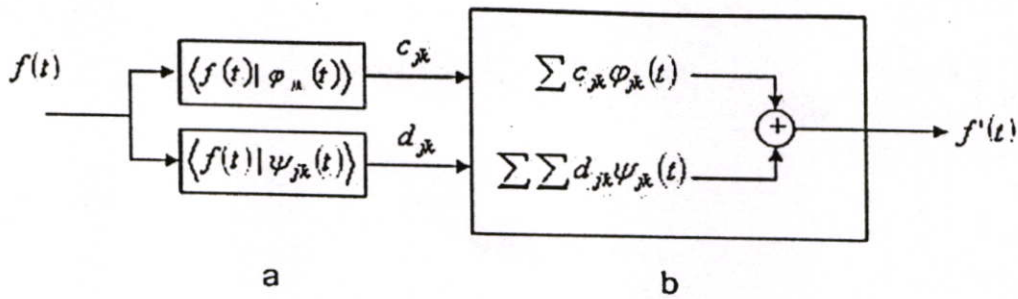
โดยที่ J คือค่าเริ่มต้น (โดยทั่วไปแล้ว $J = 0$) และค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลทสามารถหาได้จาก

$$c_{jk} = \langle f(t) | \varphi_{jk}(t) \rangle \quad (3.17)$$

$$d_{jk} = \langle f(t) | \psi_{jk}(t) \rangle \quad (3.18)$$

การแยกย่อยสัญญาณ $f(t)$ ในสเปซ V^0 ไปจนถึงระดับความละเอียดที่ j ดังนั้นสัมประสิทธิ์ c_0 จะถูกแยกเป็นสัมประสิทธิ์ในเซตของ c_j ในสเปซ V^j และกลุ่มของเซต $d_{-1}, d_{-2}, \dots, d_j$ ซึ่งอยู่ในเวฟเลทสเปซที่ระดับความละเอียดต่างๆ กัน จากกระบวนการต่างๆ ที่กล่าวมาจะเป็นลักษณะของวิธีการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง

สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต้นแบบ $f(t)$ เป็นค่าตัวประกอบ c_{jk} และ d_{jk} รูปที่ 3.12a แสดงรูปในกระบวนการนี้ ส่วนสมการที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณ $f(t)$ จากค่าตัวประกอบ c_{jk} และ d_{jk} จะแสดงดังรูป 3.12b



รูปที่ 3.12 การแปลงและการทำส่วนกลับของเวฟเลต

จากทฤษฎีข้างต้นทำการสังเคราะห์สัญญาณต้นแบบ $v(t)$ ออกมาเป็นกลุ่มของค่าตัวประกอบ c_{jk} และ d_{jk} ค่าตัวประกอบที่ได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเวฟเลตที่ระดับต่างๆ ดังสมการที่ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ โดยที่ j คือระดับที่ของเวฟเลต และ k คือค่าการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันเวฟเลต ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ฮาร์เวฟเลตเป็นเวฟเลตต้นแบบในการสังเคราะห์สัญญาณ เนื่องจากฮาร์เวฟเลตเป็นฟังก์ชันตั้งฉาก (orthogonal function) ซึ่งง่ายต่อการสังเคราะห์และยังมีลักษณะที่เป็นคิจิตอดตั้งนั้นจึงเป็นการง่ายต่อการที่จะนำไปออกแบบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้จริง ซึ่งคุณสมบัติของฮาร์เวฟเลตจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

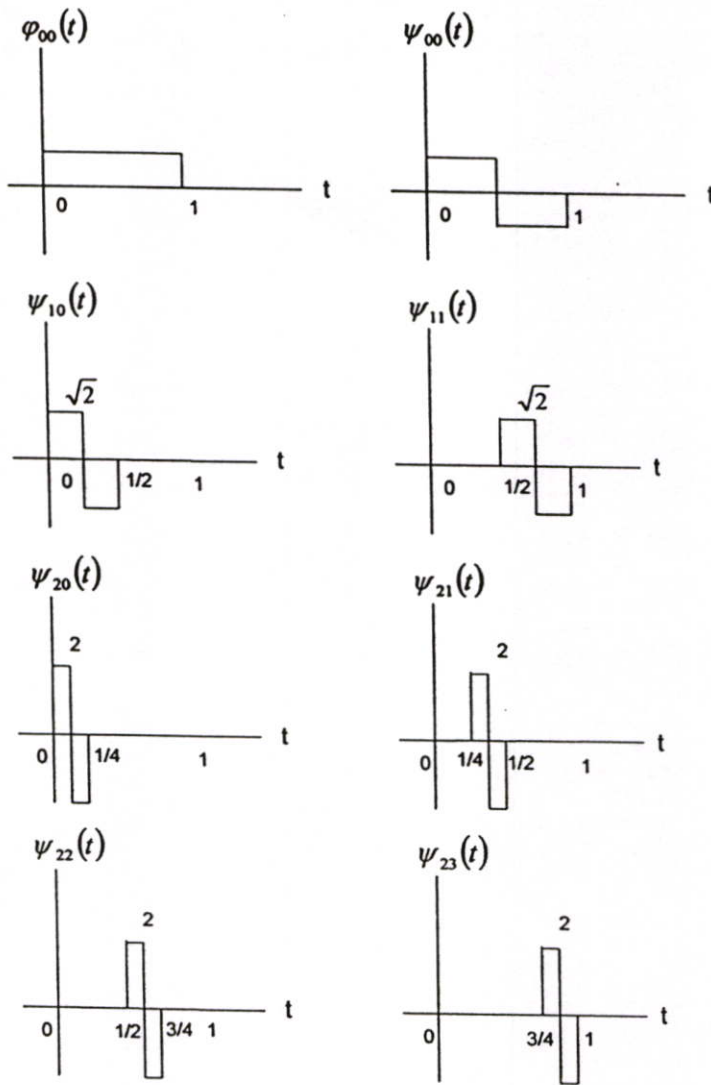
3.3.4 การแปลงฮาร์ (Haar Transform)

การแปลงฮาร์ คือหนึ่งในการแปลงเวฟเลต ซึ่งมีรูปแบบในการคิดดังนี้

$$c_{00} = \int_0^1 v(t) \varphi_{00}(t) dt \quad (3.19)$$

$$d_{jk} = \int_0^1 v(t) \psi_{jk}(t) dt \quad (3.20)$$

เมื่อ φ_{00} คือ ฟังก์ชันพื้นฐาน (basis function) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ฟังก์ชันของการสเกล (scaling function) และ ψ_{jk} คือฮาร์เวฟเลต



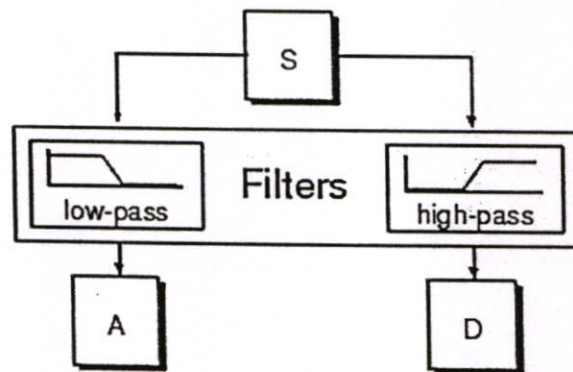
รูปที่ 3.13 ฟังก์ชันพื้นฐานของฮาร์ที่ระดับ 0 ถึง 2

รูปที่ 3.13 แสดงฟังก์ชันพื้นฐานของฮาร์ที่ระดับ 0, 1 และ 2 ซึ่งสามารถทำระดับที่สูงกว่านี้อีกได้ ที่ระดับ 0 จะประกอบด้วยฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชัน คือ $\varphi_{00}(t)$ (ฟังก์ชันของขนาด) และ $\psi_{00}(t)$ (เวฟเลทคีนแบบ) ที่ระดับ 1 ประกอบด้วยฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชัน คือ $\psi_{10}(t)$ และ $\psi_{11}(t)$ ที่ระดับ 2 ประกอบด้วย ฟังก์ชัน 4 ฟังก์ชัน คือ $\psi_{20}(t)$, $\psi_{21}(t)$, $\psi_{22}(t)$ และ $\psi_{23}(t)$ ซึ่งในระดับที่สูงกว่านี้จะมีจำนวนฟังก์ชันเท่ากับค่าของระดับยกกำลังสอง เช่น ที่ระดับ 3 จะประกอบด้วยฟังก์ชันของเวฟเลท 8 ฟังก์ชัน

3.4 การแยกย่อยเวฟเลท (Wavelet Decomposition)

โดยทั่วไปองค์ประกอบของสัญญาณส่วนมาก ส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำจะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเนื่องจากสามารถบอกลักษณะเฉพาะของสัญญาณนั้นได้ ในทางตรงกันข้ามส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่สูงจะเป็นส่วนที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก ตัวอย่างเช่น เสียงของมนุษย์ หากนำส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่สูงออก เสียงที่ได้ยินนั้นจะมีความแตกต่างจากเสียงเดิม แต่สามารถเข้าใจความหมายของเสียงนั้นได้ แต่หากนำส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำออก เสียงที่ได้ยินนั้นจะเป็นเสียงที่ไม่มีความหมาย ดังนั้นในการนำมาประยุกต์กับการกรองสัญญาณ ส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำจะเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้ถูกลดสัญญาณรบกวนแล้ว และส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่สูงจะเปรียบเทียบกับสัญญาณรบกวน

การแยกย่อยเวฟเลทอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการวิเคราะห์เวฟเลท เป็นวิธีการที่ทำการส่งผ่านสัญญาณต้นแบบ ไปยังตัวกรอง 2 ตัวเพื่อทำการแยกสัญญาณต้นแบบออกเป็น 2 สัญญาณ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะเรียกว่า ส่วนที่เป็นการประมาณและส่วนที่เป็นรายละเอียด โดยที่ ส่วนที่เป็นการประมาณ คือ ส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่ต่ำ และส่วนที่เป็นรายละเอียด คือ ส่วนที่มีองค์ประกอบความถี่สูง โดยกระบวนการในการกรองนั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.14



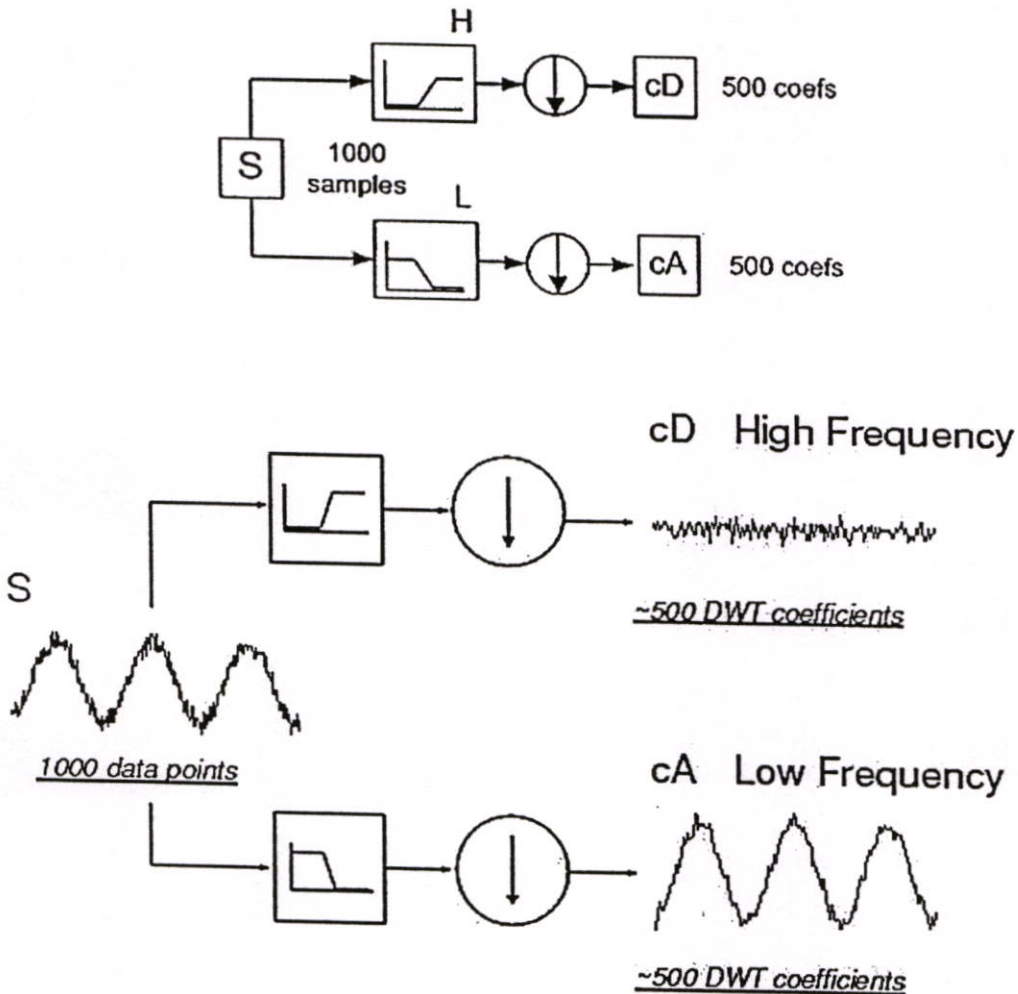
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนในการแยกย่อยเวฟเลท

จากรูป จะเป็นการไม่ถูกต้องหากสัญญาณต้นแบบ S มีการชักตัวอย่างที่มีข้อมูล 1000 ค่า เมื่อผ่านกระบวนการแล้วสัญญาณต้นแบบจะถูกแยกออกเป็น 2 สัญญาณ ทั้ง 2 สัญญาณจะมีค่าการชักตัวอย่างสัญญาณละ 1000 ค่า รวมเป็น 2000 ค่า ซึ่งจะเป็นค่าที่มีจำนวนข้อมูลมากกว่าสัญญาณต้นแบบ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคในการชักตัวอย่างแบบลดลง ซึ่งเป็นกระบวนการในการทำการสร้างค่าตัวประกอบของการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 2 ตัว คือ ค่า cA และ ค่า cD โดยที่ค่าตัวประกอบรายละเอียด cD จะมีค่าน้อยและประกอบไปด้วยสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงจำนวนมาก ในขณะที่ค่าตัวประกอบการประมาณ cA เป็นค่าที่มีสัญญาณรบกวนน้อย

กว่าสัญญาณต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยที่ H คือ ตัวกรองเวฟเลต และ L สามารถหาได้จากสมการ

$$L(n) = (-1)^n H(N - n) \quad (3.21)$$

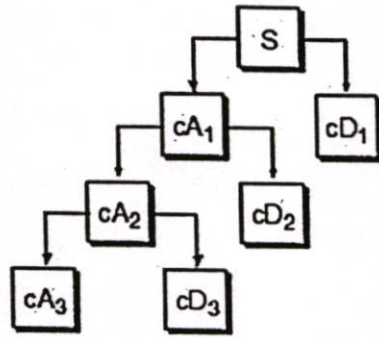
เมื่อ N คือ จำนวนสมาชิกทั้งหมดของ H



รูปที่ 3.15 การแยกย่อยเวฟเลตโดยใช้เทคนิคการชักตัวอย่างแบบลดลง

3.4.1 การแยกย่อยเวฟเลตแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition)

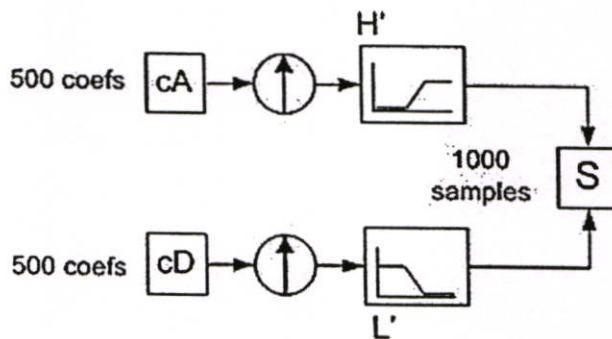
กระบวนการแยกย่อยเวฟเลตสามารถทำกระบวนการรูปแบบเดิมได้โดยนำส่วนที่เป็นการประมาณที่ได้จากการทำการแยกย่อยเวฟเลตในขั้นตอนแรกมาเป็นสัญญาณต้นแบบเพื่อทำการแยกย่อยเวฟเลตในระดับต่อไป โดยการทำการกระบวนการแยกย่อยเวฟเลตสามารถทำในระดับต่อไปได้โดยไม่มีที่สิ้นสุด แต่ในความเป็นจริง การแยกย่อยเวฟเลตจะสิ้นสุดเมื่อส่วนที่เป็นรายละเอียดมีค่าเท่ากับหนึ่ง



รูปที่ 3.16 การแยกย่อยเวฟเลตแบบหลายระดับ

3.5 การรวมกลับของเวฟเลต (Wavelet reconstruction)

กระบวนการรวมกลับของเวฟเลตอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการสังเคราะห์เวฟเลต เป็นกระบวนการที่เป็นส่วนกลับของกระบวนการแยกเวฟเลต ซึ่งทำการรวมสัญญาณที่ถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นรายละเอียดและส่วนที่เป็นการประมาณ ให้กลับมาเป็นสัญญาณต้นแบบที่ไม่มีการสูญเสียข้อมูล ในทางคณิตศาสตร์จะเรียกผลกระทบจากการสังเคราะห์นี้ว่า การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องแบบย้อนกลับ (Inverse discrete wavelet transform : IDWT) โดยนำค่าตัวประกอบของเวฟเลตเป็นค่าในการสังเคราะห์สัญญาณ ในการวิเคราะห์เวฟเลตนั้นจะใช้เทคนิคของตัวกรองและการชักตัวอย่างแบบลดลง ขณะที่การสังเคราะห์เวฟเลตจะใช้เทคนิคของการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้นและตัวกรองตามลำดับ

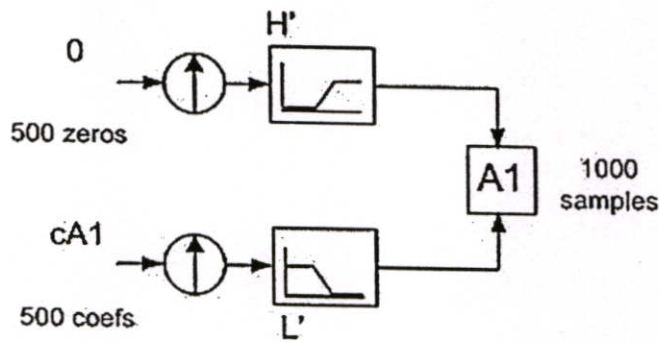


รูปที่ 3.17 การรวมกลับของเวฟเลตโดยใช้เทคนิคของการชักตัวอย่างแบบเพิ่มขึ้น

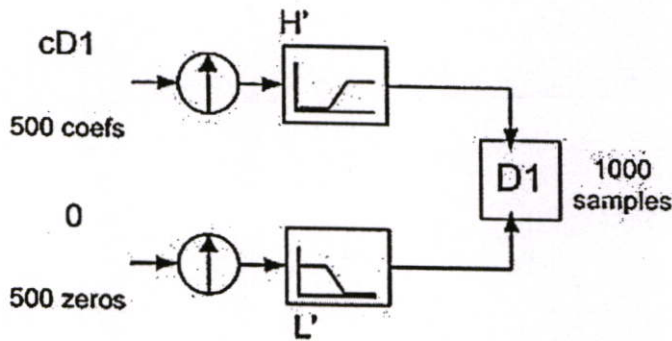
โดยที่ H' และ L' คือส่วนกลับของ H และ L ตามลำดับ

3.5.1 การสังเคราะห์โดยใช้ส่วนของรายละเอียดและส่วนของการประมาณ

วิธีการนี้เป็นการสังเคราะห์สัญญาณต้นแบบ โดยใช้ค่าตัวประกอบที่เป็นส่วนของรายละเอียดและส่วนของการประมาณ หากต้องการสังเคราะห์ส่วนที่เป็นการประมาณ $A1$ ในระดับการสังเคราะห์เริ่มต้นจากค่าตัวประกอบเวกเตอร์ $cA1$ มีวิธีการในการสังเคราะห์คล้ายกับการสังเคราะห์สัญญาณต้นแบบ โดยทำการรวมส่วนของการประมาณและส่วนของรายละเอียดเข้าด้วยกัน ซึ่งค่าของส่วนที่เป็นรายละเอียดจะถูกแทนที่ด้วยค่าตัวประกอบที่มีค่าทั้งหมดเป็น 0 ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ได้สัญญาณที่เกิดจากการประมาณ $A1$ ที่มีค่าการชักตัวอย่างเท่ากับสัญญาณต้นแบบซึ่งเป็นค่าจริงจากการประมาณ ในทำนองเดียวกันสามารถสังเคราะห์ส่วนที่เป็นรายละเอียด $D1$ ได้เช่นกัน



รูปที่ 3.18 การสังเคราะห์ส่วนของการประมาณ



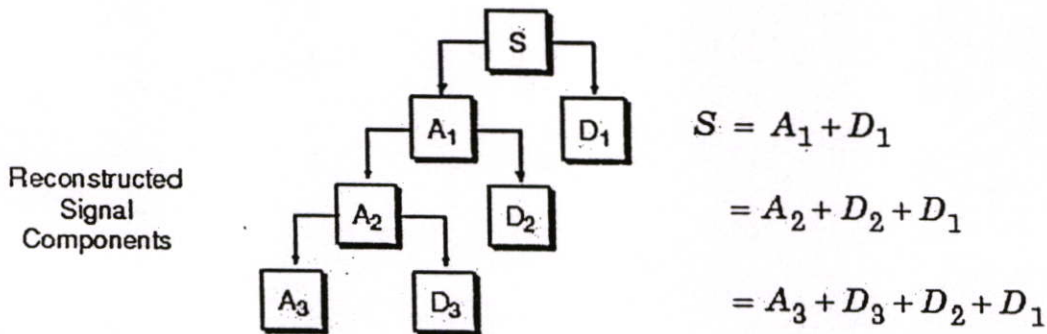
รูปที่ 3.19 การสังเคราะห์ส่วนของรายละเอียด

ในความเป็นจริงการสังเคราะห์สัญญาณต้นแบบเกิดจากการรวมกันระหว่างส่วนที่เป็นการประมาณและส่วนที่เป็นรายละเอียดหรือเขียนได้ดังสมการ

$$A1 + D1 = S \quad (3.22)$$

หากแต่ค่าตัวประกอบ $cA1$ และ $cD1$ ได้ผ่านเทคนิคการชักตัวอย่างแบบลดลงทำให้จำนวนค่าของตัวประกอบมีเพียงครึ่งหนึ่งของสัญญาณต้นแบบ ซึ่งไม่สามารถนำกลับไปรวมเป็นสัญญาณต้นแบบได้โดยตรง การสังเคราะห์ค่าตัวประกอบในส่วนของการประมาณละในส่วนของการละเอียดจึงมีความจำเป็นที่จะต้องกระทำก่อนที่จะทำการรวมทั้งสองส่วน เพื่อให้ได้สัญญาณต้นแบบที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์เวฟเลทแบบหลายระดับสามารถหาความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์และการสังเคราะห์เวฟเลท

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการของการแปลงเวฟเลทโดยมีวิธีการและขั้นตอนที่ถูกระบุให้ เป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ถึงลักษณะของสัญญาณที่ต้องการพิจารณา อีกทั้งยังสามารถทำการสังเคราะห์รูปแบบของสัญญาณขึ้นมาจากสัญญาณต้นแบบ โดยใช้หลักการดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างสัญญาณและตีเทกสัญญาณรบกวนสำหรับระบบต่างๆ โดยในกรณีนี้จะถูกนำไปทำการสังเคราะห์เพื่อสร้างสัญญาณที่ใช้ในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังที่จะนำเสนอในบทต่อไป

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้เวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

4.1 บทนำ

ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งมีหลักในการส่งสัญญาณแบบพัลส์ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีหลักการที่แน่นอนในการกำหนดรูปแบบของสัญญาณส่ง จึงเกิดแนวความคิดหลายแนวความคิดในการที่จะออกแบบสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งการสังเคราะห์สัญญาณเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการออกแบบสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้พื้นฐานของเวฟเลททำการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่ง โดยสังเคราะห์สัญญาณจากสัญญาณต้นแบบที่มีรูปแบบต่างๆ กัน และการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณของระบบการสื่อสารนั้น สัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปในระบบจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสาร ทำให้สัญญาณที่รับได้ทางภาครับเกิดการผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่ง จึงได้มีการนำเอาเทคนิคต่างๆ มาใช้ร่วมกับระบบการสื่อสารเพื่อให้ข้อมูลที่รับได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น หนึ่งในเทคนิคที่น่าสนใจ คือ การดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนโดยใช้ความรู้ทางด้านเวฟเลททำการลดอัตราการผลิตของบิต เพื่อเป็นการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสาร ซึ่งทำให้อัตราการผลิตของบิตในระบบลดลง

4.2 สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์

เนื่องจากระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งใช้สัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณในการส่ง แต่สัญญาณพัลส์สำหรับตัวระบบนั้นยังไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัวที่จะใช้รูปแบบพัลส์แบบใด ดังนั้นจึงมีวิธีการเลือกสัญญาณพัลส์ต้นแบบที่เหมาะสมกับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของพัลส์ เช่น ความกว้างของสัญญาณ ข้อกำหนดของ FCC เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต เป็นสัญญาณต้นแบบในการสังเคราะห์

4.2.1 พัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform)

พัลส์แบบสี่เหลี่ยมจะมีรูปแบบของคลื่นในขอบเขตของเวลา ดังนี้

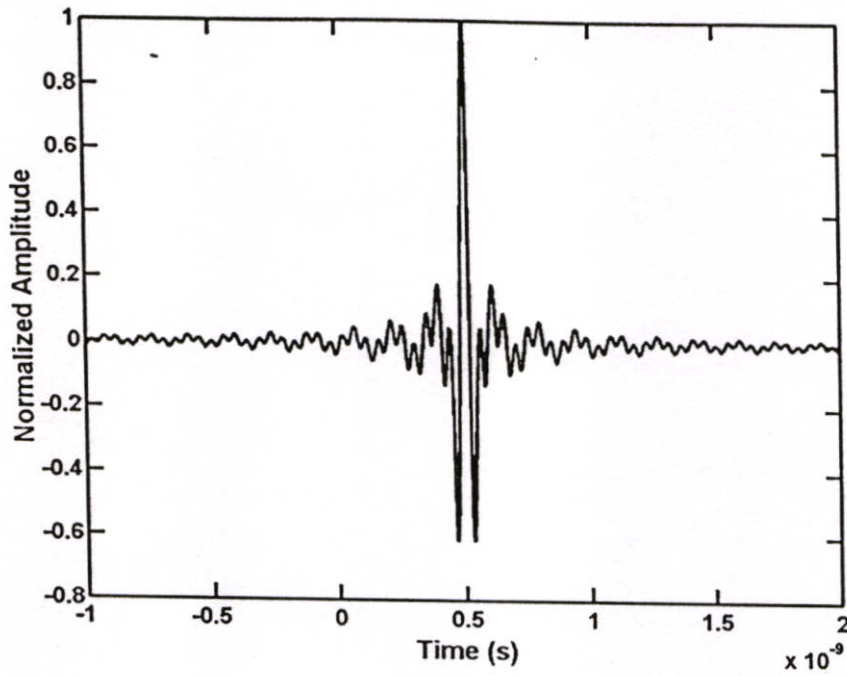
$$f(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (4.1)$$

- โดยที่
- A คือ ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด
 - f_b คือ แบนด์วิดท์ที่ถือครอง
 - f_c คือ ความถี่กลาง $f_L = f_c - f_b/2$ และ $f_H = f_c + f_b/2$ คือ ค่าความถี่ที่ต่ำสุด และความถี่ที่มากที่สุด ตามลำดับ
 - sinc คือ $\frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$

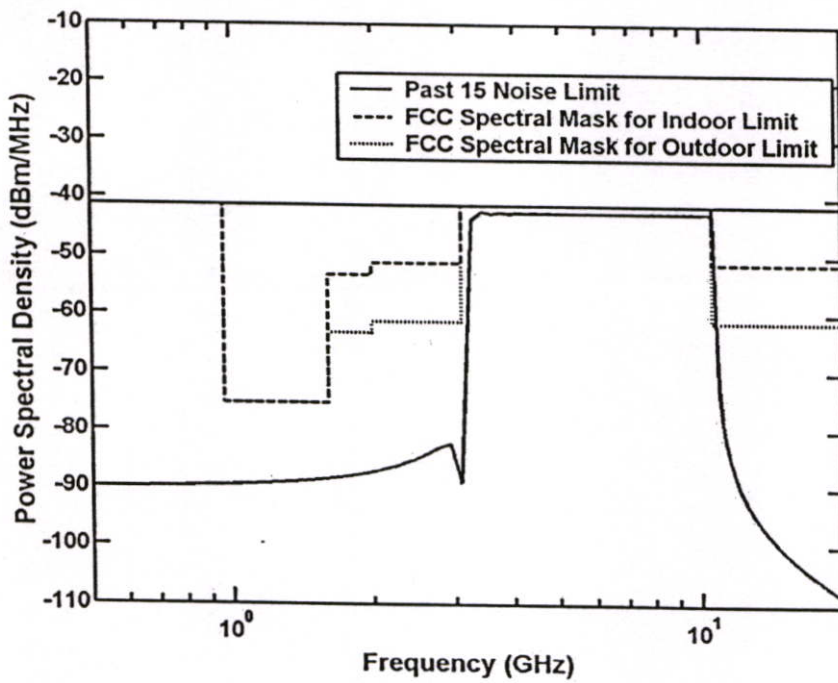
รูปแบบของพัลส์นี้มีขนาดของความหนาแน่นสเปกตรัมคงที่ $A/2(f_b)$ ในช่วงความถี่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และในช่วง f_L ถึง f_H มีพื้นที่ความหนาแน่นของสเปกตรัมเท่ากับ A เมื่อรูปแบบของคลื่น A ที่ตำแหน่ง $t = 0$

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

พารามิเตอร์	ค่า
ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด (A)	1
แบนด์วิดท์ที่ถือครอง (f_b)	7.5 GHz
ค่าความถี่ที่ต่ำสุด (f_L)	3.1 GHz
ค่าความถี่ที่สูงสุด (f_H)	10.6 GHz



รูปที่ 4.1 สัญญาณแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในขอบเขตทางเวลา



รูปที่ 4.2 สัญญาณแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในขอบเขตทางความถี่

4.2.2 พัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulated Rectangular Waveform)

พัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตมีรูปแบบของคลื่นในขอบเขตของเวลา ดังนี้

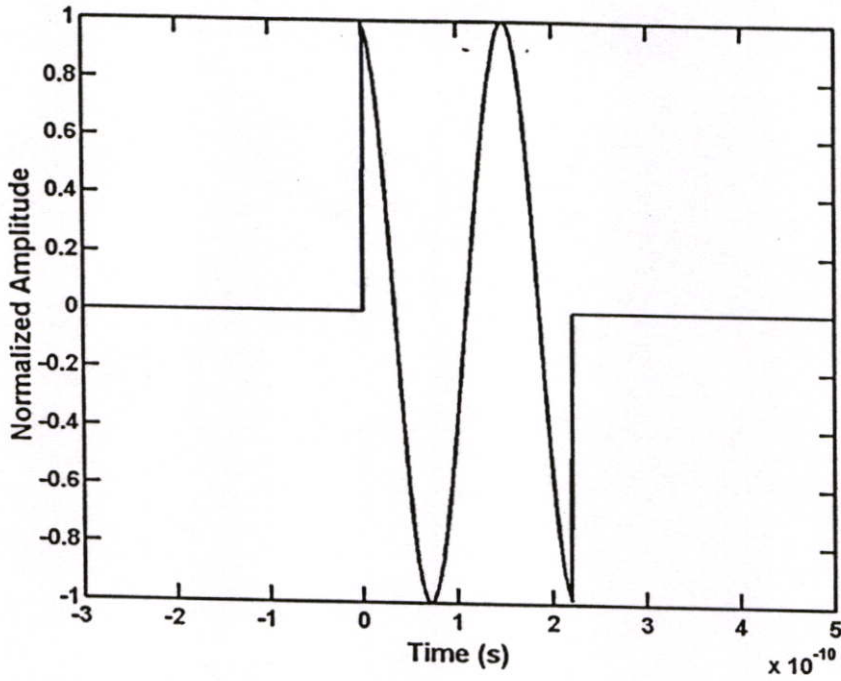
$$f(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_c t) & |t| \leq \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

โดยที่ A คือ ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด
 f_c คือ ความถี่พาหะ
 t_b คือ ความกว้างพัลส์ของรูปสัญญาณ

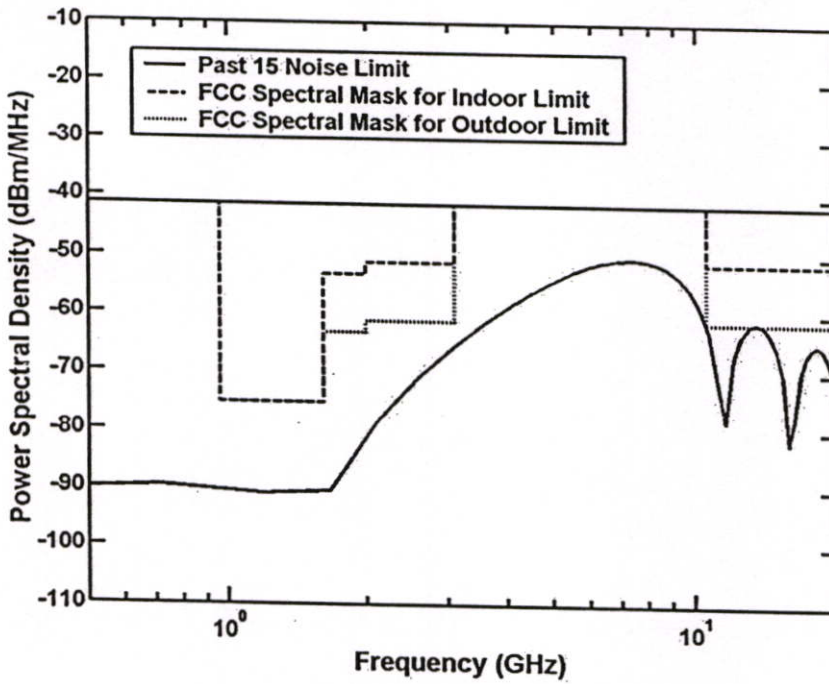
รูปแบบคลื่นนี้ถูกมอดูเลตระหว่างแอมพลิจูดที่มีค่าคงที่ A กับความกว้างของพัลส์ t_b และ ความถี่พาหะของฟังก์ชันไซน์ f_c ซึ่งฟังก์ชันไซน์ถูกใช้เพื่อลดความเป็นองค์ประกอบของ สัญญาณกระแสตรง

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

พารามิเตอร์	ค่า
ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด (A)	1
ความถี่พาหะ (f_c)	6.58 GHz
ความกว้างพัลส์ของรูปสัญญาณ (t_b)	0.22 ns



รูปที่ 4.3 สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตทางเวลา



รูปที่ 4.4 สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตทางความถี่

4.2.3 สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulate Gaussian waveform)

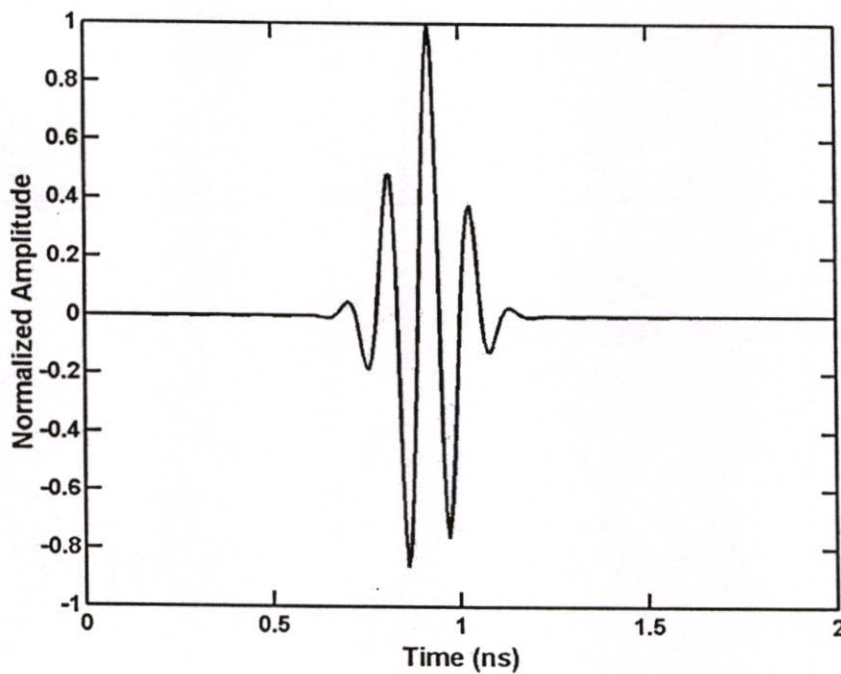
ซึ่งมีสมการในเชิงเวลา ดังนี้

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (4.3)$$

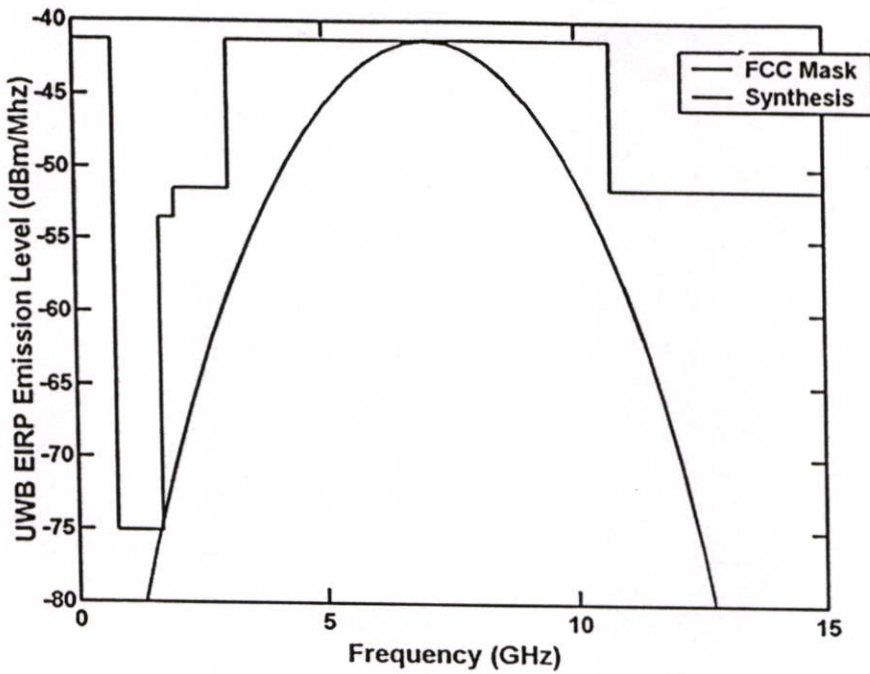
โดยที่ A คือ ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุดของสัญญาณ
 f_c คือ ความถี่พาหะ
 d คือ คุณสมบัติการลดลงของเวลา

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

พารามิเตอร์	ค่า
ค่าแอมพลิจูดที่มีค่ามากที่สุด (A)	1
ความถี่พาหะ (f_c)	6.85 GHz
คุณสมบัติการลดลงของเวลา (d)	0.3×10^{-9}



รูปที่ 4.5 สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในขอบเขตของเวลา



รูปที่ 4.6 สัญญาณแกลสที่ถูกรวมดูแลดในขอบเขตของความถี่

4.3 ขั้นตอนในการสังเคราะห์สัญญาณ

กระบวนการในการสังเคราะห์สัญญาณเป็นวิธีการในการนำสัญญาณต้นแบบผ่านกระบวนการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีฮาร์เวฟเลทเป็นเวฟเลทต้นแบบ ทำการหาค่าตัวประกอบของการแปลง เพื่อนำไปเป็นค่าในการกำหนดองค์ประกอบของเวฟเลท ซึ่งเมื่อนำองค์ประกอบเหล่านั้นมารวมกันแล้วจะได้สัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้น โดยมีกระบวนการในการสังเคราะห์ตามลำดับขั้นดังนี้

ขั้นตอนแรก ทำการกำหนดฟังก์ชันเวฟเลท และค่าระดับของฟังก์ชันเวฟเลท (j) ที่ต้องการใช้เป็นค่าในการสังเคราะห์สัญญาณ

ขั้นตอนที่ 2 นำสัญญาณต้นแบบมาคำนวณหาค่าตัวประกอบ c_{jk} และ d_{jk} ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยใช้สมการที่ (3.17) และ (3.18) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบของฟังก์ชันพื้นฐานหรือฟังก์ชันการสเกล $\varphi_{jk}(t)$ และฟังก์ชันเวฟเลท $\psi_{jk}(t)$ ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ระดับที่ $j=0$ ถึงระดับที่ $j=j$ จากสมการที่ (3.10) และ (3.12) ตามลำดับ

ขั้นตอนสุดท้าย นำค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้นมาทำการหาสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ โดยแทนค่าลงในสมการที่ (3.16)

4.4 การตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

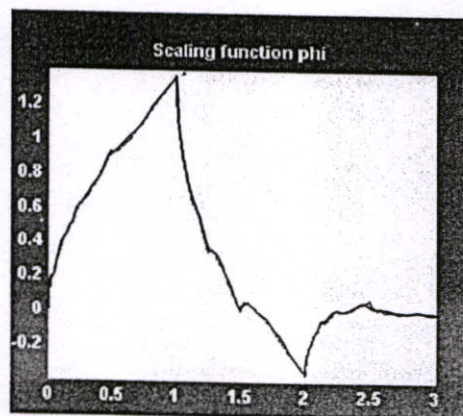
การตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนโดยใช้พื้นฐานของเวฟเลต คือ การใช้หลักการในการแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลต ซึ่งเป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นกระบวนการนี้จึงประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter : L) และตัวกรองความถี่สูง (High pass filter : H) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตัวกรองแบบสองช่องสัญญาณ และเป็นโครงสร้างที่กลับกันกับการสังเคราะห์การสร้างกลับตัวกรองแบบสองช่องสัญญาณ โดยที่ตัวกรองในการแยกย่อยที่ความถี่ต่ำและความถี่สูงคือ L และ H กับตัวกรองการสร้างกลับความถี่ต่ำและความถี่สูงคือ L' และ H' ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ดังจากกัน

4.4.1 ตัวกรองเวฟเลต (ฟังก์ชันเวฟเลต)

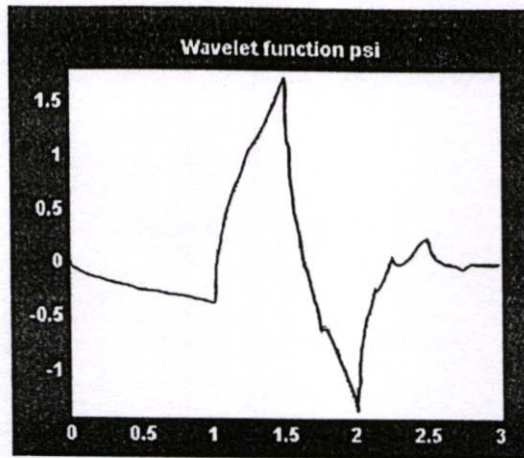
เนื่องจากตัวกรองเวฟเลตมีด้วยกันหลายชนิด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงพิจารณาตัวกรองเวฟเลตบางส่วนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยตัวกรองเวฟเลตที่พิจารณาประกอบไปด้วย เวฟเลตในตระกูล Daubechies และ Biorthogonal

4.4.1.1 เวฟเลตตระกูล Daubechies

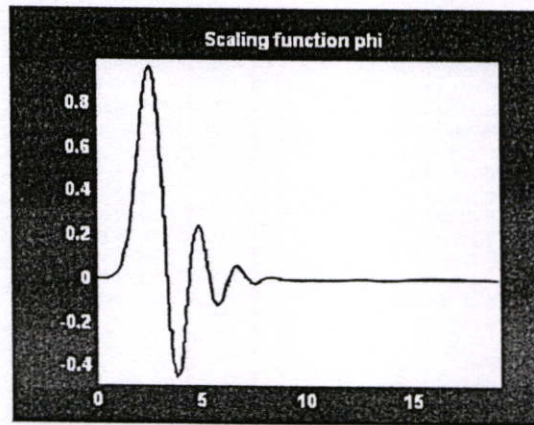
เวฟเลตตระกูล Daubechies เป็นเวฟเลตที่มีความนิยมในการนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการวิจัยศึกษากระบวนการต่างๆ ทางด้านเวฟเลต ซึ่งเวฟเลตตระกูลนี้มีคุณสมบัติของการตั้งฉากที่มีขนาดหนึ่งหน่วย (Orthonormal wavelet) ดังนั้นจึงสามารถนำไปวิเคราะห์การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องได้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ Daubechies ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 10 เพื่อเป็นตัวกรองเวฟเลตในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน



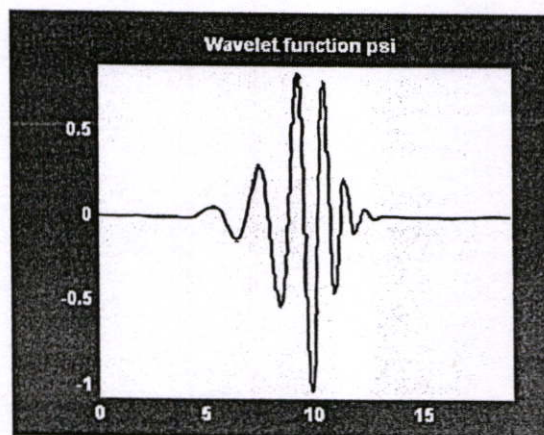
รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันการสเกลของ Daubechies ลำดับที่ (2)



รูปที่ 4.8 ฟังก์ชันเวฟเลต Daubechies ลำดับที่ (2)



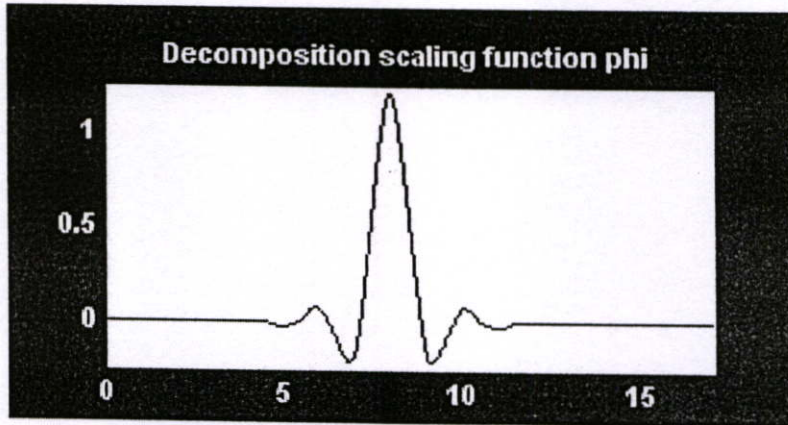
รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันการสเกล Daubechies ลำดับที่ (10)



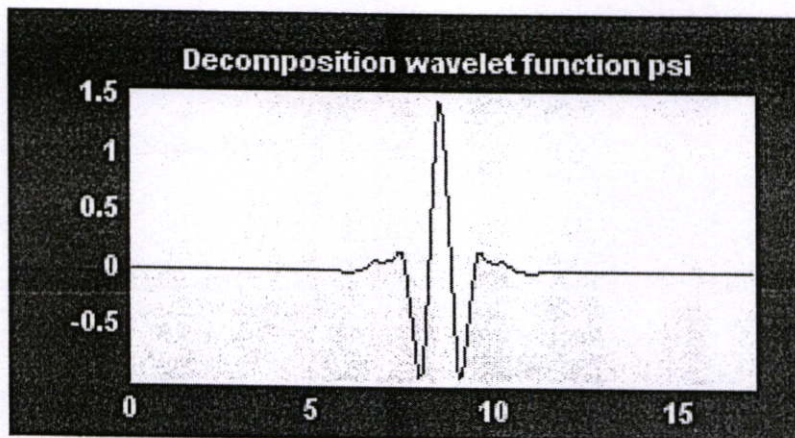
รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันเวฟเลต Daubechies ลำดับที่ (10)

4.4.1.2 เวฟเลทระกูด Biorthogonal

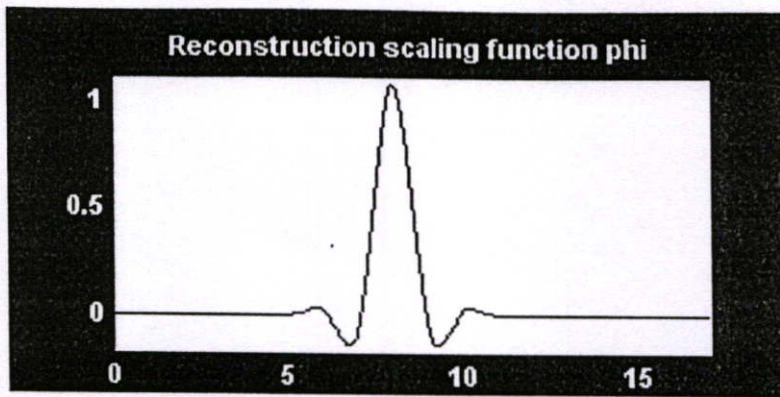
เวฟเลทระกูด Biorthogonal เป็นเวฟเลทที่มีคุณสมบัติของการมีเฟสเป็นเส้นตรง ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์การรวมกลับของสัญญาณหรือรูปภาพ ซึ่งพิจารณา Biorthogonal ลำดับที่ 6.8 ในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน โดยมีฟังก์ชันเวฟเลทสองตัว ตัวหนึ่งใช้ในการแยกย่อยเวฟเลท และอีกตัวหนึ่งใช้สำหรับการรวมกลับของเวฟเลท



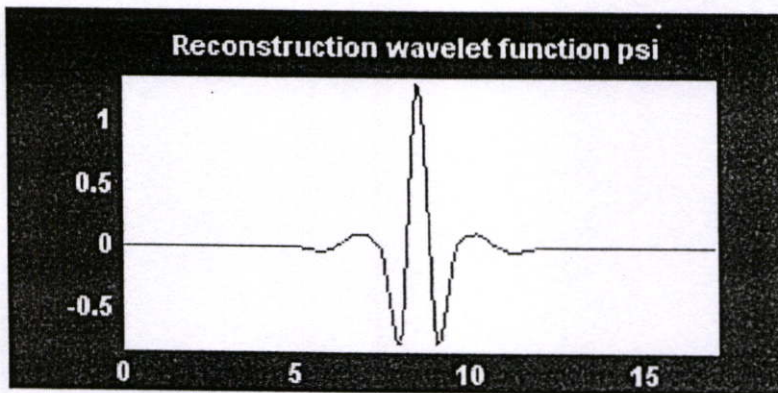
รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันการสเกล Biorthogonal ลำดับที่ (6.8) สำหรับการแยกย่อยเวฟเลท



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันเวฟเลท Biorthogonal ลำดับที่ (6.8) สำหรับการแยกย่อยเวฟเลท



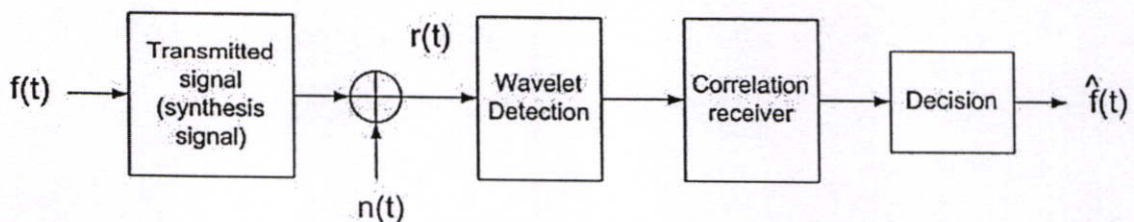
รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันการสเกล Biorthogonal ลำดับที่ (6.8) สำหรับการรวมกลับเวฟเลข



รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันเวฟเลข Biorthogonal ลำดับที่ (6.8) สำหรับการรวมกลับเวฟเลข

4.4.2 ขั้นตอนในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

ในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนกำหนดช่องสัญญาณมีการรบกวนแบบเกาส์ สายอากาศทางภาครับและภาคส่งมีการกระจายคลื่นแบบอุดมคติ ซึ่งมีตัวรับสัญญาณเป็นแบบสหสัมพันธ์ (Correlation receiver) ในการตรวจรับสัญญาณ รูปที่ 4.15 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน โดยที่ $n(t)$ คือ สัญญาณรบกวนแบบเกาส์ และ $r(t)$ คือ สัญญาณที่รับได้ ซึ่งสัญญาณที่ส่ง $f(t)$ เป็นสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต



รูปที่ 4.15 แบบจำลองในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.15 สัญญาณที่ใช้ในการส่งจะเป็นสัญญาณที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นตามกระบวนการสังเคราะห์ ทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเกาส์ สัญญาณที่รับได้ $r(t)$ เกิดจากการรวมกันของสัญญาณที่ส่ง $f(t)$ กับสัญญาณรบกวน $n(t)$ สัญญาณ $r(t)$ ถูกส่งผ่านกระบวนการการตรวจจับสัญญาณโดยเวฟเลท ซึ่งเป็นการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน โดยที่สัญญาณที่รับได้ $r(t)$ จะถูกแยกออกเป็นสองสัญญาณด้วยวิธีการแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลท ซึ่งสัญญาณหนึ่ง คือ ส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวน และอีกสัญญาณหนึ่ง คือ สัญญาณที่ถูกตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน ซึ่งสัญญาณที่ถูกตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนจะกลายเป็นสัญญาณอินพุทของตัวรับแบบสหสัมพันธ์ เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และส่งผ่านไปยังกระบวนการตัดสินใจ ทำการตัดสินใจข้อมูลที่ได้รับได้ โดยทำการหาประสิทธิภาพของสัญญาณที่ถูกลดสัญญาณรบกวนเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ไม่ได้ถูกลดสัญญาณรบกวนในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิตในลำดับต่อไป

4.5 แบบจำลองเครื่องส่ง

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยังมีหลักในการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณที่หลากหลาย ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เทคนิควิธีการมอดูเลตโดยใช้พื้นฐานทางด้านเวลา หรือโดยทั่วไปเรียกกันว่า การมอดูเลตสัญญาณพัลส์โดยตำแหน่ง (Pulse position modulation :PPM) ซึ่งหลักการทั่วไปของการมอดูเลตสัญญาณโดยตำแหน่งจะเป็นไปดังสมการ [13]

$$s_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k) \quad (4.4)$$

โดยที่	T_f	คือ ระยะเวลาของเฟรม
	$p(t)$	คือ สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต
	T_{c_n}	คือ การเลื่อนเวลาที่มีความสัมพันธ์กับ PN code
	T_{p_n}	คือ หลักการในการเลื่อนตำแหน่งของเวลาในการมอดูเลต
	τ_k	คือ เวลาในการประวิง

4.6 แบบจำลองเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณที่ส่งได้ผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน สมการของสัญญาณที่รับได้จะเป็นไปดังสมการ [13]

$$r_{PPM} = s_{PPM}(t) + n(t) \quad (4.5)$$

โดยที่ $n(t)$ คือ สัญญาณรบกวนแบบเกาส์

พิจารณาเทคนิคที่เหมาะสมในการรับสัญญาณสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งโดยทั่วไปเทคนิคที่เหมาะสมในการรับสัญญาณ สำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งคือการใช้ตัวรับแบบสหสัมพันธ์ โดยที่ตัวรับแบบสหสัมพันธ์จะทำการคูณกันระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณแม่แบบ (Template waveform) และทำการอินทิเกรตเอาที่พู่ทของกระบวนการออกมาอยู่ในรูปของค่าคงที่ค่าหนึ่ง ในกระบวนการคูณและการอินทิเกรตเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาของลูกคลื่นพัลส์ ซึ่งเริ่มทำกระบวนการโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเวลาของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณแม่แบบที่ตรงกัน สำหรับการมอดูเลตโดยตำแหน่งจะมีสมการของสัญญาณที่รับได้ดังสมการที่ [13]

$$r_{PPM}(t)_{,c} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{k+JT_f}^{k+(j+1)T_k} r_{PPM}(t) \cdot p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k) \quad (4.6)$$

โดยที่ $v(t) = p(t) - p(t - \delta)$ คือ สัญญาณแม่แบบ

4.8 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอรูปแบบของสัญญาณคั่นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณ ขั้นตอนในการสังเคราะห์สัญญาณ ชนิดของฟังก์ชันเวฟเลทที่เลือกใช้ ขั้นตอนในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน รวมไปถึงแบบจำลองของเครื่องส่ง และแบบจำลองของเครื่องรับ โดยทำการสังเคราะห์สัญญาณและตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน อีกทั้งทำการหาประสิทธิภาพของสัญญาณทั้งในด้านของการสังเคราะห์สัญญาณและการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสหสัมพันธ์

บทที่ 5

ผลการจำลอง

5.1 บทนำ

หลังจากที่ได้กล่าวถึงการออกแบบการสังเคราะห์สัญญาณและการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ลักษณะสัญญาณ และเวฟเลทต้นแบบที่เลือกใช้ ในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะนำเสนอการสังเคราะห์สัญญาณทั้ง 3 รูปแบบดังที่ได้นำเสนอในบทที่ผ่านมา ในรูปแบบของการเปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณระหว่างสัญญาณต้นแบบและสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ที่ระดับของเวฟเลทที่แตกต่างกัน พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับของเวฟเลทที่ใช้และรูปร่างของสัญญาณที่สังเคราะห์ได้มีความสอดคล้องหรือไม่อย่างไร ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสัญญาณต้นแบบ ซึ่งเป็นสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ในระดับของเวฟเลทที่แตกต่างกันซึ่งจะแสดงในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต ในส่วนของการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นในขณะที่ยังไม่ได้ตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนและได้ตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณทั้งสองในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต ดังจะได้แสดงต่อไป

5.2 ผลการสังเคราะห์สัญญาณ

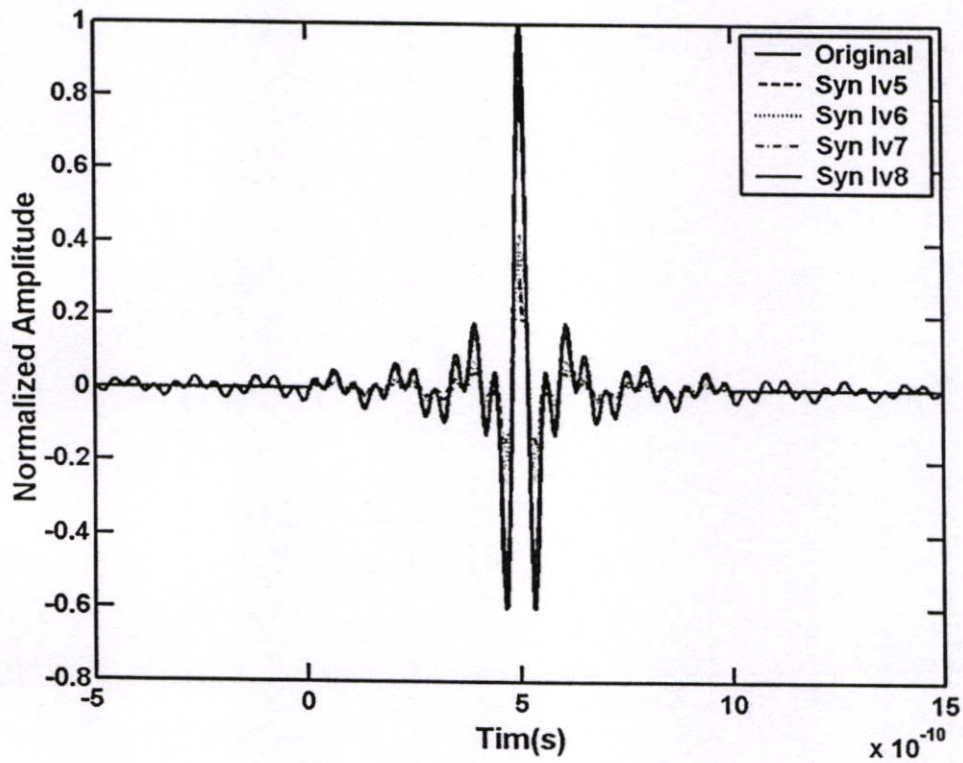
ในหัวข้อนี้แนะนำเสนอผลการจำลองการสังเคราะห์สัญญาณด้วยพื้นฐานของเวฟเลท ทำการสังเคราะห์สัญญาณจากสัญญาณต้นแบบที่ได้นำเสนอในบทที่ผ่านมา โดยใช้ระดับของเวฟเลทในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณระหว่างสัญญาณต้นแบบและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นในเชิงเวลาและเชิงความถี่

5.2.1 การสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

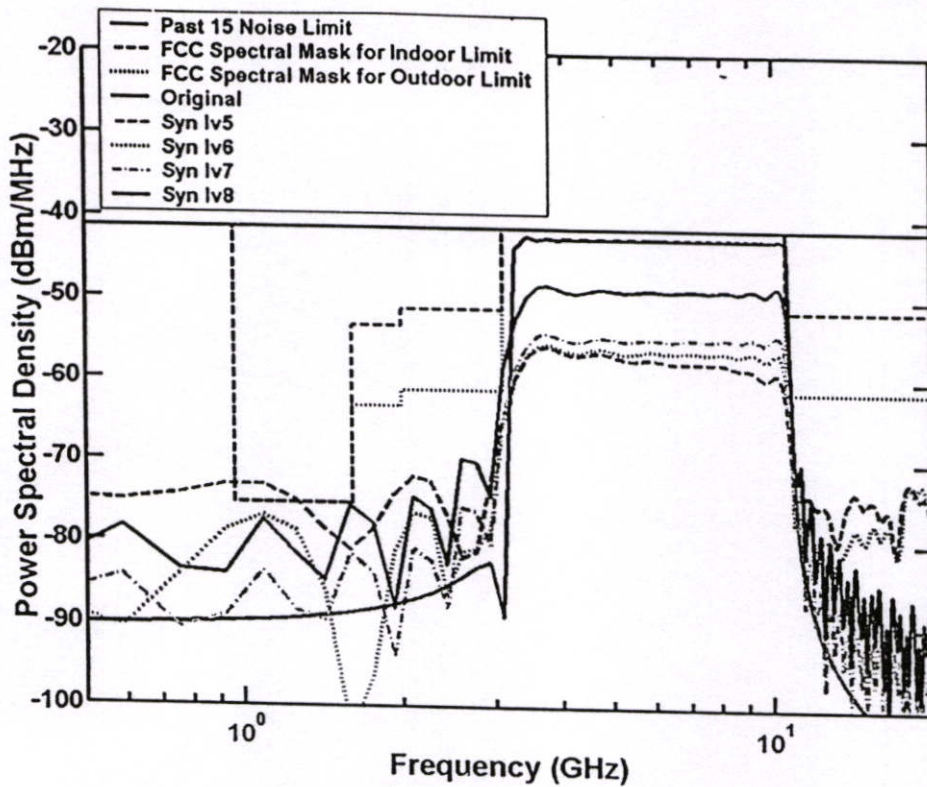
รูปแบบของสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในเชิงเวลาและเชิงความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ตามลำดับ โดยมีค่าตัวแปรในการสังเคราะห์ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

	ตัวแปร	ค่าที่นำมาใช้
สัญญาณพัลส์ต้นแบบ	จำนวนการชักตัวอย่าง	600 จุด
	ความกว้างของพัลส์	1 nsec
	การสังเคราะห์โดยเวฟเลท	ฮาร์ (Haar)
การสังเคราะห์โดยเวฟเลท	ระดับของเวฟเลท	5-8



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงเวลา



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงความถี่

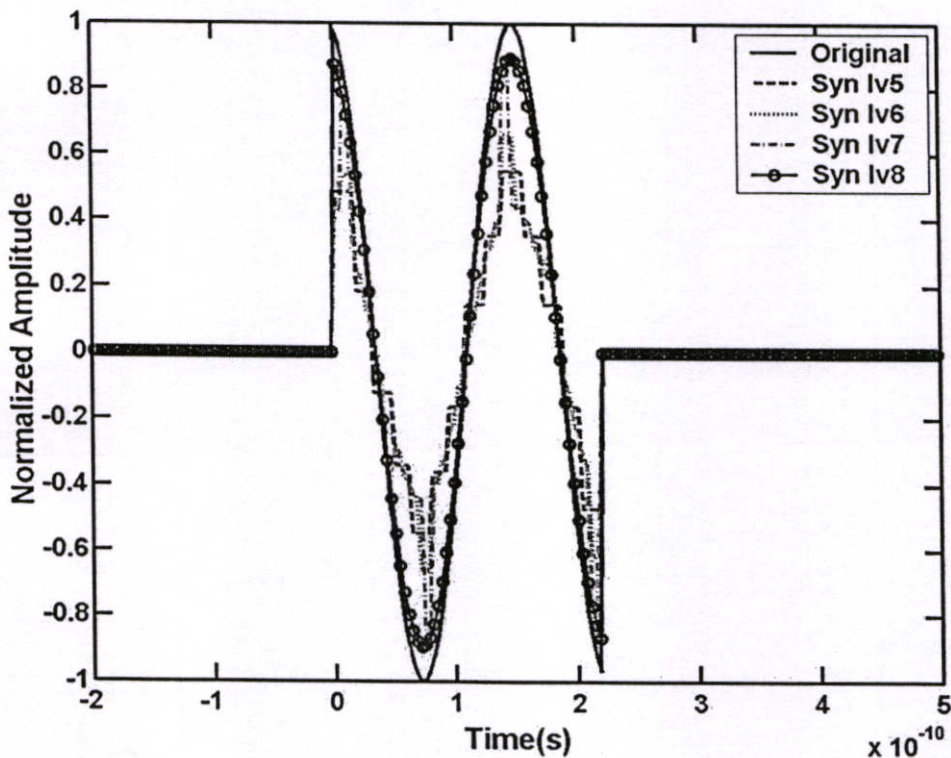
จากรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยระดับเวฟเลทเท่ากับ 8 สัญญาณที่สังเคราะห์มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมากกว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลทอื่นๆ พิจารณาที่ค่าของสัญญาณ ในช่วงของสัญญาณที่ไม่อยู่ในช่วงเวลา 0 ถึง 1 ns ค่าของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นจะมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด เนื่องจากเวฟเลทต้นแบบที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ ฮาร์เวฟเลท ซึ่งฮาร์เวฟเลทเป็นฟังก์ชันที่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงเวลา 0 ถึง 1 เท่านั้น ทำให้สัญญาณที่สังเคราะห์ได้มีค่าอยู่ระหว่างช่วงเวลา 0 ถึง 1 และในรูปที่ 5.2 สเปกตรัมของสัญญาณที่สังเคราะห์ได้และสัญญาณต้นแบบเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC เนื่องจากสัญญาณต้นแบบที่ใช้ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีสเปกตรัมเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC ยกเว้นสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลทที่ต่ำสุด คือ ที่ระดับเท่ากับ 5 สเปกตรัมของสัญญาณเกินขอบเขตที่กำหนดไปบางส่วน

5.2.2 การสังเคราะห์พัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกลมอคูเลต

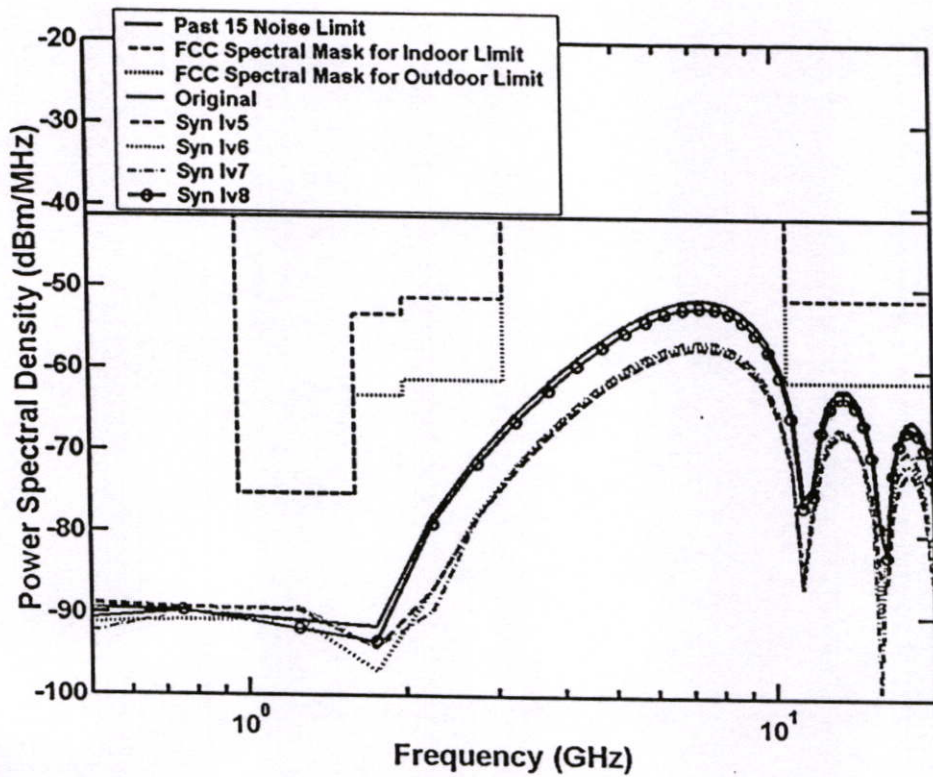
รูปแบบของสัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยมในเชิงเวลาและความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ตามลำดับ โดยมีค่าตัวแปรในการสังเคราะห์ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

	ตัวแปร	ค่าที่นำมาใช้
สัญญาณพัลส์ต้นแบบ	จำนวนการซัดตัวอย่าง	572 จุด
	ความกว้างของพัลส์	0.22 nsec
การสังเคราะห์โดยเวฟเลต	เวฟเลตต้นแบบ	ฮาร์ (Haar)
	ระดับของเวฟเลต	5-8



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกลมอคูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ระดับเวฟเลตที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงเวลา



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ระดับเวฟเลทที่ระดับ 5 ถึง 8 ในเชิงความถี่

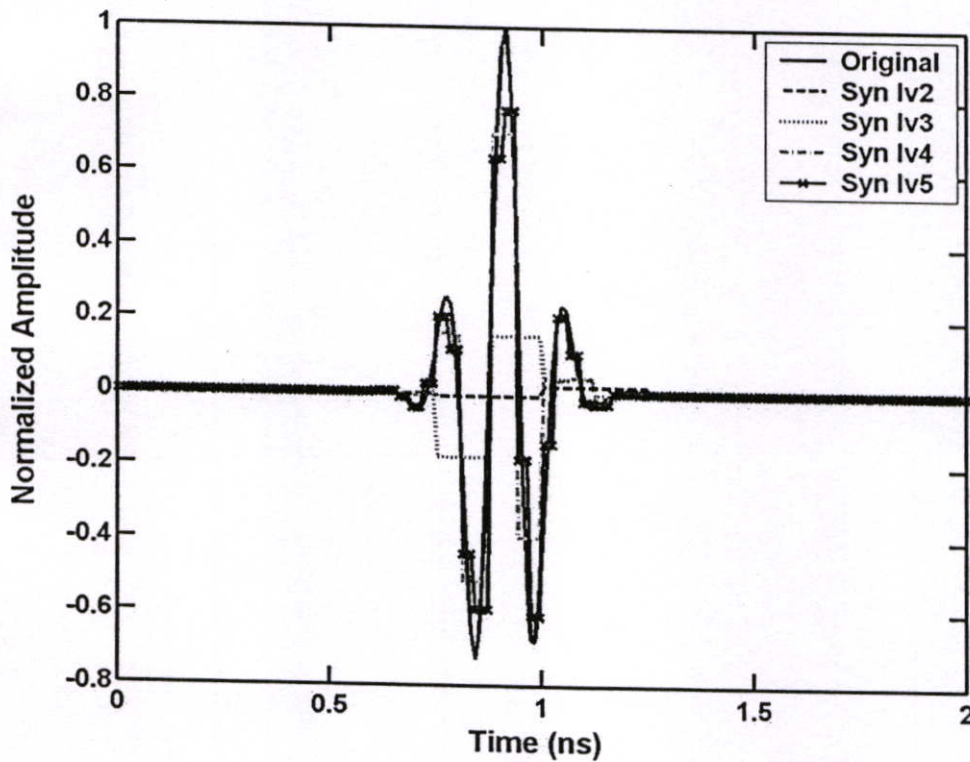
จากรูปที่ 5.3 สัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลทเท่ากับ 8 มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมากที่สุด และในรูปที่ 5.4 สเปกตรัมของสัญญาณทั้งหมดเป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC หากพิจารณาสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยระดับเวฟเลทที่ระดับต่างๆ สังเกตได้ว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลทเท่ากับ 8 มีระดับกำลังงานใกล้เคียงกับสัญญาณต้นแบบมากที่สุด เนื่องจากรูปแบบของสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ในเชิงเวลา มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมากที่สุด

5.2.3 การสังเคราะห์สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

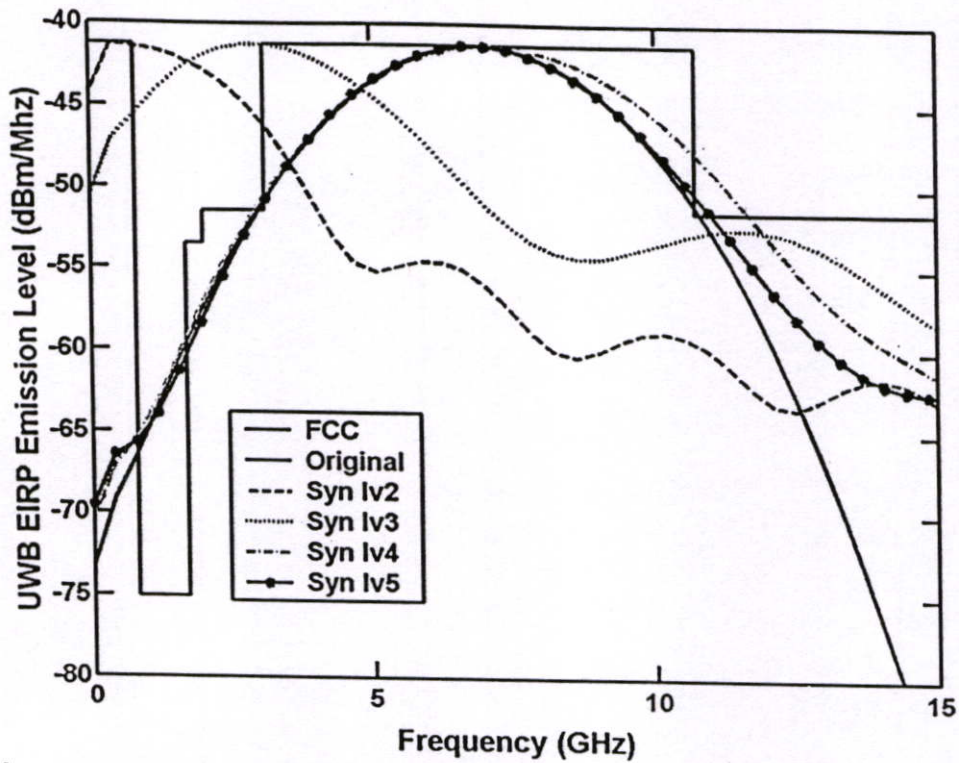
รูปแบบของสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในเชิงเวลาและความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 ตามลำดับ โดยมีค่าตัวแปรในการสังเคราะห์ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม

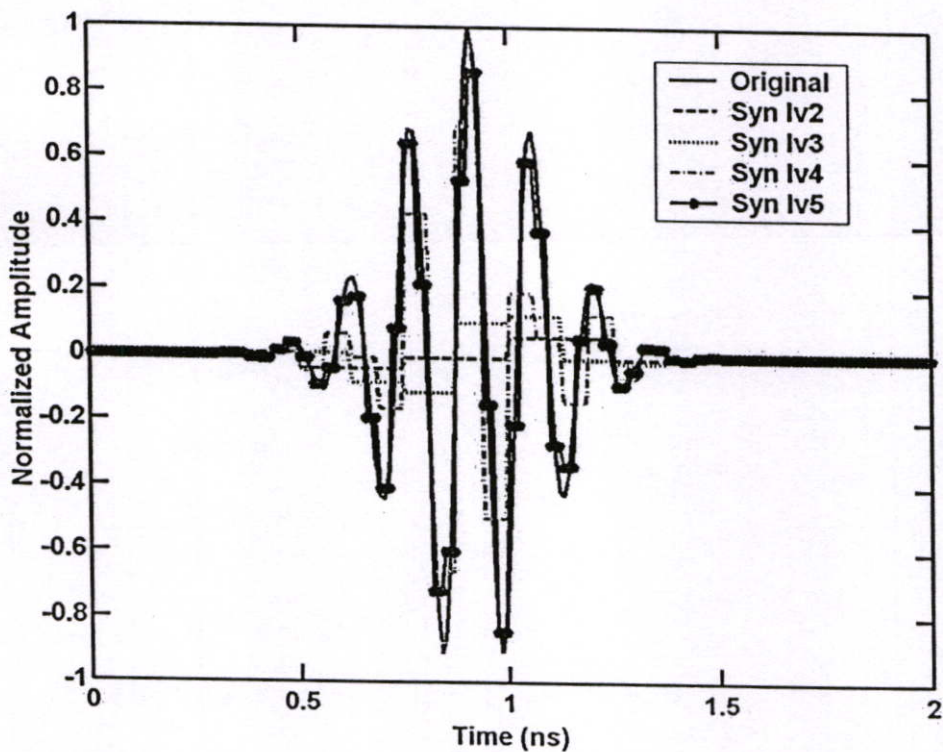
สัญญาณพัลส์ต้นแบบ	ตัวแปร	ค่าที่นำมาใช้
	สัญญาณพัลส์ต้นแบบ	จำนวนการซีกตัวอย่าง
ความกว้างของพัลส์		0.3 และ 0.6 nsec
การสังเคราะห์โดยเวฟเลท	เวฟเลทต้นแบบ	ฮาร์ (Haar)
	ระดับของเวฟเลท	2-5



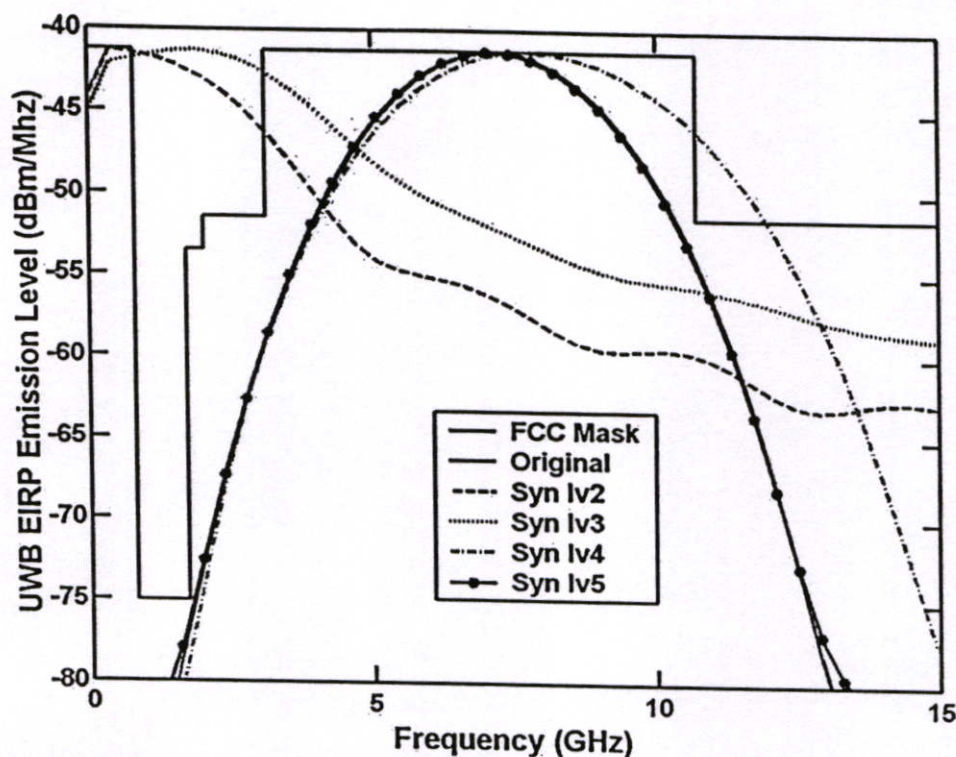
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.3 ns ที่ระดับเวฟเลท 2 ถึง 5 ในเชิงเวลา



รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.3 ns ที่ระดับเวฟเลข 2 ถึง 5 ในเชิงความถี่



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.6 ns ที่ระดับเวฟเลข 2 ถึง 5 ในเชิงเวลา



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีความกว้างพัลส์เท่ากับ 0.6 ns ที่ระดับเวฟเลขที่ 2 ถึง 5 ในเชิงความถี่

จากรูปที่ 5.5 พิจารณาสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลขที่เท่ากับ 2 3 และ 4 สัญญาณที่สังเคราะห์ได้นั้น ไม่มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมากนัก หากแต่สัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลขที่เท่ากับ 5 สัญญาณที่สังเคราะห์มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมาก และในรูปที่ 5.6 สเปกตรัมของสัญญาณต้นแบบและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC เนื่องจากความกว้างของสัญญาณพัลส์นั้นแคบทำให้สเปกตรัมของสัญญาณครอบครองแบนด์วิดท์ที่กว้าง

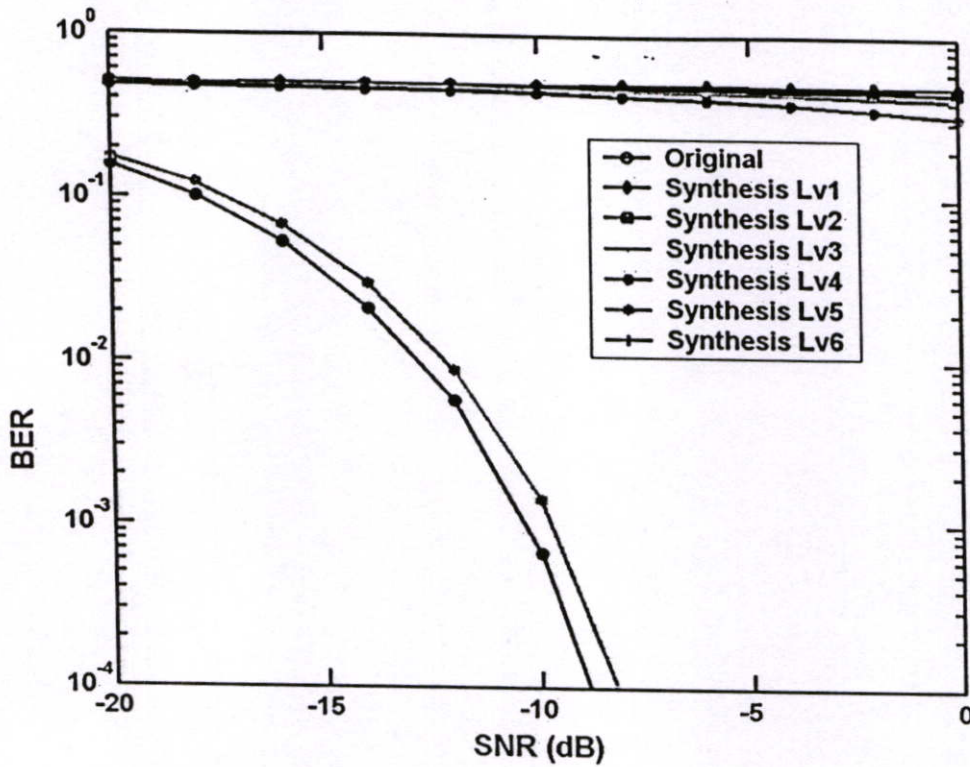
ในการทำงานเดียวกันจากรูปที่ 5.7 สัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลขที่เท่ากับ 5 สัญญาณที่สังเคราะห์มีความคล้ายกับสัญญาณต้นแบบมากกว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลขที่แตกต่างกัน และในรูปที่ 5.8 สเปกตรัมของสัญญาณต้นแบบและสเปกตรัมของสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับเวฟเลขที่เท่ากับ 5 เป็นไปตามข้อกำหนดของ FCC เนื่องจากความกว้างของสัญญาณพัลส์มีความกว้างทำให้การครอบครองแบนด์วิดท์นั้นแคบ

5.3 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อนำเอาสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นมาใช้เป็นสัญญาณในการส่งข้อมูล โดยที่รูปแบบสัญญาณนั้นจะใช้สัญญาณเกาส์ที่ถูกลมอดูเลต ที่มีการสังเคราะห์ด้วยระดับของเวฟเลขที่แตกต่างกัน ดังได้แสดงในรูปที่ 5.5 ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อใช้สัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นที่ระดับเวฟเลขต่างๆ ซึ่งช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลเป็นช่องสัญญาณในภาวะที่มีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนแบบ AWGN และที่ภาครับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งจะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์และในตารางที่ 5.4 แสดงตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการจำลองระบบ

ตารางที่ 5.4 ตัวแปรซึ่งใช้ในการจำลองหาค่าประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	ตัวแปร	ค่าที่นำมาใช้
	วิธีการมอดูเลต	PPM
	ความกว้างของพัลส์	0.3 ns
	จำนวนของพัลส์ต่อเฟรม	10
	คาบเวลาเฟรม	10 ns
	อัตราการส่งข้อมูล	100 Mbps
การสังเคราะห์โดยเวฟเลข	เวฟเลขต้นแบบ	ฮาร์ (Haar)
	ระดับของเวฟเลข	1-6
ช่องสัญญาณ	AWGN	

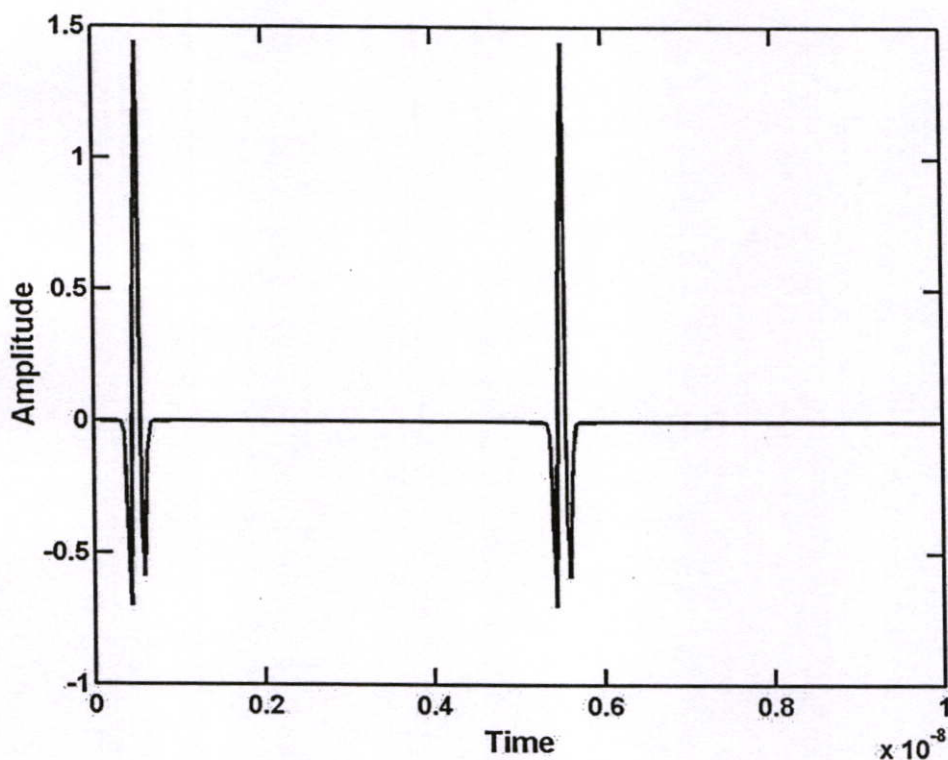


รูปที่ 5.9 ผลการจำลองประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้พัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้น

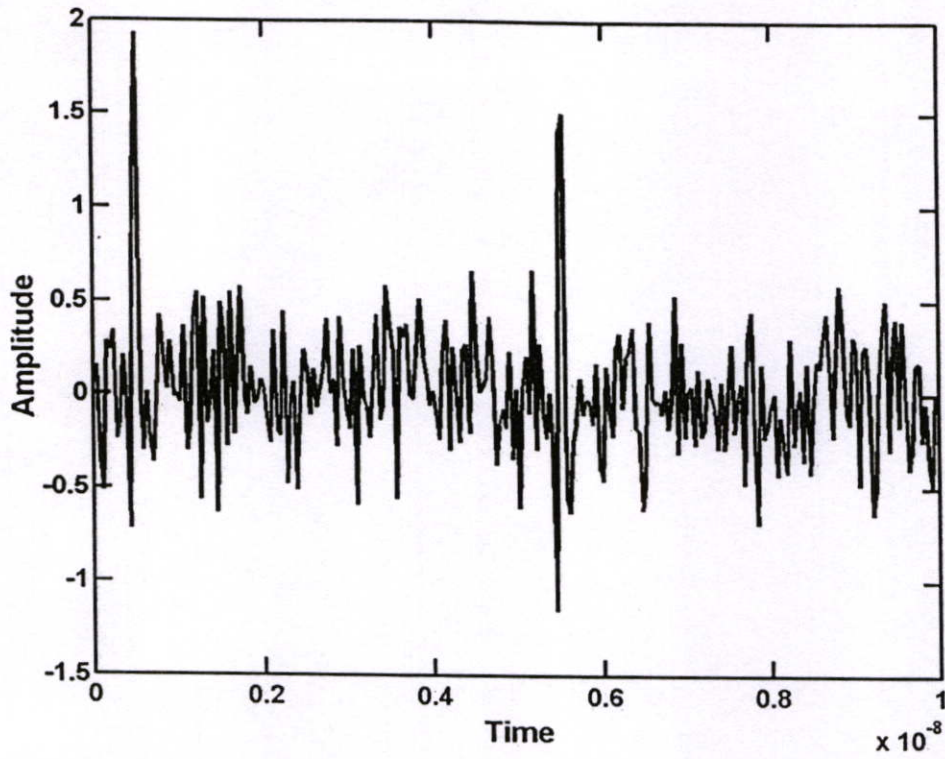
จากรูปที่ 5.9 เป็นการแสดงประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อใช้สัญญาณพัลส์ที่สังเคราะห์ขึ้นในรูปแบบของอัตราการผิดพลาดของบิต ซึ่งส่งสัญญาณที่อัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 100 Mbps พิจารณาประสิทธิภาพระหว่างสัญญาณคั่นแบบและสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นสำหรับแต่ละระดับของเวฟเลขที่ใช้ โดยในส่วนของสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับของเวฟเลขเท่ากับ 5 และ 6 ประสิทธิภาพของสัญญาณจะมีค่าที่ดีกว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับของเวฟเลขอื่นๆ และเป็นที่น่าสนใจว่าสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับของเวฟเลขเท่ากับ 6 ประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์และสัญญาณคั่นแบบมีค่าที่เท่ากันทั้งสองสัญญาณ

5.4 การประยุกต์ใช้เวฟเลทในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

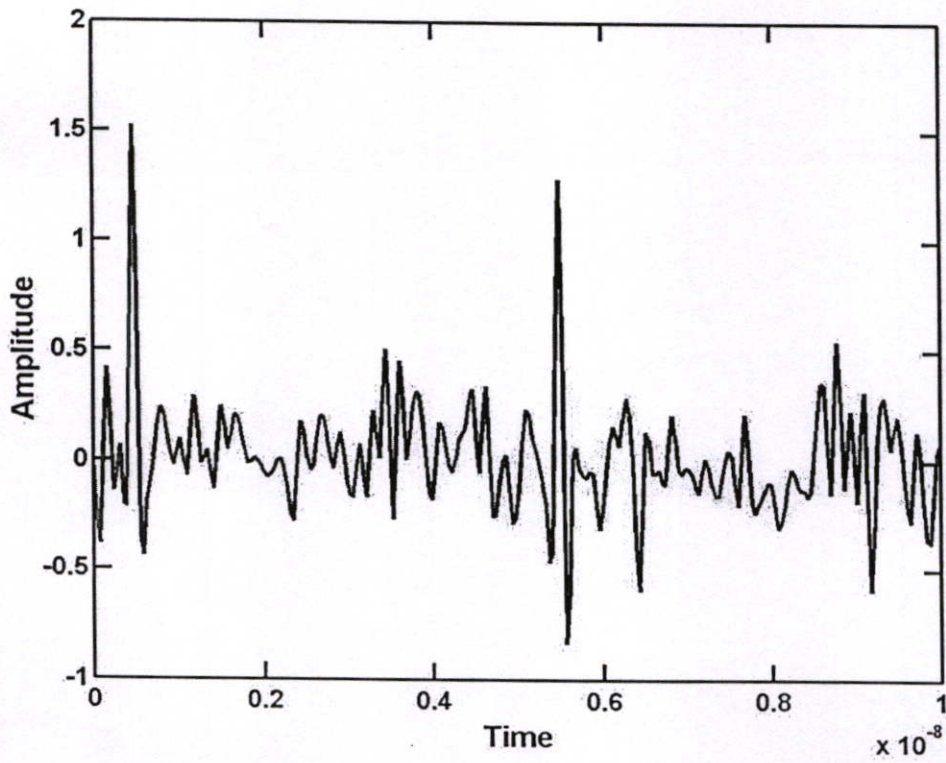
ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้เวฟเลทในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง โดยใช้หลักการของการแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลทในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน ทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนจากสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งเป็นสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ดังได้แสดงในรูปที่ 5.5 และในรูปที่ 5.10 แสดงรูปสัญญาณที่ใช้ในการส่งจำนวนสองลูกคลื่น โดยผ่านช่องสัญญาณที่มีการรบกวนแบบเกาส์ ทำให้สัญญาณที่สามารถรับได้มีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ใช้ส่ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยกระบวนการทางเวฟเลท ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์จะสังเกตได้ว่าการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนทำให้สัญญาณที่รับได้นั้นมีสัญญาณรบกวนที่ลดน้อยลง



รูปที่ 5.10 แบบจำลองสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสาร



รูปที่ 5.11 แบบจำลองสัญญาณที่รับได้เมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน



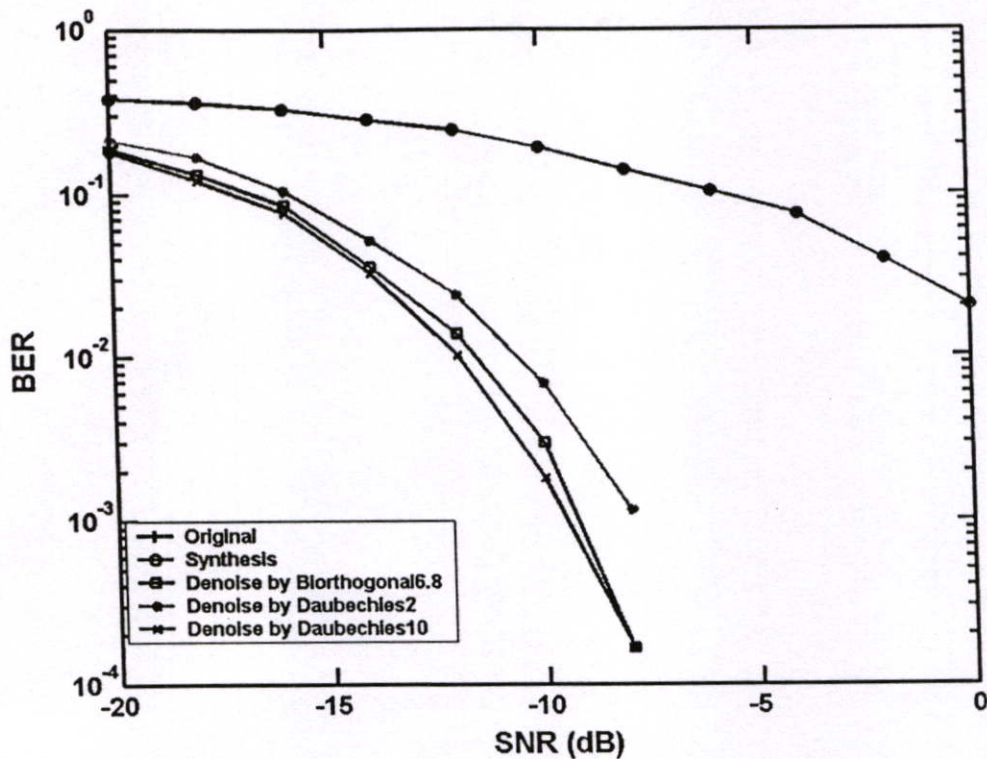
รูปที่ 5.12 แบบจำลองสัญญาณที่รับได้เมื่อทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

5.5 ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

เนื่องจากสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปในระบบจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสาร ทำให้สัญญาณที่รับได้ทางภาครับเกิดการผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณที่ส่ง ในหัวข้อนี้จะทำการการนำเสนอประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนของสัญญาณที่รับได้ผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน โดยที่สัญญาณที่ใช้ส่งเป็นสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่สังเคราะห์ขึ้น ดังได้แสดงในรูปที่ 5.5 และที่ภาครับของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งจะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์และในตารางที่ 5.5 แสดงตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการจำลองระบบ

ตารางที่ 5.5 ตัวแปรซึ่งใช้ในการจำลองหาค่าประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

	ตัวแปร	ค่าที่นำมาใช้
ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	วิธีการมอดูเลต	PPM
	ความกว้างของพัลส์	0.3 ns
	จำนวนของพัลส์ต่อเฟรม	10
	คาบเวลาเฟรม	10 ns
	อัตราการส่งข้อมูล	100 Mbps
	การสังเคราะห์โดยเวฟเลท	ฟังก์ชันเวฟเลท
ระดับของเวฟเลท		6
ช่องสัญญาณ	AWGN	



รูปที่ 5.13 ผลการจำลองประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 5.9 เป็นการแสดงประสิทธิภาพของระบบสื่อสารแถบกว้างยิ่งเมื่อทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในรูปแบบของอัตราการผลิตของบิต ทำการเปรียบเทียบสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นสัญญาณต้นแบบ สัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งสังเคราะห์ขึ้น และสัญญาณเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งสังเคราะห์ขึ้นที่ได้ทำการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชันเวฟเลทที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณที่ดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชันเวฟเลทของ Daubechies(2) Daubechies(10) และ Biorthogonal(6.8) พิจารณาจากผลที่ได้จะสังเกตได้ว่าที่สัญญาณต้นแบบและสัญญาณที่ได้สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพในด้านอัตราการผลิตของบิตที่เท่ากัน ซึ่งเหมือนกับในกรณีของประสิทธิภาพของการสังเคราะห์สัญญาณ แต่เมื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วยการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในการสื่อสารแล้ว ค่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าที่ดีขึ้น โดยในการดีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยฟังก์ชันเวฟเลท Daubechies(2) ประสิทธิภาพของระบบจะมีค่าที่ดีที่สุด

5.6 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอแบบจำลองในการสังเคราะห์สัญญาณ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณต้นแบบและสัญญาณที่วงเคราะห์ขึ้นในด้านอัตราการผิดพลาดของบิต อีกทั้งได้นำเสนอแบบจำลองในการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนด้วยการเลือกใช้ฟังก์ชันเวฟเลทสำหรับการกรองสัญญาณรบกวนที่มีชนิดแตกต่างกัน และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีในระบบ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาประยุกต์ใช้ต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการจำลองและแนวทางในการพัฒนา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาและการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานทางด้านเวฟเลทที่นำมาประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบจำลองการสังเคราะห์สัญญาณที่ใช้สื่อสารภายในระบบจากสัญญาณต้นแบบ และการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในระบบการสื่อสาร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง เมื่อนำเอาสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้น ทำการส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ และทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีผลต่อสัญญาณนั้น โดยในการจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ 1) ประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบ และ 2) ประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีผลกระทบต่อสัญญาณที่รับ ได้ ตามลำดับ

6.1 วิเคราะห์ผลการจำลอง

จากผลการจำลองในบทที่ 5 สามารถสรุปผลการจำลองทั้งหมดได้ออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย 1) การจำลองการสังเคราะห์สัญญาณจากสัญญาณต้นแบบ 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นกับสัญญาณต้นแบบ เมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ 3) การจำลองการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีในระบบการสื่อสาร และ 4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้น เมื่อทำการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่มีได้มีการตีเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในระบบ

ในการจำลองการออกแบบการสังเคราะห์สัญญาณจากสัญญาณต้นแบบ จะสังเกตได้ว่าจำนวนระดับของเวฟเลทที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณมีผลต่อรูปแบบและกำลังงานของสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ โดยที่ระดับของเวฟเลทที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณมีความสัมพันธ์กับจำนวนการชักตัวอย่างของสัญญาณต้นแบบ ซึ่งหากการชักตัวอย่างของสัญญาณต้นแบบมีค่าเท่ากับ 2^{m+1} ระดับของเวฟเลทที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณจะมีค่าเท่ากับ m จะทำให้สัญญาณที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความเหมือนกับสัญญาณต้นแบบมากที่สุด เมื่อพิจารณาความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ใช้จะมีผลกระทบต่อสเปกตรัมของสัญญาณ โดยที่หากความกว้างของสัญญาณพัลส์มีค่าน้อย สเปกตรัมของสัญญาณจะมีความกว้างมาก และในทางตรงกันข้ามหากความกว้างของสัญญาณพัลส์มีค่ามาก สเปกตรัมของสัญญาณจะมีความกว้างน้อย และในส่วนของ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นกับสัญญาณต้นแบบ เมื่อผ่าน

ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ ประสิทธิภาพในรูปอัตราการผลิตของบิตของสัญญาณต้นแบบ และสัญญาณที่สังเคราะห์ด้วยระดับของเวฟเลทที่มีค่าใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับของเวฟเลทที่ใช้ในการสังเคราะห์สัญญาณ และจำนวนการชักตัวอย่างของสัญญาณดังที่ได้กล่าวข้างต้นจะมีค่าที่เท่ากัน

ในการจำลองการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่มีในระบบการสื่อสาร สังเกตได้ว่าสัญญาณที่ใช้ส่งในระบบสื่อสารเมื่อผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนอยู่นั้น ทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยนไปจากเดิม แต่เมื่อทำการคิเทกสัญญาณสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ทำให้การผิดเพี้ยนของสัญญาณนั้นมีค่าที่ลดลง และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่ได้ออกแบบนั้น ด้วยการจำลองการส่งสัญญาณที่สังเคราะห์ได้ผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ ตัวหนึ่งทำการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนและอีกตัวหนึ่งไม่ได้คิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนในรูปแบบอัตราการผลิตของบิต สังเกตได้ว่าสัญญาณที่ถูกคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนแล้วนั้นจะมีค่าอัตราการผลิตของบิตที่ดีกว่าสัญญาณที่ไม่ได้คิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน และเมื่อพิจารณาฟังก์ชันเวฟเลทที่นำมาใช้ในการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวน ฟังก์ชันเวฟเลท Daubechies ลำดับที่ 10 เป็นฟังก์ชันที่ช่วยคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนทำให้ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารดีที่สุด

การประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานของเวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ในส่วนของการจำลองการออกแบบสังเคราะห์สัญญาณสำหรับใช้ในระบบการสื่อสาร โดยการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง และการจำลองการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยการแยกย่อยและการรวมกลับของเวฟเลท ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองทั้งสองส่วนในด้านประสิทธิภาพของระบบทำให้ระบบที่มีอยู่นั้นดีขึ้น ดังนั้นการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานของเวฟเลทจึงเป็นที่น่าสนใจและมีประโยชน์สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่งต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งศึกษาการจำลองการประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานของเวฟเลทสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง ในส่วนของการจำลองการออกแบบสังเคราะห์สัญญาณสำหรับใช้ในระบบการสื่อสาร และการจำลองการคิเทกสัญญาณภายใต้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในระบบ และทำการหาประสิทธิภาพของกระบวนการทั้งสองเมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณแบบเกาส์ ซึ่งทั้งหมดเป็นการจำลองโดยการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยไม่ได้นำไปใช้กับช่องสัญญาณที่มีอยู่จริงสำหรับระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Liuqing and G. B Giannais, "Ultra-wideband communications: an idea whose time has come," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 26 -54, Nov. 2004.
- [2] M. Z. Win, "Ultra-Wide Bandwidth Spread-Spectrum Techniques for Wireless Multiple-Access Communications," Ph.D. Thesis, Electrical Engineering, Univ. Southern California, Los Angeles, CA., Jan. 1998.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," **IEEE Commun. Lett.**, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [4] R. J. Cramer, M. Z. Win, and R. A. Scholtz, "Evaluation of the multipath characteristics of the impulse radio channel," **in Proc. IMRC'98**, vol.~2, pp. 864-868, 1998.
- [5] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of Part 15 of the Commissions Rules Regarding UWB Transmission Systems, Apr. 22, 2002.
- [6] A. B. Pam, B. L. Cho, and Z. Ding, "A new pulse generator for FCC spectral masks", **VTC 2003- Spring**, Apr. 2003.
- [7] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Multiple pulse generator for Ultra-Wideband communication using Hermite polynomial based orthogonal pulses," **IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies**, May 2002.
- [8] Y. H. Choi, "Gated UWB pulse signal generation," **Ultra Wideband Systems, Joint with Conference on Ultrawideband Systems and Technologies. Joint UWBST&IWUWBS. 2004 International Workshop on 18-21 May 2004**, pp. 122 - 124, 2004.
- [9] T. Ikegami and H. Tsukada , "A study of wavelet application for ultra wide band data transmission," *Wireless Personal Multimedia Communications*, **The 5th International Symposium on Volume 3**, vol.3, pp. 1275 - 1279, 2002.
- [10] L. Zhang and Z. Zhou, "A Novel Synthesis Design and Implementation for Generating UWB Narrow Pulse Based on Wavelet", **ISCIT 2004**, pp. 1128-1131, 2004.
- [11] Chernogor L.F., Lazorenko O.V., "Application of the wavelet analysis for detecting ultra-wideband signals in noise," **MMET 2000**, pp. 233-235, 2000.
- [12] Pongpisut T., Chamchoy M., Promwong S., "A Simple Method of Synthesis Design for Generating UWB Pulse Base on Wavelet," **ISCIT 2005**, pp. 1076-1079, 2005.

- [13] Pongpisut T., Chamchoy M., Promwong S., "Wavelet Based Correlation Receiver for Detecting UWB Pulse in Noisy Channel," **ECTI 2006**
- [14] รศ.ดร. มนัส สัจจวิไล, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, "คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์," สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส
- [15] Dwight F. Mix, Kraig J. Olejniczak, "Element of Wavelet for Engineers and Scientists," A John Wiley & Sons, Ltd.
- [16] Kazimierz Siwiak, Debra McKeown, "Ultra-wideband radio technology," A John Wiley & Sons, Ltd.
- [17] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno, "Ultra wideband signals and systems in communication engineering," A John Wiley & Sons, Ltd.

ภาคผนวก ก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] **Pongpisut T.**, Chamchoy M., Promwong S., "A Simple Method of Synthesis Design for Generating UWB Pulse Base on Wavelet," ISCIT 2005, pp. 1076-1079, 2005.
- [2] **Pongpisut T.**, Chamchoy M., Promwong S., "Wavelet Based Correlation Receiver for Detecting UWB Pulse in Noisy Channel," ECTI 2006, pp. 646-649, 2006.

A Simple Method of Synthesis Design for Generating UWB Pulse Based on Wavelet

Tanat Pongpisut, Monchai Chamchoy and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Email: s7061140@kmitl.ac.th

Abstract— This paper proposes the simple method of synthesis design for generating UWB pulse based on wavelet. This study consider the characteristics of Haar wavelet, which are digital and simple method for synthesizing. By using discrete wavelet transform, the synthesis signal is similar with mother signal and simple to implement. In our study, the modulated Gaussian waveform is involved as the UWB pulse for synthesizing. The synthesis signal method based on Haar wavelet which is the mother wavelet is presented. Moreover, the comparison for the performance between the mother signal and the synthesis signal on the additive white Gaussian noise (AWGN) channel are given.

Keyword—Ultra-wideband, wavelet

I. INTRODUCTION

Nowaday, wireless technology is useful and convenience for communications. Ultra-Wideband (UWB) is a new development in wireless communication system. The attractive features of UWB are wireless radar, communications, networking, imaging, and positioning systems [1]. UWB is different from other radio wave technology. Instead of using a narrow carrier frequency, it transmitted pulses of power in the range of ultra wideband spectrum. Moreover, it has several advantages which are low power consumption, potential for very high data rates enhanced capability to penetrate through obstacles and makes communications robust with respect to multipath fading [2]-[4]. The Federal Communication Commission (FCC) [5] specifies that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz and emission power level is below -41.3 dBm/MHz. The FCC defined UWB signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or a bandwidth greater than 500 MHz measured at -10 dB points. The fractional and occupies bandwidth are defined as

$$\text{Fractional bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L}, \quad (1)$$

$$\text{Occupies bandwidth} = f_H - f_L, \quad (2)$$

where f_L and f_H are the lower and upper frequencies at the -10 dB point, respectively.

The FCC regulated power levels are very low that considered to be noise for other communication systems because its power spectrum is below the part 15 noise limit. The UWB receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can coexist with other radio frequency (RF) technologies without interference.

According to studies, several literatures are presented about the new methods to generate UWB pulses which satisfy the FCC spectral mask. For examples, simple numerical algorithms with the prolate spheroidal wave function [6], modified Hermite polynomial functions [7] and using gate function [8], are proposed to generate UWB pulse waveform. However, it is difficult to fabricate the generate waveform circuit, which the high speed electronic switch is required. In addition, the synthesis signal method for UWB system based on wavelet has been interested because its simple to implement by using all-digital implementation method. Such as the synthesis wave based on wavelet become the transmission wave of UWB [9] and generating narrow pulse waveform by using Haar wavelet and harmonic synthesis method [10], while the idea of the synthesis signal from mother signal based on Haar wavelet will be considered. The purpose of this study interested in difference synthesis method which the synthesis signal related to the mother signal.

This paper use the difference algorithm from [10] to synthesize signal, the synthesis wavelet signal from mother signal based on Haar wavelet for analysis the synthesis signal is followed by FCC's regulation and consider on the performance of synthesis signal on the additive white Gaussian noise (AWGN).

II. MOTHER SIGNAL

The UWB radio technology transmits signal using very short pulse spreading their spectra over very large bandwidth and the power level is below -41.3 dBm/MHz. In this paper consider the modulated Gaussian pulse as the

mother signal, the waveform in time domain and its spectral density function are defined by

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t), \quad (3)$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{2j} \left[e^{-\pi^2 d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 d^2 (f+f_c)^2} \right], \quad (4)$$

where A is the maximum amplitude of the envelope waveform, f_c is the carrier frequency and d is the $1/e$ characteristic decay time.

This waveform is modulated between the A maximum amplitude and d characteristic decay time Gaussian pulse and the carrier frequency sine function. The sine function is used for reducing the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero.

III. WAVELET TRANSFORM

A. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Wavelet-based analysis of signals is an interesting, and relatively recent, new tool. Similar to Fourier series analysis, where sinusoids are chosen as the basis function, wavelet analysis is also based on a decomposition of a signal using an orthonormal family of basis functions. Unlike a sine wave, a wavelet has its energy concentrated in time. Sinusoids are useful for analyzing periodic and time-invariant phenomena, while wavelets are well suited for the analysis of transient and time-varying signals.

This paper concentrates on the DWT. It maps continuous time functions into numbers. The analysis equations are given by

$$c_{jk} = \langle v(t) | \varphi_{jk}(t) \rangle, \quad (5)$$

$$d_{jk} = \langle v(t) | \psi_{jk}(t) \rangle, \quad (6)$$

where

$$\varphi_{jk} = 2^{j/2} \varphi_0(2^j t - k), \quad (7)$$

$$\psi_{jk} = 2^{j/2} \psi_{00}(2^j t - k), \quad (8)$$

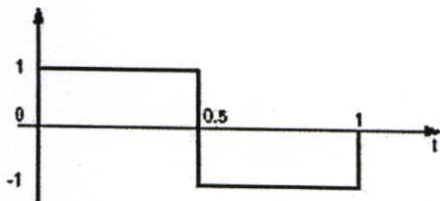


Fig. 1 Haar wavelet

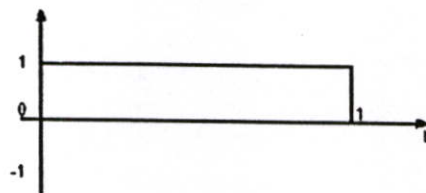


Fig. 2 Scaling function of Haar wavelet

The synthesis equation is given by

$$v'(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{jk} \varphi_{jk}(t) + \sum_{j=J}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{jk} \psi_{jk}(t) \quad (9)$$

where J is the starting index (normally, $J = 0$). The analysis equations decompose (analyze) a given waveform $v'(t)$ into its constituent components c_{jk} and d_{jk} . The synthesis equation builds (synthesizes) the function $v'(t)$ from its components c_{jk} and d_{jk} .

B. Synthesis by using Haar Transform

The Haar transform is one of the wavelet transforms that can be calculated with a formula. The formula is given by

$$c_{00} = \int_0^1 v(t) \varphi_{00}(t) dt, \quad (10)$$

$$d_{jk} = \int_0^1 v(t) \psi_{jk}(t) dt, \quad (11)$$

where the function φ_{00} is called the scaling function, and the ψ_{jk} are called wavelets (Haar wavelet). Fig. 1 and Fig. 2 show Haar wavelet and scaling function of Haar wavelet, respectively.

The mother wavelet must simply satisfy a small set of conditions and is typically selected based on the signal processing problem domain. Almost all useful wavelet systems satisfy the multi-resolution condition. This means that given an approximation of a signal $v(t)$ using translations of a mother wavelet up to some chosen scale, a better approximation can be achieved by using higher level of the wavelet. This theory maps the mother signal $v(t)$ into its constituent component c_{jk} and d_{jk} . These values are coefficient of wavelet for any level show in

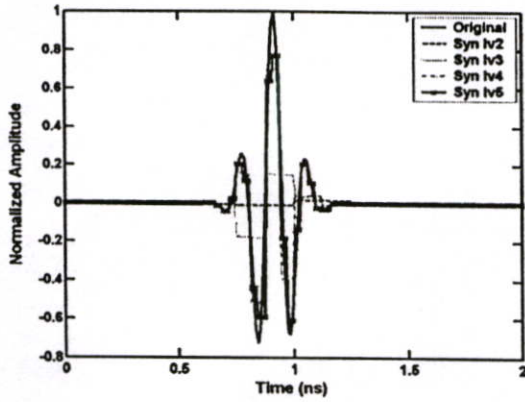


Fig. 3 Comparison between modulated Gaussian signal and the synthesis modulated Gaussian signal with pulse width = 0.3 ns.

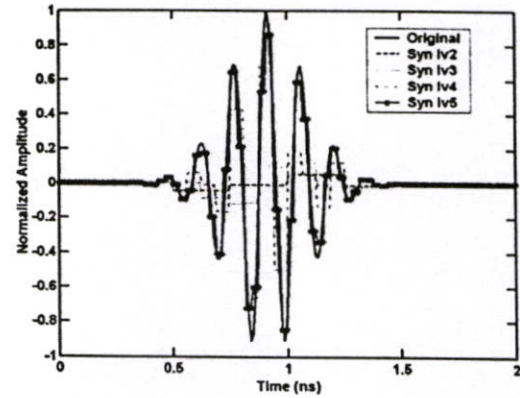


Fig. 5 Comparison between modulated Gaussian signal and the synthesis modulated Gaussian signal with Pulse width = 0.6 ns.

equation (10) and (11), where j is the level of wavelet and k is the transition coefficient of wavelet. In this paper, Haar wavelet is used as the mother wavelet, it is an orthogonal function set that can be explicitly represented and has feature of digital circuit that easy to implement.

IV. SYNTHESIS

According to the previous section, the synthesis modulated Gaussian signal is obtained by using equation (9). The modulated Gaussian waveform and synthesis modulated Gaussian waveform with pulse width equal to 0.3 ns in time domain and in frequency domain characteristics are shown in Fig. 3 and Fig. 4, respectively. From Fig. 3 consider the wavelet's level equal to 2, 3 and 4, the synthesis signal are not similar with the mother signal. But in synthesis level 6 the synthesis signal is similar with the mother signal. From Fig. 4, the synthesis

signal's spectrum and the mother signal's spectrum are not satisfied the FCC spectral mark. Because the pulse width of the signal is narrow.

Fig. 5 and Fig. 6 show the modulated Gaussian waveform and synthesis modulated Gaussian waveform with pulse width equal to 0.6 ns in time domain and in frequency domain characteristics, respectively. From Fig. 5, the synthesis signal at synthesis level 5 is similar with the mother signal more than the other synthesis level. From Fig. 6, the pulse width of the both signals are wider, the signals's spectrum are satisfied the FCC spectral mark.

From the result of synthesis, the synthesis signal method based on wavelet can be observed the level of wavelet that have an effect on power and format of signals. If the level of wavelet equal to m where 2^{m+1} is sampling rate of the mother signal, the synthesis signal will similar with mother signal. Moreover, the pulse width of signal have an effect on the spectrum bandwidth, which the pulse width is narrow, the spectrum bandwidth will be widely.

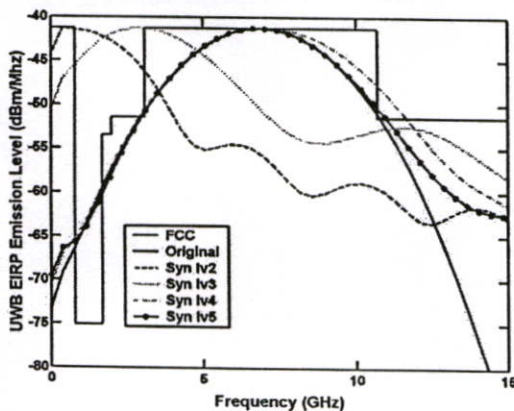


Fig. 4 Comparison between the modulated Gaussian signal's spectral and synthesis modulated Gaussian signal's spectral with pulse width = 0.3 ns.

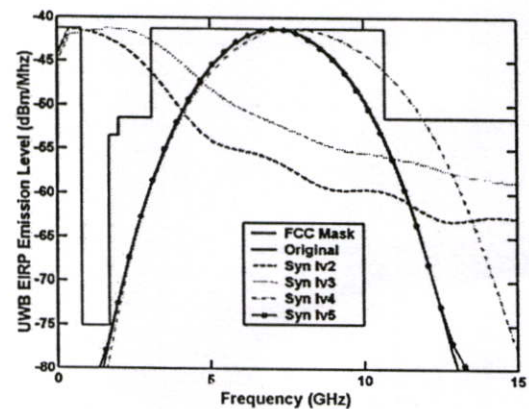


Fig. 6 Comparison between the modulated Gaussian signal's spectral and synthesis modulated Gaussian signal's spectral with pulse width = 0.6 ns.

V. PERFORMANCE IN GAUSSIAN NOISE

In this section, the performance of synthesis modulated Gaussian signal is investigated and compared with modulated Gaussian signal on the AWGN channel. By using the transmit waveform shows in Fig. 3, for the assumption that both the transmit and receive antennas are isotropic radiator, which correlation receiver is used to detect the symbols.

Fig. 7 shows the signal to noise ratio (SNR) and bit rate (BER) of the mother signal and the synthesis signal with bit rate equals to 100 Mbps. Comparison between mother signal and synthesis signal for each synthesis level, the synthesis signals with level 5 and level 6 are decreased more than the other synthesis level. For synthesized signal at level 6, the performance is very close to the mother signal.

VI. CONCLUSION

A synthesis signal method based on wavelet is proposed to synthesis UWB pulse which satisfy the FCC spectral mark. By using the multi-resolution wavelet synthesis method and the characteristics of Haar wavelet which is the mother wavelet, the synthesis signal waveform is similar to the mother signal depending on the number of wavelet's synthesized level. For the comparison between the mother signal and the synthesis signal in the highest synthesis level, the performance of the both signals are same together. Therefore, the synthesis signal method based on wavelet is possible to generate transmission signal for UWB system.

REFERENCES

- [1] Y. Liuqing and G. B Giannais, "Ultra-wideband communications: an idea whose time has come," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 26 - 54, Nov. 2004.
- [2] M. Z. Win, "Ultra-Wide Bandwidth Spread-Spectrum Techniques for Wireless Multiple-Access Communications," Ph.D. Thesis, Electrical Engineering, Univ. Southern California, Los Angeles, CA., Jan. 1998.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [4] R. J. Cramer, M. Z. Win, and R. A. Scholtz, "Evaluation of the multipath characteristics of the impulse radio channel," in *Proc. PIMRC'98*, vol. 2, pp. 864-868, 1998.
- [5] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of Part 15 of the Commissions Rules Regarding UWB Transmission Systems, Apr. 22, 2002.
- [6] A. B. Pam, B. L. Cho, and Z. Ding, "A new pulse generator for FCC spectral masks," *VTC 2003- Spring*, Apr. 2003.
- [7] L. B. Michael, M. Ghavami, and R. Kohno, "Multiple pulse generator for Ultra-Wideband communication using Hermite polynomial based orthogonal pulses," *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies*, May 2002.
- [8] Y. H. Choi, "Gated UWB pulse signal generation," *Ultra Wideband Systems, Joint with Conference on Ultrawide-*

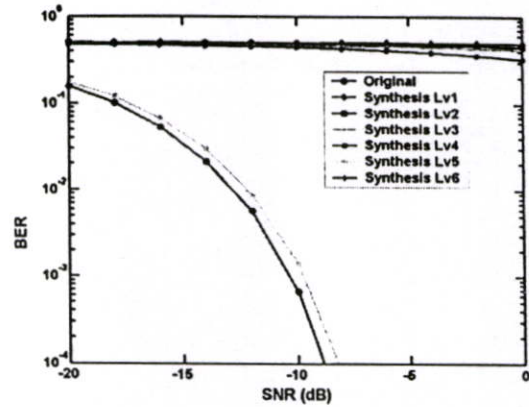


Fig. 7 The performance of modulated Gaussian signal and the synthesis modulated Gaussian signal with bit rate = 100 Mbps.

band Systems and Technologies. Joint UWBST & IWUWBS. 2004 International Workshop on 18-21 May 2004, pp. 122 - 124, 2004.

- [9] T. Ikegami and H. Tsukada, "A study of wavelet application for ultra wide band data transmission," *Wireless Personal Multimedia Communications, The 5th International Symposium on Volume 3*, vol.3, pp. 1275 - 1279, 2002.
- [10] L. Zhang and Z. Zhou, "A Novel Synthesis Design and Implementation for Generating UWB Narrow Pulse Based on Wavelet", *ISCIT 2004*, pp. 1128- 1131, 2004

Wavelet Based Correlation Receiver for Detecting UWB Pulse in Noisy Channel

Tanat Pongpisut, Monchai Chamchoy and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Email: s7061140@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper proposes the simple method for detecting UWB pulse in noisy channel based on wavelet. This study consider the characteristics of the wavelets and filter bank, which have the property of orthonormal and biorthogonal wavelet. By using wavelet decomposition and wavelet reconstruction method, the UWB pulse is detected on noisy channel. In our study, the modulated Gaussian waveform and the synthesis modulated Gaussian waveform are involved as the UWB transmitted signal. The pulse detection method based on wavelet which is the difference wavelets's filter bank are presented. Moreover, the comparison for the performance between the received signal and the synthesis received signal on the additive white Gaussian noise (AWGN) channel are given.

1. INTRODUCTION

Nowaday, wireless technology is useful and convenience for communications. Ultra wide-band (UWB) is a new development in wireless communication system. The attractive features of UWB are wireless communications, networking, radar, imaging, and positioning systems [1]. UWB is different from other radio wave technology. Instead of using a narrow carrier frequency, it transmitted pulses of power in the range of ultra wide-band spectrum. Moreover, it has several advantages which are low power consumption, potential for very high data rates enhanced capability to penetrate through obstacles and makes communications robust with respect to multipath fading [2]-[4]. The Federal Communication Commission (FCC) [5] specifies that UWB has a frequency spectrum ranging from 3.1 GHz to 10.6 GHz and emission power level is below -41.3 dBm/MHz. The FCC defined UWB signal as those which have a fractional bandwidth greater than 0.20 or a bandwidth greater than 500 MHz measured at -10 dB points.

The FCC regulated power levels are very low that considered to be noise for other communication systems because its power spectrum is below the part 15 noise limit. The UWB receiver collects the power of the received signal to rebuild the pulse. Therefore, UWB radio technology can coexist with other radio frequency (RF) technologies without interference.

According to studies, several literatures have been

presented about the synthesis signal method for UWB system based on wavelet, such as the synthesis wave based on wavelet become the transmission wave of UWB [6], generating narrow pulse waveform by using Haar wavelet and harmonic synthesis method [7] and a simple method of synthesis design for generating UWB pulse based on wavelet [8], while the wavelet will be used for more application, such as denoising technique. a little of literatures interested in the application of the wavelet for detecting UWB pulse in noisy channel. For examples, application of the wavelet analysis for detecting UWB signal in noise [9]. The propose of this study interested in difference method to detecting UWB received signal and the application of the wavelet will be considered.

This paper interested in the application of the wavelet to detecting UWB received signal from the synthesis transmitted signal [8], by using the difference type of the wavelet's filter and its properties (orthonormal and biorthogonal), consider on the performance of synthesis signal on the additive white Gaussian noise (AWGN).

2. TRANSMITTED SIGNAL

The UWB radio technology transmits signal using very short pulse spreading their spectra over very large bandwidth and the power level is below -41.3 dBm/MHz. In this paper, are consider the modulated Gaussian pulse and the synthesis modulated Gaussian pulse as the transmitted signal [8], the waveform in time domain and its spectral density function for the modulated Gaussian pulse are defined by

$$f(t) = Ae^{-(t/d)^2} \sin(2\pi f_c t), \quad (1)$$

$$F(f) = \frac{Ad\sqrt{\pi}}{j2} [e^{-\pi^2 d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi^2 d^2 (f+f_c)^2}], \quad (2)$$

where A is the maximum amplitude of the envelope waveform, f_c is the carrier frequency and d is the $1/e$ characteristic decay time.

This waveform is modulated between the A maximum amplitude and d characteristic decay time Gaussian pulse and the carrier frequency sinusoidal function. The sinusoidal function is used for reducing

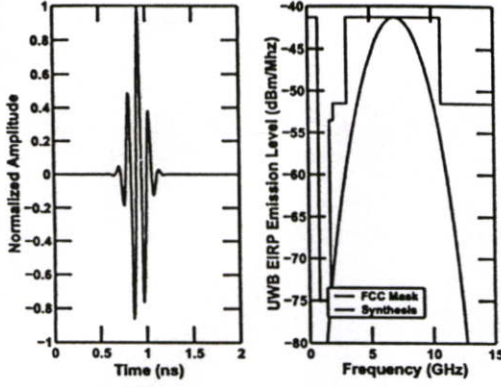


Fig.1: The left picture is the transmitted signal and the other one is its spectral.

the direct current (DC) component of the modulated waveform to zero.

The synthesis modulated Gaussian pulse is defined by equation (10)

3. UWB SYSTEM MODEL

3.1 The Transmitter Model

In this paper, the time-based modulation techniques is considered. The most common method of time-based modulation techniques is pulse position modulation (PPM) which may be expressed as

$$s_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k), \quad (3)$$

where T_f represents the time duration of frame, $p(t)$ is the modulated Gaussian pulse, T_f denote the pulse repetition time, T_{c_n} is the time shift related to the PN code sequence, T_{p_n} represent the time shift from the pulse position modulation scheme and τ_k is the time delay.

3.2 The Receiver Model

A transmitted signal passes through the noisy channel. Then, the total received signal for UWB PPM transmitter can be expressed as

$$r_{PPM}(t) = s_{PPM}(t) + n(t), \quad (4)$$

where $n(t)$ is the additive white Gaussian noise.

The receiver considers the received signal $r(t)$ and decide based on an observation of received signal with the template signal. Therefor, the received signal with the PPM transmission may be expressed as

$$r_{PPM}(t),c = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \int_{\tau_k + jT_f}^{\tau_k + (j+1)T_f} r_{PPM}(t) p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k), \quad (5)$$

where $v(t) = p(t) - p(t - \delta)$ represents the template signal.

4. DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)

Wavelet-based analysis of signals is an interesting, and relatively recent, new tool. Similar to Fourier series analysis, where sinusoids are chosen as the basis function, wavelet analysis is also based on a decomposition of a signal using an orthonormal family of basis functions. Unlike a sinusoid wave, a wavelet has its energy concentrated in time. Sinusoids are useful for analyzing periodic and time-invariant phenomena, while wavelets are well suited for the analysis of transient and time-varying signal.

This paper concentrates on the DWT. It maps continuous-time functions into numbers. The analysis equations are given by

$$c_{jk} = \langle v(t) | \varphi_{jk}(t) \rangle, \quad (6)$$

$$d_{jk} = \langle v(t) | \psi_{jk}(t) \rangle, \quad (7)$$

where

$$\varphi_{jk}(t) = 2^{j/2} \varphi_0(2^j t - k), \quad (8)$$

$$\psi_{jk}(t) = 2^{j/2} \psi_{00}(2^j t - k). \quad (9)$$

The synthesis equation is given by

$$v'(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{jk} \varphi_{jk}(t) + \sum_{j=J}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{jk} \psi_{jk}(t), \quad (10)$$

where J is the starting index (normally, $J = 0$). The analysis equations decompose (analyze) a given waveform $v(t)$ into its constituent components c_{jk} and d_{jk} . The synthesis equation builds (synthesize) the function $v(t)$ from its components c_{jk} and d_{jk} .

5. WAVELET DECOMPOSITION AND RECONSTRUCTION

For many signals, the low-frequency content is the most important part. It is what gives the signal its identity. The high-frequency content, on the other hand, imparts flavor or nuance. Therefore, the low-frequency is similar to the noiseless signal and the high-frequency is similar to the noise of the signal.

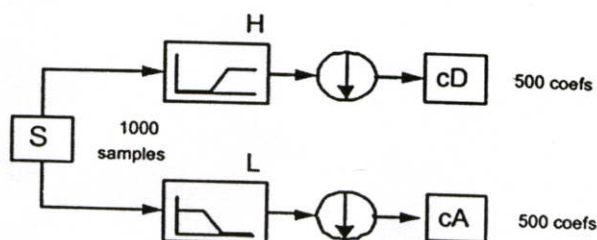


Fig.2: Wavelet Decomposition.

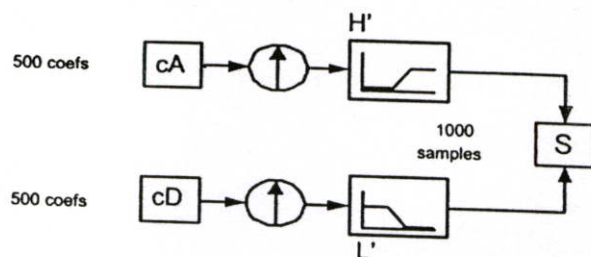


Fig.3: Wavelet Reconstruction.

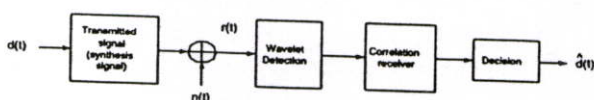


Fig.4: The system model for detecting UWB pulse in noisy channel.

5.1 Wavelet Decomposition

Wavelet decomposition is the method that the original signal passes through two complementary filters and emerges as two signals, which are called approximations and details. The approximations are the high-scale, low-frequency components of the signal. The details are the low-scale, high-frequency components. The process of the wavelet decomposition is shown in Fig. 2.

From Fig. 2, H is the wavelets's filter bank and L is alternate flip of H defined by

$$L(n) = (-1)^n H(N - n) \quad (11)$$

where N is the element numbers of H .

Unfortunately, if the original signal S consists of 1000 samples of data. Then, the resulting signals will each have 1000 samples, for a total of 2000. By looking carefully at the computation, it may keep only one point out of two in each of the two 2000-length samples to get the complete information. This is the notion of downsampling. Its product two DWT coefficients called cA and cD .

The detail coefficients cD are small and consist mainly of a high-frequency noise, while the approximation coefficients cA contain much less noise than does the original signal.

5.2 Wavelet Reconstruction

In the previous section, the discrete wavelet transform can be used to analyze, or decompose, signals and images. This process is called decomposition or analysis. The other half of the story is how those components can be assembled back into the original signal without loss of information. This process is called reconstruction, or synthesis. The mathematical manipulation that effects synthesis is called the inverse discrete wavelet transform (IDWT). The process of the wavelet reconstruction is shown in Fig. 3.

Wavelet analysis involves filtering and downsampling, the wavelet reconstruction process consists of upsampling and filtering. Upsampling is the process of lengthening a signal component by inserting zeros between samples.

From Fig. 3, H' and L' are order flip of H and L , respectively.

6. SIMULATION MODEL AND THE PERFORMANCE IN GAUSSIAN NOISE

In the channel condition of Gaussian noise, the assumption that both the transmit and receive antennas are isotropic radiator, which correlation receiver is used to detect the symbols. Fig. 4 shows the system model for detecting UWB pulse in noisy channel. $n(t)$ is the additive white Gaussian noise and $r(t)$ is the received signal. The transmitted signal is overlapped with noise signal and become to the input signal for receiver. In the wavelet detection process, the input signal of receiver will be emerged as two signals, which are the noise of signal and noiseless signal. The noiseless signal is sent to the correlation receiver. Finally, the decision process is considered to detect the symbols.

In the part of wavelet based correlation receiver, the Daubechies family wavelets and the biorthogonal family wavelets are related to the wavelets's filter bank. Fig. 5 shows the signal to noise ratio (SNR) and bit error rate (BER) of the UWB received signal and the noiseless UWB received signal, which using Daubechies(2), Daubechies(10) and biorthogonal(6.8) is the wavelets's filter bank. Comparison between noisy signal and noiseless signals, the performance of the noiseless signals are better than the noisy signal. For the signal detection with Daubechies(10), the performance is better than the other.

7. CONCLUSION

In this paper, the application of the wavelet is proposed to detecting UWB pulse in noisy channel. By using the wavelet decomposition and reconstruction method, which the difference type of the wavelets's filter bank, the input signal of receiver is detected. Moreover, the performance of the pulse detection are satisfaction. Then, the wavelet based correlation receiver for detecting UWB pulse in noisy channel method has great interesting in the UWB communi-

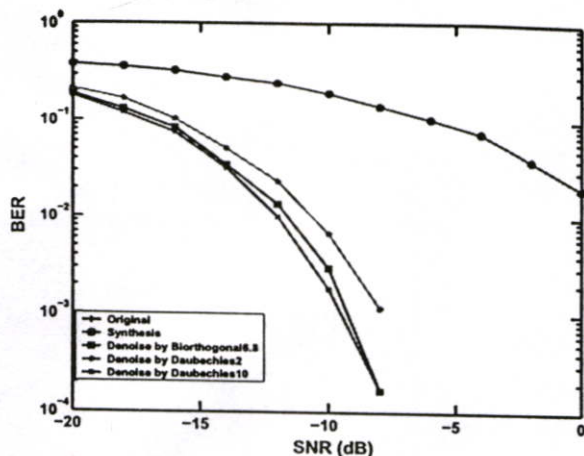


Fig.5: Performance in gaussian noise.

cation system.

References

- [1] Y. Liuqing and G. B Giannais, "Ultra-wideband communications: an idea whose time has come," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 26 - 54, Nov. 2004.
- [2] M. Z. Win, "Ultra-Wide Bandwidth Spread-Spectrum Techniques for Wireless Multiple-Access Communications," Ph.D. Thesis, Electrical Engineering, Univ. Southern California, Los Angeles, CA., Jan. 1998.
- [3] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.
- [4] R. J. Cramer, M. Z. Win, and R. A. Scholtz, "Evaluation of the multipath characteristics of the impulse radio channel," in *Proc. PIMRC'98*, vol. 2, pp. 864-868, 1998.
- [5] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of Part 15 of the Commissions Rules Regarding UWB Transmission Systems, Apr. 22, 2002.
- [6] T. Ikegami and H. Tsukada, "A study of wavelet application for ultra wide band data transmission," *Wireless Personal Multimedia Communications, The 5th International Symposium on Volume 3*, vol.3, pp. 1275 - 1279, 2002.
- [7] L. Zhang and Z. Zhou, "A Novel Synthesis Design and Implementation for Generating UWB Narrow Pulse Based on Wavelet", *ISCIT 2004*, pp. 1128- 1131, 2004.
- [8] Pongpisut T., Chamchoy M., Promwong S., "A Simple Method of Synthesis Design for Generating UWB Pulse Base on Wavelet", *ISCIT 2005*, pp. 1076-1079, 2005.
- [9] Chernogor L.F., Lazorenko O.V., "Application of the wavelet analysis for detecting ultra-wideband signals in noise," *MMET 2000*, pp. 233-235, 2000.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายธนัฐ พงศ์พิสุทธิ
วัน เดือน ปีเกิด	16 ธันวาคม พ.ศ. 2524
ที่อยู่	691/12 ถ. มิตรภาพ อ. เมือง จ. พิษณุโลก (65000)
ประวัติการศึกษา	2547 วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง