

การศึกษาผลการแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบ
กว้างยิ่งและเทคนิคการลดการแทรกสอด

STUDY ON THE EFFECT OF NARROWBAND INTERFERENCE ON
ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION SYSTEM AND
INTERFERENCE SUPPRESSION TECHNIQUE

เอกราช ปักดีชาติ
EAKARAJ PAKDEECHARD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลการแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบ
กว้างยิ่งและเทคนิคการลดการแทรกสอด

STUDY ON THE EFFECT OF NARROWBAND INTERFERENCE ON
ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION SYSTEM AND
INTERFERENCE SUPPRESSION TECHNIQUE

เอกราช ภัคดีชาติ

EAKARAJ PAKDEECHARD

เลขหมู่.....**74608**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....**8 ต.ค. 2550**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

**STUDY ON THE EFFECT OF NARROWBAND INTERFERENCE ON
ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION SYSTEM AND
INTERFERENCE SUPPRESSION TECHNIQUE**

EAKARAJ PAKDEECHARD

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

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วิทยานิพนธ์	การศึกษาผลการแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบกว้างยิ่งและเทคนิคการลดการแทรกสอด
นักศึกษา	นายเอกราช ภัคศิชาติ
รหัสประจำตัว	47061172
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.มนต์ชัย แซ่มซ้อย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงการศึกษาผลการแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบกว้างยิ่งและการลดผลการแทรกสอดที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาประสิทธิภาพของระบบแถบกว้างยิ่งด้วยการเปรียบเทียบค่าอัตราความผิดพลาดบิตของการสูญเสียเชิงวิถึ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะทาง และเปรียบเทียบระหว่างการมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลส์กับการมอดูเลตแบบไบเฟสภายใต้ช่องสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดจากระบบแถบแคบ ผลจากการศึกษาผลกระทบของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบกว้างยิ่งได้แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียประสิทธิภาพของระบบแถบกว้างยิ่งที่อยู่ภายใต้การแทรกสอดจากระบบสื่อสารแถบแคบ นอกจากนั้นการมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลล์ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการมอดูเลตแบบไบเฟสภายใต้ช่องสัญญาณที่มีการแทรกสอดจากระบบแถบแคบ ในส่วนของเทคนิคการลดการแทรกสอดได้นำเสนอเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบมาใช้ในการลดผลการแทรกสอดที่เกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของระบบแถบกว้างยิ่งที่มีการใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดด้วยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบนั้นให้ผลอัตราความผิดพลาดบิตที่ดีกว่าสัญญาณต้นแบบเดิม ดังนั้นการลดผลการแทรกสอดจากสัญญาณแถบแคบด้วยเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบแถบกว้างยิ่งได้ นอกจากนั้นแล้วเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบนี้ยังเป็นเทคนิคที่ง่าย มีความซับซ้อนน้อย และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแถบกว้างยิ่งที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสัญญาณแถบแคบให้ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

Thesis Title	Study on the Effects of Narrowband Interference on Ultra Wideband Communication System and Interference Suppression Technique
Student	Mr. Eakaraj Pakdeechard
Student ID.	47061172
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Monchai Chamchoy

ABSTRACT

This thesis illustrates the effects and suppression of narrowband interference on ultra wideband communication system. The empirical path loss model is considered for UWB time-hopping transmission with both pulse position modulation (PPM) and bi-phase modulation (BPM). Our study demonstrates that significant performance loss increases as the T-R separation increases. Moreover, the performance of UWB-PPM in the presence of NBI also better than BPM. Therefore, the BER performance is sensitive to the separation distance between the transmitter and the receiver. Moreover, it also depends on the separation between the UWB receiver and the IEEE802.11a interferer. In the interference suppression technique, the use of modified template waveform on correlation receiver for UWB communication is employed. Our study demonstrates that the BER performance of modified template waveform is better than the original one. Therefore, the modified template waveform based correlation receiver is simple and low complexity technique which can improve the UWB system performance significantly.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาและคอยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์นี้จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ชัย เข้มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สถาพร พรหมวงษ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศและหัวหน้ากลุ่มงานวิจัยที่ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์ รวมทั้งคอยสั่งสอนให้มีความสามารถในการทำวิจัยได้ดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ สุพรรณกุล ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้กำลังใจอย่างยิ่ง กำลังทรัพย์ในการทำงานมาโดยตลอดจนทำให้ผู้วิจัยมาถึงอยู่ถึงจุดนี้ได้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือในงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้และให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกราช ภักดีชาติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ระบบการสื่อสารแบบ UWB.....	6
2.3 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ UWB.....	8
2.3.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน.....	8
2.3.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเบิล.....	9
2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB.....	10
2.5 การเข้าถึงช่องสัญญาณของระบบ UWB.....	12
2.5.1 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา (Time Hopping).....	13
2.5.1.1 คุณสมบัติของระบบ Time Hopping (TH).....	14
2.5.2 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ Direct Sequence (DS).....	15
2.5.2.1 คุณสมบัติของระบบ DS.....	16
2.6 เครื่องรับในระบบการสื่อสาร UWB.....	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 สรุป.....	18
บทที่ 3 สัญญาณแทรกสอดแถบแคบ และเทคนิคการลดการแทรกสอดของสัญญาณแถบแคบ... 19	
3.1 บทนำ.....	19
3.2 สัญญาณ NBI.....	19
3.2.1 มาตรฐานIEEE802.11a.....	20
3.2.2 การมอดูเลตของสัญญาณ IEEE802.11.....	21
3.3 เทคนิคการลดผลกระทบที่เกิดจาก NBI.....	29
3.4 การประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบนอกรีต.....	32
3.5 สรุป.....	35
บทที่ 4 การแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบกว้างยิ่ง และเทคนิคการลดการแทรกสอด.....	38
4.1 บทนำ.....	38
4.2 รูปแบบจำลองสัญญาณภาคส่ง.....	38
4.2.1 การเลือกสัญญาณที่ใช้ในการส่ง.....	39
4.2.2 การเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตที่ใช้ในการส่ง.....	39
4.2.2.1 แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM.....	39
4.2.2.2 แบบจำลองการมอดูเลตแบบ BPM.....	40
4.2.3 การเลือกใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ.....	40
4.3 รูปแบบสัญญาณ NBI และการสูญเสียเชิงวิถี.....	42
4.4 รูปแบบของการใช้เทคนิคการลดการแทรกสอด.....	43
4.5 รูปแบบภาครับของระบบ UWB.....	44
4.6 สรุป.....	45
บทที่ 5 ผลการจำลองระบบ.....	46
5.1 บทนำ.....	46
5.2 ผลการจำลองผลกระทบของระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจาก NBI.....	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลการจำลองการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI.....	53
5.4 สรุป.....	56
บทที่ 6 สรุปผลการจำลองและแนวทางในการพัฒนา.....	57
6.1 การศึกษาผลการแทรกสอดของระบบ NBI ที่มีต่อระบบ UWB.....	57
6.2 ผลการศึกษาเทคนิคการลดการแทรกสอด.....	57
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก. บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดของ FCC สำหรับค่าระดับการแพร่กระจายกำลังงานของ สเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารและภายนอกอาคาร.....	7
3.1 คุณสมบัติของระบบ WLAN ตามมาตรฐานต่างๆ.....	20
3.2 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE802.11a	21
3.3 การแทนค่าบิตข้อมูลจำนวน 2 บิตกับเฟสของสัญญาณค่าต่างๆ.....	23
5.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ UWB และ NBI.....	47
5.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบ OFDM ตามมาตรฐาน IEEE802.11a	47

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่ใช้งานของระบบ UWB กับระบบ NBI.....	6
2.2 สเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....	7
2.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน.....	9
2.4 สัญญาณแบบเกาส์เซียนคัมเบิ้ล.....	9
2.5 การแบ่งกลุ่มของเทคนิคการมอดูเลตสำหรับระบบ UWB.....	10
2.6 การเปรียบเทียบเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM และ BPM สำหรับระบบ UWB.....	11
2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา.....	13
2.8 เอตัพุดของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา.....	14
2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งแบบ DS.....	15
2.10 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับระบบ DS.....	16
2.11 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสารแบบ UWB.....	17
3.1 เปรียบเทียบรูปร่างสัญญาณการมอดูเลตแบบ PSK.....	22
3.2 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและรูปร่างสัญญาณของการมอดูเลตแบบ PSK	23
3.3 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและการแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสต่างๆ ในวิธีการมอดูเลต PSK ที่มีการส่งครั้งละ 2 บิต.....	24
3.4 รูปร่างสัญญาณสำหรับการมอดูเลตแบบ PSK เมื่อส่งข้อมูลดิจิทัลครั้งละ 2 บิต (4PSK)....	24
3.5 การแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสและระดับต่างๆในระนาบเชิงซ้อนด้วยวิธีการมอดูเลตด้วยวิธีการมอดูเลตแบบ 16 QAM (4Bits)....	25
3.6 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ในการใช้งานของ (a) FDM (b) OFDM.....	26
3.7 สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห่อย่อย.....	27
3.8 การเปลี่ยนแปลงรูปจากสเปกตรัมความถี่มาเป็นสัญญาณโดเมนเวลาโดยใช้ IFFT.....	28
3.9 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งระบบ OFDM.....	29
3.10 นอตซ์ฟิลเตอร์ในการขจัดสัญญาณ NBI.....	29
3.11 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารของระบบ UWB โดยใช้เทคนิคปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ...	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12	รูปแบบสเปกตรัมของสัญญาณ UWB ที่เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสเปกตรัมของสัญญาณ UWB แบบเดิม กับสัญญาณ UWB ที่ปรับแต่งแล้ว.....31
3.13	ผลตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบ Notch โดยที่ $\omega_0 = 5.8GHz$, $BW = 800MHz$33
3.14	การแปลง z จากค่าตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบนอตช์.....35
4.1	แบบจำลองของระบบ UWB และการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดการแทรกสอดที่ทำการศึกษา.....37
4.2	รูปแบบคลื่นเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณส่ง.....38
4.3	เอาต์พุตของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา.....41
5.1	แบบจำลองการสื่อสารระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI46
5.2a	สัญญาณ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN48
5.2b	สัญญาณ BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN.....48
5.2c	สัญญาณและสเปกตรัมของ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI.....49
5.2d	สัญญาณและสเปกตรัม BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI.....50
5.3	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SNR ของระบบ UWB บนช่องสัญญาณรบกวน AWGN โดยข้อมูลมีการมอดูเลต BPM และ PPM ที่อัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 200Mbps.....51
5.4(a)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 1 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a51
5.4(b)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 5 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a52
5.4(c)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 10 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a52
5.5	สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการตีเทคสัญญาณ.....53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่ใช้งานของระบบ UWB กับระบบ NBI.....	6
2.2 สเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC.....	7
2.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน.....	8
2.4 สัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเบิล.....	9
2.5 การแบ่งกลุ่มของเทคนิคการมอดูเลตสำหรับระบบ UWB.....	10
2.6 การเปรียบเทียบเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM และ BPM สำหรับระบบ UWB.....	11
2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา.....	13
2.8 เอดจ์พุดของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา.....	14
2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งแบบ DS.....	15
2.10 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับระบบ DS.....	16
2.11 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสารแบบ UWB.....	17
3.1 เปรียบเทียบรูปร่างสัญญาณการมอดูเลตแบบ PSK.....	22
3.2 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและรูปร่างสัญญาณของการมอดูเลตแบบ PSK	23
3.3 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและการแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสต่างๆ ในวิธีการมอดูเลต PSK ที่มีการส่งครั้งละ 2 บิต.....	24
3.4 รูปร่างสัญญาณสำหรับการมอดูเลตแบบ PSK เมื่อส่งข้อมูลดิจิทัลครั้งละ 2 บิต (4PSK)....	24
3.5 การแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสและระดับต่างๆในระนาบเชิงซ้อนด้วยวิธีการมอดูเลต ด้วยวิธีการมอดูเลตแบบ 16 QAM (4Bits)....	25
3.6 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ในการใช้งานของ (a) FDM (b) OFDM.....	26
3.7 สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพาห่อย่อย.....	27
3.8 การเปลี่ยนแปลงรูปจากสเปกตรัมความถี่มาเป็นสัญญาณโดเมนเวลาโดยใช้ IFFT.....	28
3.9 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งระบบ OFDM.....	29
3.10 นอดซ์ฟิวดอร์ในการจัดสัญญาณ NBI.....	29
3.11 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารของระบบ UWB โดยใช้เทคนิคปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ...	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12	รูปแบบสเปกตรัมของสัญญาณ UWB ที่เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสเปกตรัมของสัญญาณ UWB แบบเดิม กับสัญญาณ UWB ที่ปรับแต่งแล้ว.....31
3.13	ผลตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบ Notch โดยที่ $\omega_0 = 5.8GHz$, $BW = 800MHz$33
3.14	การแปลง z จากค่าตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบนอตช์.....35
4.1	แบบจำลองของระบบ UWB และการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดการแทรกสอดที่ทำการศึกษา.....37
4.2	รูปแบบคลื่นเกาส์เซียนดับเลตพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณส่ง.....38
4.3	เอาต์พุตของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา.....41
5.1	แบบจำลองการสื่อสารระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI46
5.2a	สัญญาณ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN48
5.2b	สัญญาณ BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN.....48
5.2c	สัญญาณและสเปกตรัมของ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI.....49
5.2d	สัญญาณและสเปกตรัม BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI.....50
5.3	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SNR ของระบบ UWB บนช่องสัญญาณรบกวน AWGN โดยข้อมูลมีการมอดูเลต BPM และ PPM ที่อัตราการความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 200Mbps.....51
5.4(a)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 1 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a51
5.4(b)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 5 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a52
5.4(c)	ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 10 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a52
5.5	สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการตีเทคสัญญาณ.....53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6(a) ผลของการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 1 เมตรในการ ส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps.....	54
5.6(b) ผลของการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 5 เมตรในการ ส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps.....	55
5.6(c) ผลของการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 10 เมตรในการ ส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps.....	55

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wide Band)	UWB
อัตราการผิดพลาดของบิต (Bit Error Rate)	BER
การแทรกสอดจากระบบแถบแคบ (Narrowband Interference)	NBI
ระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น	WLAN
การมอดูเลตแบบการมีอยู่และไม่มีอยู่ของสัญญาณพัลส์ (On-Off Keying)	OOK
การมอดูเลตแบบแอมพลิจูดของสัญญาณพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation)	PAM
การมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลส์ (Pulse Position Modulation)	PPM
การมอดูเลตแบบไบเฟส (Bi-phase Modulation)	BPM
การมอดูเลตแบบควอดราเจอร์ทางขนาด (Quadrature Amplitude Modulation)	QAM
การมอดูเลตแบบเฟสชิฟท์คีย์อิง (Phase Shift Keying)	PSK
การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา (Time Hopping)	TH
การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแผ่นสเปกตรัม (Direct Sequence)	DS
การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายคลื่นพาห้ (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) OFDM	
การเข้าถึงแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access)	CDMA
การแปลงฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform)	IFFT
การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform)	FFT

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันหากจะพูดถึงเทคโนโลยีที่สำคัญในการใช้งานในชีวิตประจำวันของเรา เทคโนโลยีการสื่อสารเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เราใช้กันในชีวิตประจำวันมากที่สุดเทคโนโลยีหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในวงการสื่อสารมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ภายในสำนักงานหรือแม้กระทั่งภายในบ้าน ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นที่มีความต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงเพื่อรองรับระบบมัลติมีเดีย ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra-Wideband หรือ UWB) เป็นระบบที่ถูกพัฒนามารองรับกับระบบการสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ

ระบบ UWB มีความแตกต่างจากเทคโนโลยีคลื่นวิทยุระบบอื่น โดยระบบ UWB ใช้สัญญาณอิมพัลส์เป็นสัญญาณในการสื่อสาร และไม่มีการนำสัญญาณนั้นไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ นอกจากนี้กำลังงานของสัญญาณอิมพัลส์ที่ใช้ส่งมีค่าต่ำและมีแถบความถี่ของช่องสัญญาณที่กว้าง ดังนั้นระบบ UWB สามารถส่งสัญญาณด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูง ซึ่งทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทะลุผ่านสิ่งกีดขวางและทำให้ลดผลกระทบจากการกระจัดกระจายของสัญญาณหลายวิถี คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communication commission :FCC) [1] ได้กำหนดให้ UWB มีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz สเปกตรัมความหนาแน่นกำลังงานในการส่งสัญญาณอยู่ในระดับไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนเพื่อไม่ให้ระบบสื่อสารนี้ไปรบกวนกับระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิม โดยมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth) ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่ในการใช้งานมากกว่า 500 MHz ซึ่งวัดในตำแหน่งกำลังงานของสัญญาณที่จุด -10 dB

ในการใช้งานของระบบ UWB นั้น มีการใช้งานสเปกตรัมของระบบที่กว้างมากซึ่งสเปกตรัมที่กว้างมากนี้เอง ไปซ้อนทับกับระบบแถบแคบที่มีอยู่เดิม ในที่นี้คือระบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless LAN หรือ WLAN) [9], [15] ถึงแม้ว่าคณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ UWB มีการส่งสัญญาณอยู่ในระดับไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวน แต่ถ้าคิดในกรณีที่แย่ที่สุดหมายถึงกรณีที่ระบบ UWB และระบบ WLAN ได้มีการใช้งานอยู่ในระยะทางที่ใกล้กันมากๆ จนทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน นอกจากนั้น ได้มีงานวิจัยการศึกษาผลการแทรกสอดอันเกิดเนื่องจากระบบ UWB [2]-[8] ที่มีผลกระทบต่อ

ระบบอื่นๆ อยู่จำนวนไม่น้อย จึงเกิดแนวความคิดที่จะศึกษาผลกระทบจากการแทรกสอดภายใต้ระบบแถบแคบ (Narrowband interference หรือ NBI) ต่อการสื่อสารของระบบ UWB [10]-[13] เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของผลการแทรกสอดที่เกิดจากสัญญาณ NBI นอกจากนั้นแล้วยังได้นำเสนอเทคนิคที่ลดผลกระทบของ NBI นั้นด้วย โดยเทคนิคที่นำเสนอ นั้นเป็นวิธีการนำสัญญาณก่อนส่งผ่าน โดยนำสัญญาณนั้นปรับแต่งด้วยฟิลเตอร์ เพื่อกรองเอาสเปกตรัมความถี่ที่จะเกิดการแทรกสอดของสเปกตรัม NBI ออกไป จากนั้นจึงส่งผ่านสัญญาณที่ปรับแต่งแล้ว ไปยังช่องสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ผลการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะมีผลกระทบน้อยลงกว่าเดิม และทำให้ระบบ UWB มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ง่ายและมีความซับซ้อนของโครงสร้างในการปรับแต่งสัญญาณน้อยอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการสื่อสารของระบบ UWB มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านต่ำ จากการที่คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดระดับความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งไว้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ซึ่งเป็นระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนเพื่อไม่ให้ระบบสื่อสาร UWB นี้ไปรบกวนกับระบบการสื่อสารที่มีอยู่เดิม แต่ในทางกลับกันหากพิจารณาการสื่อสารอื่นที่มีอยู่เดิมนั้น ส่วนมากเป็นระบบการสื่อสารที่มีการใช้คลื่นพาห้ในการส่งผ่านและใช้กำลังงานในการส่งผ่านที่สูงกว่าระบบ UWB มาก จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI นอกจากนั้นแล้วยังได้เสนอวิธีการลดผลกระทบจากการแทรกสอดของสัญญาณ NBI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ UWB อีกด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณ NBI ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อน และทำให้ประสิทธิภาพของ UWB ดีขึ้นกว่าเดิม

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการทำวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือ ศึกษาถึงผลกระทบของการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ต่อระบบ UWB ส่วนที่ 2 การลดผลกระทบจากการเกิดการแทรกสอด โดยในส่วนของการศึกษาผลกระทบการแทรกสอดระหว่างกันนั้น ได้ใช้ทฤษฎีความรู้พื้นฐานทางด้านการสื่อสารไร้สายต่างๆ มีการจำลองระบบ UWB และสัญญาณ NBI พิจารณาเลือกใช้เทคนิคมอดูเลต 2 ประเภทในการส่งผ่านของระบบ UWB เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกัน ในช่องสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณ NBI กับช่องสัญญาณที่ปราศจากการเกิดการแทรกสอด นอกจากนั้นยังพิจารณาการสูญเสียเชิงวิถีจากระยะทาง 3 ตำแหน่งระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับของระบบ UWB

และพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ UWB ด้วยการหาค่าอัตราการผิดพลาดของบิต (Bit error rate หรือ BER) สำหรับส่วนของการลดผลกระทบจากการแทรกสอดนั้น พิจารณาเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ โดยนำสัญญาณส่งผ่านฟิลเตอร์ เพื่อกรองเอาสเปกตรัมของสัญญาณส่งในช่วงสเปกตรัมของสัญญาณ NBI ออกไป แล้วจึงนำสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วนั้นส่งผ่านออกไปยังช่องสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดจาก NBI โดยที่ภาครับของระบบ UWB พิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ UWB จากค่า BER ที่มีการใช้เทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบและไม่ได้ใช้เทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาหาผลกระทบการแทรกสอดของระบบการสื่อสาร UWB ภายใต้อิทธิพลจากสัญญาณ NBI ตามมาตรฐาน IEEE802.11a โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการจำลองระบบทั้งหมด ในการจำลองระบบพิจารณาให้ภาคส่งของระบบ UWB มีเทคนิคการมอดูเลต 2 แบบ คือ มอดูเลตด้วยวิธีตำแหน่งพัลส์ (Pulse position modulation หรือ PPM) และมอดูเลตด้วยวิธีไบเฟส (Bi-phase modulation หรือ BPM) บนช่องสัญญาณที่อยู่ภายใต้ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณ NBI เข้ามาแทรกสอดด้วย โดยพิจารณาค่า BER ของการสูญเสียเชิงวิถี แบ่งเป็น 3 ระยะทางมาเปรียบเทียบกัน และที่ภาครับไม่มีการสูญเสียจากการซิงค์โคไนซ์กัน นอกจากนั้นยังเสนอเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบของระบบ UWB เพื่อช่วยลดผลการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ที่มีผลต่อ UWB โดยพิจารณานำสัญญาณส่งผ่านฟิลเตอร์ โดยพิจารณาเลือกใช้ตัวกรองแบบนอตช์ (Notch filter) เพื่อกรองเอาสเปกตรัมของสัญญาณส่งในช่วงสเปกตรัมของสัญญาณ NBI ออกไป แล้วจึงนำสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วนั้นส่งผ่านไปยังช่องสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดจาก NBI สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการจำลองแบบนั้น แสดงให้เห็นถึงค่า BER ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to interference noise ratio หรือ SINR)

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความจำเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบ UWB ซึ่งจะประกอบไปด้วย มาตรฐานของระบบ UWB

บทที่ 3 กล่าวถึงสัญญาณ NBI และเทคนิคในการลดการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ซึ่งจะประกอบไปด้วย WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a ตัวกรองแบบนอตช์

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบ ซึ่งจะประกอบไปด้วยแบบจำลองผลการแทรกสอดของ NBI ที่มีต่อระบบ UWB และแบบจำลองในการลดผลกระทบของ NBI

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการจำลองระบบ ซึ่งประกอบไปด้วยผลการจำลองผลกระทบของระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจาก NBI และผลการจำลองการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ระบบการสื่อสาร UWB

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีการสื่อสาร UWB ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการที่เป็นความลับของกองทัพสหรัฐฯ ในช่วงระหว่างปี 1960-1990 ซึ่งพบว่าเทคโนโลยี UWB เหมาะที่จะนำมาใช้กับการสื่อสารของเรดาร์และการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง ต่อมาเมื่อเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission หรือ FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ FCC เพื่อควบคุมและจำกัดกำลังส่งสัญญาณของระบบ UWB โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศออกมาใช้งานเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ปี ค.ศ 2002 ที่ผ่านมา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีไร้สายให้มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่สูงทำให้ระบบการสื่อสาร UWB ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารประเภทต่างๆ มากขึ้น โดยการสื่อสาร UWB นั้นนับได้ว่าเป็นวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สาย โดยมีการใช้แถบความถี่ในการส่งที่กว้างมากประกอบกับใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบ UWB นั้นมีความแตกต่างกับระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน 2 ประการคือการส่งสัญญาณ UWB นั้นจะทำการส่งสัญญาณในลักษณะที่เป็นอิมพัลส์ โดยไม่มีการนำเอาสัญญาณข้อมูลไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณพาห้ อีกประการหนึ่งสัญญาณ UWB จะมีสัดส่วนของแบนด์วิดท์ในการส่งมากกว่าหรือเท่ากับ 20 % ของแถบความถี่กลาง หรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz ซึ่งจะพบว่ามีความกว้างกว่าแถบความถี่ของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก โดยที่ทาง FCC ได้กำหนดแถบความถี่ที่ใช้ในระบบการสื่อสาร UWB ไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz จากการที่ระบบการสื่อสาร UWB ใช้แถบความถี่ที่กว้างมากโดยที่แถบความถี่ที่ใช้นั้นได้มีการทับซ้อนกับระบบการสื่อสารแบบแถบแคบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทาง FCC กำหนดระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งไว้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz [1] ซึ่งจากการที่ระบบการสื่อสาร UWB มีความหนาแน่นของกำลังงานของสัญญาณต่อความถี่ที่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสาร UWB ได้รับผลกระทบของสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอผลการวิจัยต่างๆ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าวในการสื่อสาร UWB เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น โดยวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการศึกษาผลการแทรกสอดของระบบ NBI ที่มีต่อระบบ UWB และเทคนิคการลดการแทรกสอดซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะกล่าวถึง

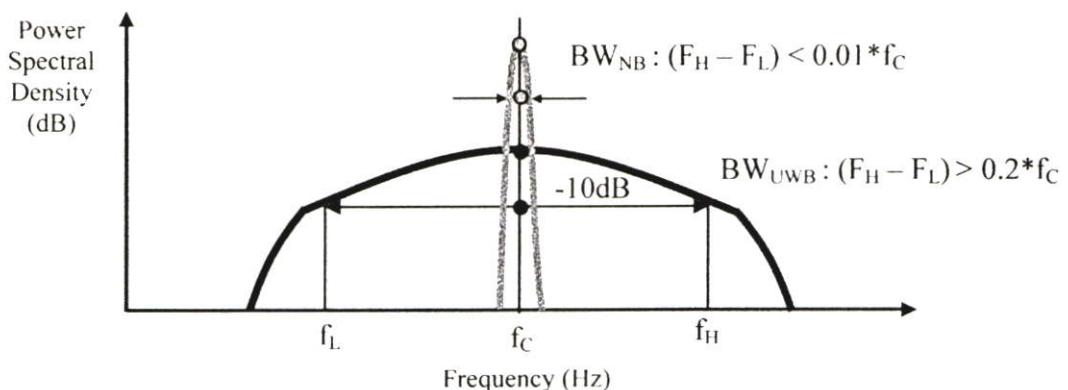
ในบทต่อไป โดยที่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบการสื่อสาร UWB

2.2 ระบบการสื่อสาร UWB

ในปัจจุบันเทคโนโลยี UWB ได้กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญสำหรับการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากระบบ UWB มีราคาถูก ใช้กำลังงานในการส่งผ่านที่ต่ำ อัตราการส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็วสูง และยังมีความทนทานต่อสัญญาณหลายวิถี นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีคลื่นวิทยุ (RF) อื่นๆ คือแทนที่จะใช้ความถี่พาห้ในช่วงแบนด์วิดท์แคบ UWB ได้เปลี่ยนมาส่งสัญญาณพัลส์ในช่วงแถบความถี่ที่กว้าง ข้อตกลงของคณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้กำหนดว่าให้ UWB มีย่านความถี่ในการใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1-10.6 GHz และระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณ -41.3 dBm/MHz และเป็นสัญญาณที่มีช่วงแบนด์วิดท์ในการใช้งานมากกว่า 500 MHz กำหนดไว้ในสมการที่ 2.1

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

โดยที่ f_H คือความถี่สูงสุด f_L คือความถี่ต่ำสุดของสัญญาณที่จุด -10 dB และ ค่า BW_f มีค่ามากกว่า 0.2 จากรูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบแบนด์วิดท์การใช้งานของระบบ UWB กับระบบ NBI โดยที่ BW_{UWB} แสดงช่วงความถี่ของระบบ UWB และ BW_{NB} แสดงช่วงความถี่ของระบบ NBI



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่ใช้งานของระบบ UWB กับระบบ NBI

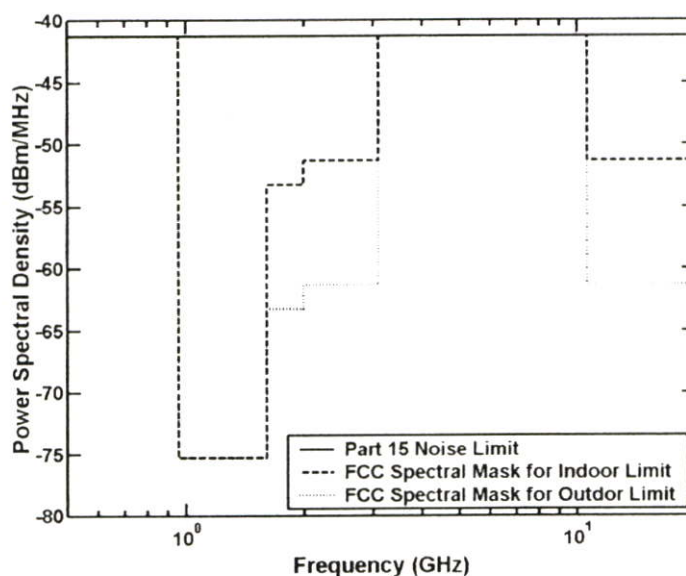
นอกจากนี้ FCC ยังนิยามข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานของช่วงสเปกตรัม (spectral mask) ที่ใช้ในภาคส่งของอุปกรณ์การสื่อสารต่าง ๆ สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและการ

สื่อสารภายนอกอาคาร ข้อกำหนดของ FCC สำหรับค่าระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารและภายนอกอาคารแสดงได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของ FCC สำหรับค่าระดับการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ช่วงความถี่ที่กำหนด (MHz)	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	(dBm/MHz)	(dBm/MHz)
960-1,610	-73.5	-75.3
1,610-1,990	-53.3	-63.3
1,990-3,100	-51.3	-61.3
3,100-10,600	-41.3	-41.3
มากกว่า 10,600	-51.3	-61.3

สำหรับสเปกตรัมการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย FCC

สาเหตุที่ FCC นิยามให้ข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายในอาคารมีกำลังส่งสูงกว่าข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของสเปกตรัมที่ใช้ภายนอกอาคารในบริเวณที่ใกล้เคียงย่านความถี่ UWB นั้นเป็นเพราะว่าการแพร่กระจายสัญญาณของการสื่อสารภายในอาคารสามารถถูกดูดกลืนการแพร่กระจายไปในอากาศได้มากกว่าไม่ว่าจะเป็นฝาผนังหรือ

ตัวมนุษย์ซึ่งเป็นตัวคุกกลืนสัญญาณที่ดี ส่วนภายนอกอาคารการคุกกลืนสัญญาณที่แพร่กระจาย ทำได้น้อยหรืออาจจะไม่มีเลย ซึ่งอาจจะไปรบกวนต่อระบบอื่นได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อจำกัด กำลังส่งของสัญญาณที่ใช้สื่อสารภายในสูงกว่าข้อจำกัดกำลังส่งของสัญญาณที่ใช้สื่อสารภายนอก อาคาร

2.3 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบ UWB

ระบบการสื่อสารแบบ UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่ใช้สัญญาณพาห้ในการนำพาเอา สัญญาณข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปสู่ช่องสัญญาณ โดยที่สัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB จะใช้สัญญาณที่มีรูปแบบเป็นสัญญาณพัลส์ในการส่งข้อมูล โดยสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการ ส่งจะมีคาบของสัญญาณที่สั้นมาก รูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสาร แบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท เช่น สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน และ สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ทเป็นต้น โดยที่สัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสาร ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่สอดคล้องกันอยู่หนึ่งข้อคือ สัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการส่งนั้นเมื่อทำการ แปลงสัญญาณในโดเมนความถี่แล้วจะต้องสอดคล้องกับช่วงความถี่ที่ทาง FCC กำหนด

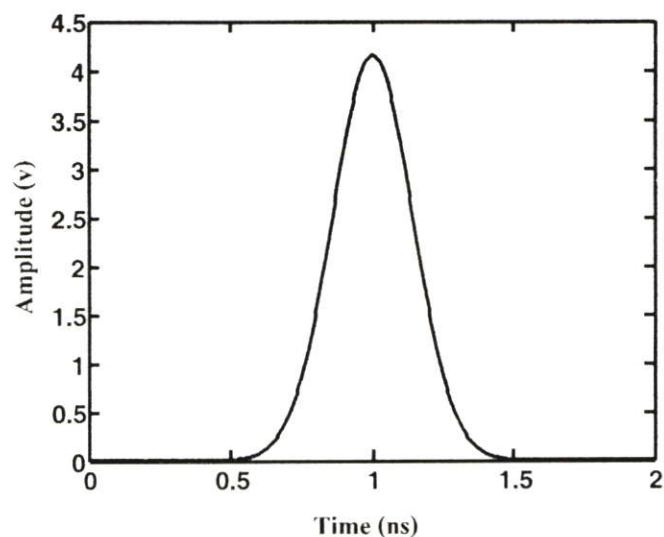
2.3.1 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian pulse)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งจากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปร่างของ สัญญาณจะมีรูปร่างเหมือนการแจกแจงข้อมูลที่มีลักษณะแบบปกติ (normal distribution) โดยที่ สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$s(t) = Ae^{-\left(\frac{t}{\xi}\right)^2} \quad (2.2)$$

โดยที่ A คือ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด

ξ คือ คุณลักษณะของการสูญเสียทางเวลา

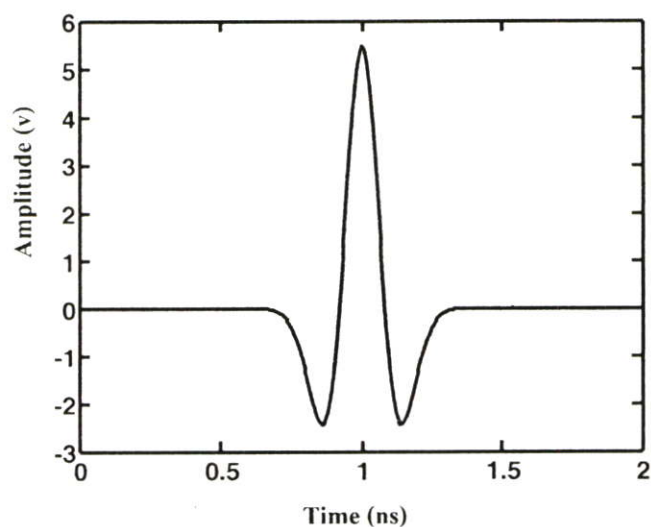


รูปที่ 2.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน

2.3.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ท (Gaussian doublet)

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียนดับเล็ทเป็นสัญญาณที่ได้จากการหาอนุพันธ์อันดับที่สองของสัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน ซึ่งสัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเล็ทนั้นสามารถสร้างได้จากสมการที่ (2.3)

$$p(t) = A\left(1 - \frac{2t^2}{\xi^2}\right)e^{-\left(\frac{t}{\xi}\right)^2} \quad (2.3)$$



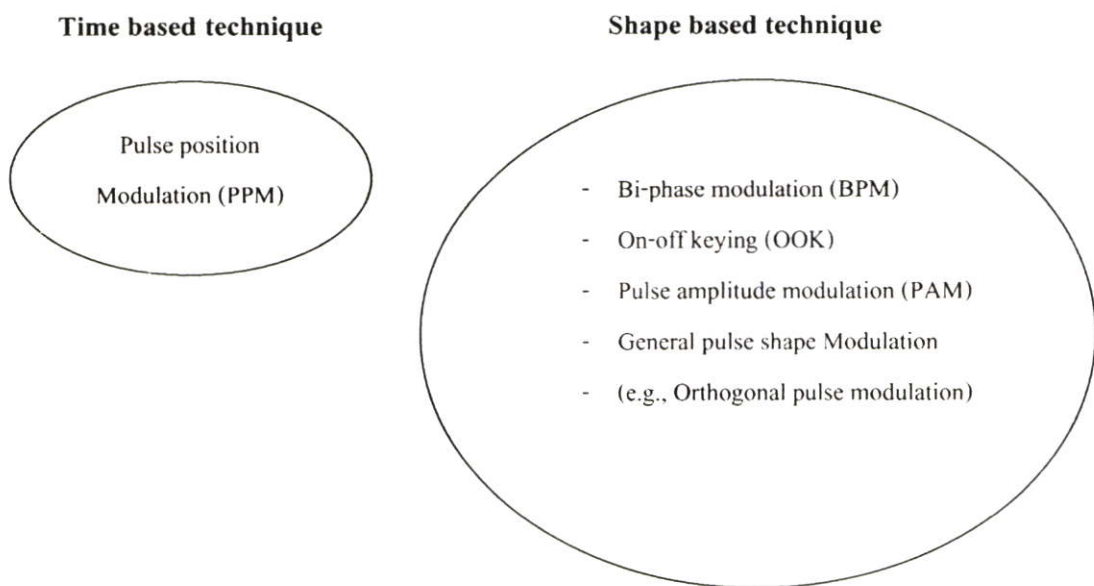
รูปที่ 2.4 สัญญาณแบบเกาส์เซียนดับเล็ท

2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสาร UWB

การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบ UWB มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิทัลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อก ในระบบ UWB มีวิธีพื้นฐานหลายวิธีในการมอดูเลต มีการจัดกลุ่มสำหรับวิธีมอดูเลต ซึ่งแบ่งวิธีการมอดูเลตหลักๆ ได้ 2 วิธี คือ

- เทคนิคการมอดูเลตทางเวลา
- เทคนิคการมอดูเลตทางรูปร่าง

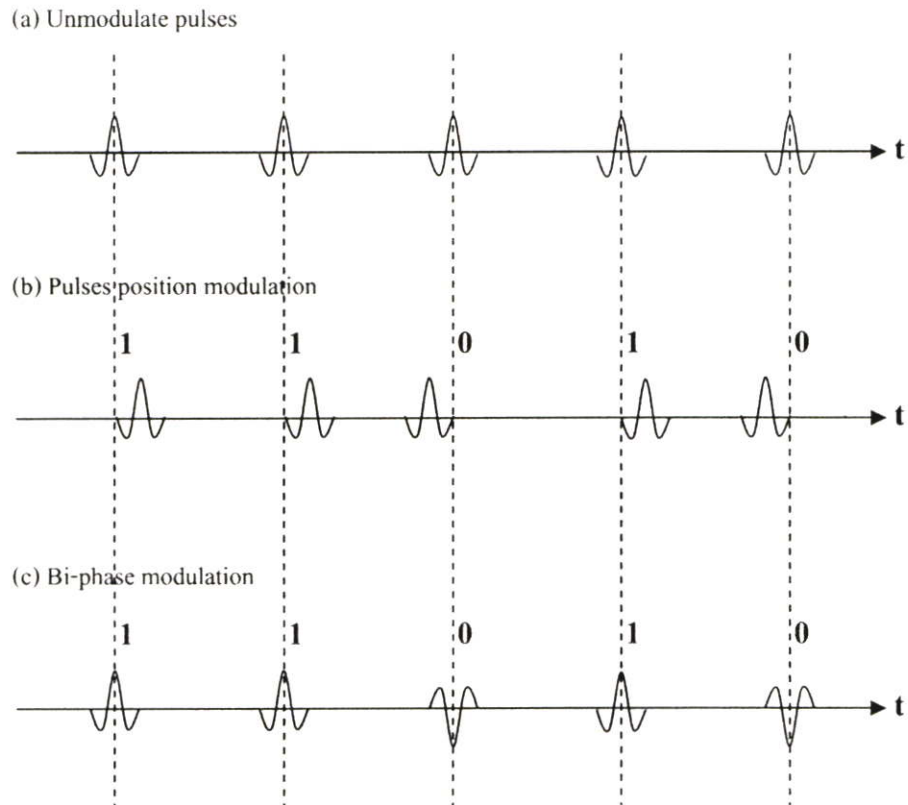
โดยแสดงการแบ่งกลุ่มของเทคนิคการมอดูเลตต่างๆ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแบ่งกลุ่มของเทคนิคการมอดูเลตสำหรับระบบ UWB [18]

เทคนิควิธีการมอดูเลตทางเวลาทั่วไปที่ใช้กันบ่อยในการวิจัยคือ การมอดูเลตตำแหน่งพัลส์ ซึ่งในแต่พัลส์ถูกทำให้เลื่อนทางเวลา ดังนั้นข้อมูลบิตที่ถูกสร้างขึ้นมาด้วยการเลื่อนทางเวลาไปข้างหน้าหรือเลื่อนย้อนหลัง อีกหนึ่งวิธีการมอดูเลตทางรูปร่างคือการสับเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ โดยการสร้างพัลส์ที่อยู่บนพื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ซึ่งวิธีการนี้รู้จักกันในชื่อว่า การมอดูเลตแบบ BPM นอกจากนี้ยังมีวิธีการมอดูเลตด้วยเทคนิคอื่นๆอีก เช่น เทคนิคการมอดูเลตแบบ On-off keying (OOK) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้การไม่มีอยู่และการมีอยู่ของสัญญาณพัลส์ โดยการไม่มีอยู่ถูกแทนด้วยข้อมูลบิต “0” และการมีอยู่ถูกแทนด้วยข้อมูลบิต “1” ตามลำดับ เทคนิคการมอดูเลตแบบ Pulse amplitude modulation (PAM) เป็นเทคนิคที่ใช้ระดับของขนาดของสัญญาณพัลส์ในการแทนค่าข้อมูลบิต นอกเหนือจากนั้นแล้ว ยังมีการมอดูเลตบางเทคนิคที่ไม่สามารถใช้งานในระบบ UWB ได้ยกตัวอย่างเช่น เทคนิค Frequency modulation

(FM) ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางนั้นยากต่อการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสาร UWB เนื่องจากในแต่ละสัญญาณพัลส์ประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางความถี่หลายอย่าง จึงทำให้ยากที่จะทำการมอดูเลต



รูป 2.6 การเปรียบเทียบเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM และ BPM สำหรับระบบ UWB

ในรูปที่ 2.6 แสดงการพิจารณาเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM และ BPM การเปรียบเทียบวิธีการมอดูเลต 2 แบบนี้ในรูปที่ 2.6(a) แสดงสัญญาณพัลส์ที่ไม่มีการมอดูเลต รูปที่ 2.6(b) แสดงตัวอย่างของเทคนิคการมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลส์ (PPM) โดยมีเงื่อนไขสัญญาณพัลส์แสดงถึงข้อมูลบิต “1” คือสัญญาณพัลส์ที่มีการเลื่อนตำแหน่งพัลส์ไปทางด้านขวาและสัญญาณพัลส์ที่แสดงถึงข้อมูลบิต “0” คือสัญญาณพัลส์ที่มีการเลื่อนตำแหน่งพัลส์ไปทางด้านซ้าย รูปที่ 2.6(c) แสดงการเปลี่ยนเฟสสัญญาณพัลส์ของเทคนิคการมอดูเลตแบบ BPM แสดงสัญญาณพัลส์ที่แทนด้วยข้อมูลบิต “0” เป็นการไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณพัลส์ และแสดงสัญญาณพัลส์ที่แทนด้วยข้อมูลบิต “1” เป็นการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยการกลับเฟสตรงข้าม

2.5 การเข้าถึงช่องสัญญาณของระบบ UWB

การเข้าถึงช่องสัญญาณนั้นเป็นวิธีการเพื่อเพิ่มความจุของช่องสัญญาณและเป็นวิธีการที่ทำให้ผู้ใช้หลายๆ คนสามารถใช้ช่องสัญญาณได้พร้อมกัน โดยที่ในระบบการสื่อสารแบบ UWB นั้นจะใช้วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณหลักๆ อยู่ด้วยกัน 2 วิธีซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบการแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) คือ

1) วิธีการกระโดดทางเวลา (Time Hopping) สัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกส่งในช่วงเวลา (time slots) ที่แตกต่างกันในแต่ละเฟรมเวลา โดยที่ช่วงเวลาที่ส่งของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดโดยรหัสของผู้ใช้แต่ละราย

2) วิธีการจัดลำดับโดยตรง (Direct Sequence) ในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบนี้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกคูณด้วยสัญญาณรหัสแผ่ความถี่โดยตรง โดยที่ผู้ใช้แต่ละรายจะได้รหัสสัญญาณแผ่ที่แตกต่างกัน

วิธีการในการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบการแบ่งรหัสนั้นผู้ใช้แต่ละรายจะใช้ความถี่ในการส่งสัญญาณข้อมูลความถี่เดียวกัน โดยที่การแยกว่าสัญญาณที่รับได้เป็นของรายใดนั้นจะใช้รหัสสัญญาณแผ่เป็นตัวแยก ซึ่งผู้ใช้แต่ละรายจะมีรหัสเฉพาะที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสแผ่ใดๆ จะมีค่าที่ต่ำ ดังนั้นที่ภาครับจะอาศัยคุณสมบัตินี้ในการแยกเอาสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณที่รับได้ เมื่อที่ภาครับของระบบการสื่อสารทราบรหัสแผ่ที่ใช้ในภาคส่งของระบบการสื่อสาร เนื่องจากแบนด์วิธของรหัสแผ่จะมีขนาดที่มากกว่ารหัสของสัญญาณข้อมูลมาก ดังนั้นกระบวนการในการเข้ารหัสนี้เป็นการขยายแบนด์วิธของสัญญาณและจะทำการเรียกกระบวนการนี้ว่าการมอดูเลตแผ่สเปกตรัมและกระบวนการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งรหัสนั้นบ่อยครั้งจะเรียกว่าวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแผ่สเปกตรัม

ข้อกำหนดที่จะสามารถบอกได้ว่าเป็นการมอดูเลตแบบแผ่สเปกตรัม นั้นจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไข 2 ข้อคือ

1) แบนด์วิธของสัญญาณที่ส่งออกไปในช่องสัญญาณต้องมากกว่าแบนด์วิธของสัญญาณข้อมูลที่ยังไม่เข้ารหัสแผ่สเปกตรัม

2) แบนด์วิธของสัญญาณที่ส่งออกไปต้องไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลข่าวสารที่ยังไม่ได้เข้ารหัสแบบแผ่สเปกตรัม

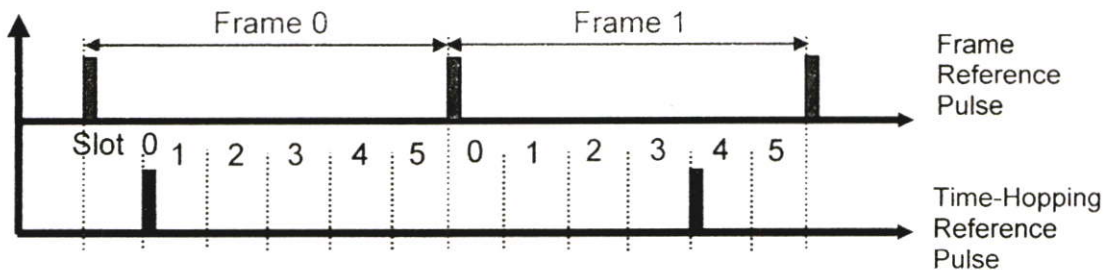
การมอดูเลตแบบแผ่สเปกตรัมจะแปลงสัญญาณข้อมูลข่าวสาร ไปเป็นสัญญาณที่ใช้ส่งออกไปสู่ช่องสัญญาณที่มีแบนด์วิธที่มากขึ้น และสามารถทำได้โดยนำเอาสัญญาณข้อมูลมาทำการเข้ารหัสแผ่สเปกตรัม โดยที่รหัสสัญญาณแผ่สเปกตรัมนั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับสัญญาณข้อมูล และมีแบนด์วิธที่กว้างเมื่อเปรียบเทียบกับแบนด์วิธสัญญาณข้อมูล ซึ่งการเข้ารหัสประเภทนี้จะทำให้กำลังของสัญญาณที่ต้องการส่งนี้กระจายตลอดความถี่ของช่องสัญญาณ ทำให้ระดับความ

หนาแน่นของกำลังงานสัญญาณมีค่าต่ำ และอัตราส่วนระหว่างแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ส่งกับสัญญาณข้อมูล

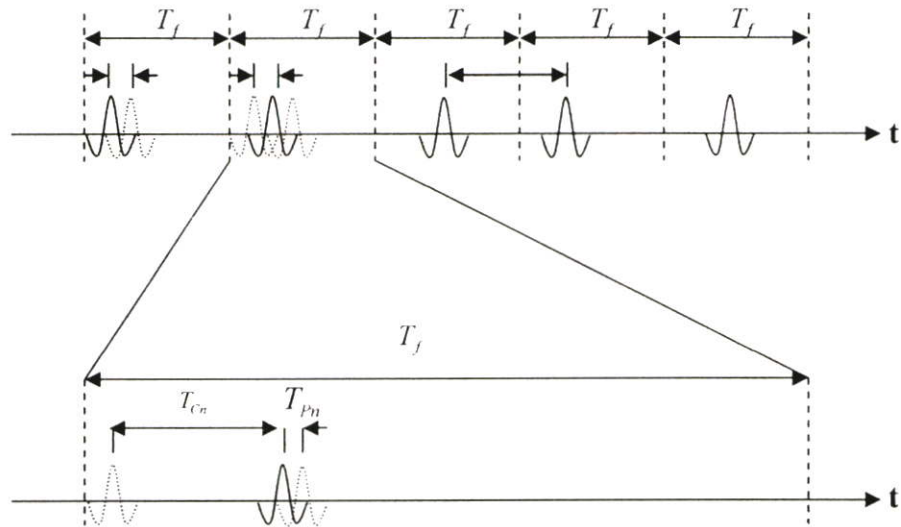
โดยที่เครื่องรับของระบบการสื่อสารประเภทนี้จะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณที่เป็นรหัสแผ่ความถี่ ซึ่งถูกสร้างจากการชิงโครไนซ์ระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณในระบบสื่อสาร เพื่อใช้ในการนำเอาสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณที่รับได้ ซึ่งในการแยกสัญญาณที่ต้องการจากสัญญาณที่รับได้ทั้งหมดนั้นภาครับสัญญาณต้องทราบรหัสแผ่สเปกตรัมที่ใช้ที่ภาคส่งสัญญาณ โดยที่รายละเอียดของวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบ UWB จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.5.1 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา (Time Hopping)

ในระบบการสื่อสารแบบก้าวกระโดดทางเวลา (TH-CDMA) สัญญาณข้อมูลจะถูกส่งในช่วงเวลาที่กำหนด โดยรหัสของผู้ใช้งานแต่ละคน โดยวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณในลักษณะนี้แกนเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นเฟรม และในแต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็น M ไทม์สล็อต โดยแสดงในรูปแบบที่ 2.7 แสดงเอาต์พุตผลลัพธ์ของการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา



รูปที่ 2.7 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา



รูปที่ 2.8 เอต์พุดของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา

2.5.1.1 คุณสมบัติของระบบ Time-hopping (TH)

1) การเข้าถึงหลายทาง (Multiple access)

จากการที่มีการกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันมีค่าที่ต่ำ อันเนื่องมาจากการที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้รหัสในการกระโดดของช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และหากเกิดเหตุการณ์ที่ผู้ใช้หลายคนส่งสัญญาณข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันแล้ว การนำเอาการเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดมาใช้เพื่อที่จะทำให้มั่นใจในการที่จะสามารถนำเอาสัญญาณที่ต้องการกลับคืนมาจากสัญญาณที่รับได้

2) ความน่าจะเป็นของการถูกดักจับของสัญญาณมีค่าต่ำ (Low probability of interception)

ในระบบ TH ความถี่ของสัญญาณที่ส่งของผู้ใช้แต่ละคนจะมีค่าคงที่ แต่จะแตกต่างกันที่เวลาในการส่งและช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งจะสั้นในกรณีที่ในระบบมีผู้ใช้หลายคนจะทำให้เครื่องรับยากในการหาช่วงเริ่มต้นและช่วงสิ้นสุดของการส่งและยากที่จะรู้ว่าผู้ใช้งานรายใดส่งมา

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงข้อดีและข้อเสียของระบบสื่อสารแบบ TH ได้ดังนี้

- ข้อดีของระบบ TH

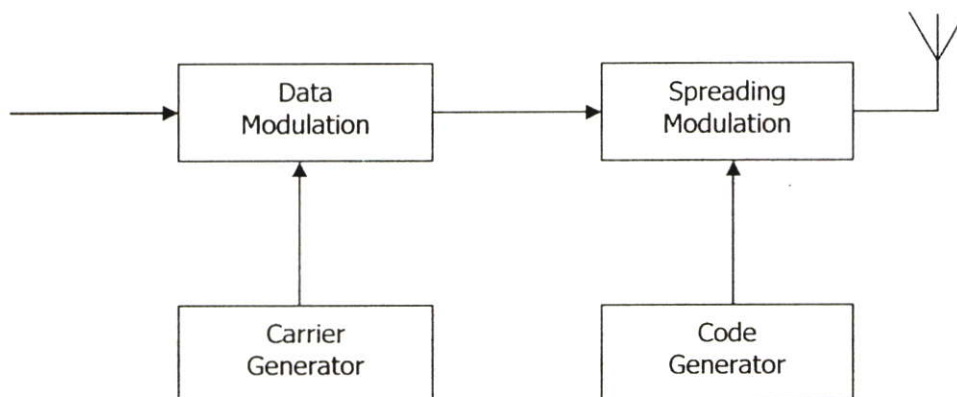
- 1) ง่ายในการสร้างและนำไปใช้งาน
- 2) มีประโยชน์ในระบบการสื่อสารสามารถจำกัดกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณข้อมูลที่จะส่ง แต่ไม่ได้จำกัดกำลังงานสูงสุด (Peak power) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ข้อมูลถูกส่งออกไปในช่วงเวลาสั้นๆ ที่กำลังงานสูง
- 3) ระบบ TH จะลดผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกล (Near-far effect)

- ข้อเสียของระบบ TH

- 1) ใช้เวลาในการซิงโครไนซ์รหัสมากและช่วงเวลาในการรับสัญญาณนั้นจะเป็นปัญหาสำหรับการซิงโครไนซ์รหัสอื่นเนื่องจากช่วงเวลาในการรับสัญญาณมีค่าน้อย
- 2) เมื่อมีผู้ใช้ในระบบมากขึ้นอาจจะเกิดการสูญเสียของข้อมูลได้ ดังนั้นการนำเอารหัสแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลมาใช้ จึงมีความจำเป็น

2.5.2 วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ Direct Sequence (DS)

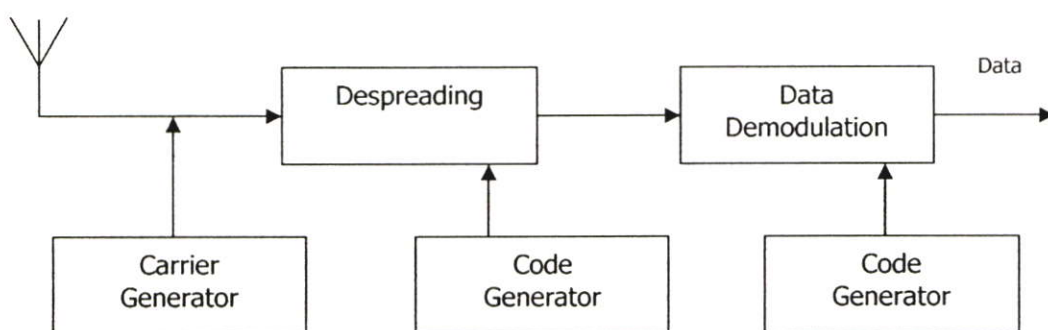
ในระบบ Direct sequence สัญญาณข้อมูลจะถูกนำมามอดูเลตกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมโดยตรง โดยที่สัญญาณข้อมูลที่จะนำมาทำการมอดูเลตอาจเป็นสัญญาณดิจิทัลหรือสัญญาณอนาล็อกก็ได้ สัญญาณข้อมูลจะถูกนำมาคูณกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมเพื่อให้ได้สัญญาณหลังการมอดูเลตแผ่สเปกตรัมมีแบนด์วิดท์กว้างกว่าสัญญาณข้อมูล ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้ระบบนี้มีชื่อว่า DS โดยที่ในรูปที่ 2.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งแบบ DS



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งแบบ DS [19]

โดยที่ในรูปที่ 2.9 นั้นสัญญาณข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณไบนารีจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ส่งในระบบการสื่อสารแบบ UWB จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปทำการมอดูเลตกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัม โดยที่สัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมนั้นจะประกอบด้วยบิตรหัส หรือ ชิป (Chips) ที่มีค่าเป็น +1 หรือ -1 โดยที่วิธีการมอดูเลตสัญญาณแผ่สเปกตรัมนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่น BPSK, D-BPSK, QPSK หรือ MPSK เป็นต้น เครื่องรับสัญญาณในระบบ DS นั้นจะแสดงในรูปที่ 2.10 โดยที่เครื่องรับจะทำการสร้างสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมจากตัวกำเนิดรหัส เพื่อใช้ในการนำเอาสัญญาณข้อมูลกลับคืนมาจากสัญญาณที่ได้รับได้

โดยกระบวนการนี้จะเรียกว่ากระบวนการคีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่ (despread) ซึ่งที่เครื่องรับจะต้องทราบรหัสสัญญาณแผ่ที่ใช้ที่ภาคส่งของระบบการสื่อสารของสัญญาณที่ต้องการ และรหัสที่สร้างได้ที่เครื่องรับและเครื่องส่งจะต้องซิงโครไนซ์กัน โดยที่การซิงโครไนซ์จะต้องเริ่มตั้งแต่รับสัญญาณได้และจะต้องซิงโครไนซ์ตลอดจนกระทั่งได้รับสัญญาณทั้งหมด ซึ่งส่วนของการซิงโครไนซ์และการติดตามรหัส (Synchronize / tracking code) จะทำหน้าที่ดังกล่าว และหลังจากผ่านกระบวนการคีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่ (despread) และคีมอดูเลตแล้วจะได้สัญญาณเดิมกลับคืน



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับระบบ DS [19]

2.5.2.1 คุณสมบัติของระบบ DS

1) การเข้าถึงหลายทาง

เมื่อผู้ใช้งานหลายคนใช้งานช่องสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกัน สัญญาณ DS จะเกิดการซ้อนทับกันในทางเวลาและความถี่ ดังนั้นที่เครื่องรับจะทำการคีมอดูเลตสเปกตรัมแผ่เพื่อนำเอาสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมออก ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการรวมกำลังงานของสัญญาณที่ต้องการในช่วงแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล และถ้าค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่ต้องการกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่ไม่ต้องการมีค่าน้อยแล้ว การตรวจจับแบบร่วมนัย (Coherent detection) จะทำให้กำลังของสัญญาณแทรกสอดมีค่าน้อยในช่วงของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูล

2) การแทรกสอดแบบแถบแคบ

การตรวจวัดแบบร่วมนัยที่เครื่องรับจะรวมถึงการคูณสัญญาณที่รับได้ด้วยสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่สร้างที่ภาครับของระบบการสื่อสาร อย่างไรก็ตามที่ภาคส่งของระบบการสื่อสารเมื่อนำสัญญาณข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์น้อยมากคูณกับสัญญาณรหัสแผ่สเปกตรัมที่มีแบนด์วิดท์กว้างมาก ทำให้สัญญาณข้อมูลที่ได้มีแบนด์วิดท์เท่ากับสัญญาณที่นำมาคูณ ซึ่งส่งผลทำให้กำลังงานของสัญญาณในแบนด์วิดท์มีขนาดลดลงโดยตัวประกอบที่มีค่าเท่ากับอัตราขยายการประมวลผล

จากคุณสมบัติดังกล่าว สามารถสรุปถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ DS ได้ดังนี้

ข้อดีของระบบ DS

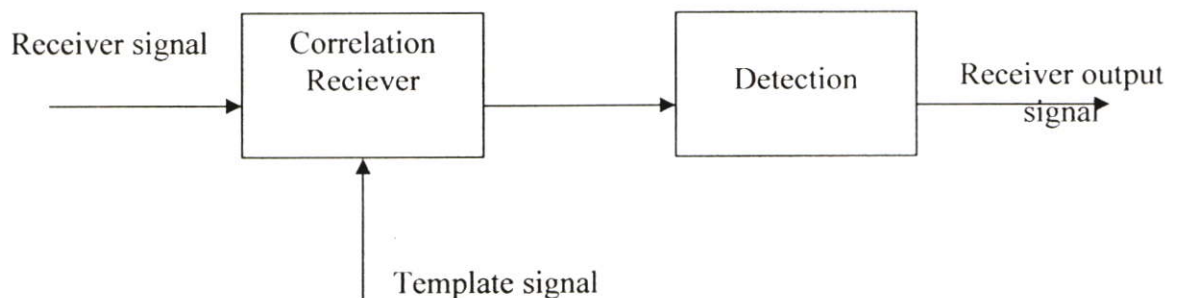
- 1) ในการสร้างสัญญาณรหัสนั้นสามารถทำได้ง่าย
- 2) สามารถนำไปใช้กับการคิโมคูลตแบบร่วมนัยได้
- 3) การชิงโครโนซรัระหว่างผู้ใช้ไม่มีความจำเป็น

ข้อเสียของระบบ DS

- 1) การได้มา และการรักษาสภาพการชิงโครโนซรัระหว่างสัญญาณที่รับได้และสัญญาณรหัสนั้นทำได้ยากเนื่องมาจากคาบเวลาของสัญญาณรหัสนั้นมีขนาดเล็กมาก
- 2) กำลังสัญญาณที่รับได้ จากผู้ใช้ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน (base station) จะมีค่ามากกว่ากำลังของสัญญาณที่อยู่ไกลกว่าทำให้ผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะสร้างสัญญาณแทรกสอดให้กับสัญญาณของผู้ใช้งานที่อยู่ไกลออกไปทำให้รับสัญญาณได้ยากขึ้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจะเรียกว่าเกิดผลกระทบของความใกล้-ไกล (Near-far effect) ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีการควบคุมกำลังงาน เพื่อให้ทุกสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานมีขนาดของกำลังงานที่เท่ากัน

2.6 เครื่องรับในระบบการสื่อสาร UWB

เครื่องรับสัญญาณในระบบการสื่อสาร UWB นั้นโดยปกติแล้วจะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ซึ่งหลักการของเครื่องรับประเภทนี้จะนำเอาสัญญาณข่าวสารที่ส่งผ่านช่องสัญญาณมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณคั่นแบบ (Template signal) เพื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทั้ง 2 โดยที่บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสาร UWB จะแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสัญญาณในระบบการสื่อสาร UWB นั้น จะใช้สัญญาณพัลส์มากกว่า 1 รูปคลื่นสัญญาณ ดังนั้นที่ภาครับของระบบจะต้องใช้จำนวนของสัญญาณพัลส์ที่เท่ากันในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่ได้รับได้เป็นบิต 1 หรือบิต 0 ที่ภาคตรวจจับสัญญาณ (Detection)



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับในระบบการสื่อสาร UWB

2.7 สรุป

ระบบการสื่อสารแบบ UWB เป็นระบบการสื่อสารที่ได้รับความนิยมที่จะใช้ในระบบการสื่อสารที่ต้องการอัตรารับส่งข้อมูลที่สูง เนื่องจากระบบการสื่อสารประเภทนี้ใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลที่มีขนาดที่กว้างมาก โดยระบบการสื่อสารประเภทนี้จะไม่มีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณพาห้ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เครื่องส่งกำลังสูง ซึ่งส่งผลทำให้เครื่องส่งและเครื่องรับในระบบการสื่อสารนี้ใช้ต้นทุนที่ต่ำ สัญญาณที่ใช้ในการส่งในระบบการสื่อสารประเภทนี้จะใช้สัญญาณพัลส์ที่มีคาบสัญญาณที่สั้นมากในการส่งข้อมูล โดยที่การส่งข้อมูลเข้าสู่ช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารที่มีผู้ใช้บริการหลายคนนั้น โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ วิธีก้าวกระโดดทางเวลาและการจัดลำดับโดยตรง ในส่วนของการมอดูเลตสัญญาณในระบบการสื่อสารนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ การมอดูเลตทางขนาด การมอดูเลตตามตำแหน่ง และการมอดูเลตแบบไบนารีเฟส และในส่วนของเครื่องรับในระบบการสื่อสารประเภทนี้โดยส่วนใหญ่แล้ว จะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ซึ่งโดยหลักการของเครื่องรับประเภทนี้จะทำการหาค่าความสัมพันธ์ของสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณค้นแบบ เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่รับได้เป็นบิต 1 หรือ บิต 0 ตามลำดับ จากการที่ระบบการสื่อสารนี้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง ดังนั้นระบบการสื่อสารประเภทนี้จึงถูกนำเสนอให้ใช้ในระบบเครือข่ายส่วนบุคคลไร้สาย ระบบเครือข่ายเฉพาะที่แบบไร้สาย และระบบการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย เป็นต้น

บทที่ 3

สัญญาณแทรกสอดแถบแคบ และเทคนิคในการลดการแทรกสอด ของสัญญาณแถบแคบ

3.1 บทนำ

เนื่องจากสัญญาณระบบ UWB มีแถบความถี่ที่ใช้งานอยู่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz นอกเหนือจากระบบ UWB ที่ใช้งานในช่วงแถบความถี่นี้แล้ว ยังมีการใช้งานในช่วงแถบความถี่ 5 GHz ถึง 6 GHz ของระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a อีกด้วย และเนื่องด้วยข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดให้อุปกรณ์ UWB มีระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบ UWB ไว้ไม่เกิน -41.3 dBm/MHz เพื่อให้ระบบ UWB สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ของมาตรฐานอื่นๆ ที่อยู่ในช่วงความถี่ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ได้โดยปราศจากการรบกวนซึ่งกันและกัน แต่เป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งหากพิจารณานาอุปกรณ์ของระบบ UWB และอุปกรณ์ของระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a มาใช้งานร่วมกันในระยะทางใกล้กันมากๆ แล้ว อาจเกิดการแทรกสอดระหว่าง 2 อุปกรณ์ โดยสามารถพิจารณาผลกระทบการแทรกสอดได้เป็น 2 กรณี คือ ผลกระทบของ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a ที่ถูกแทรกสอดจากระบบ UWB และในทางกลับกันผลกระทบของ UWB ที่ถูกแทรกสอดจากระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้พิจารณาในส่วนของผลกระทบของ UWB ที่ถูกแทรกสอดจากระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a โดยเปรียบเทียบให้สัญญาณแทรกสอดที่ส่งจากระบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a เป็นสัญญาณ NBI ที่เข้ามาแทรกสอดบนระบบ UWB ดังนั้นในบทนี้ได้กล่าวถึง สัญญาณ NBI นอกจากนั้นยังได้นำเสนอวิธีการลดการแทรกสอดของ NBI โดยใช้เทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ

3.2 สัญญาณ NBI

สัญญาณ NBI นั้นคือสัญญาณที่มีการใช้งานในช่วงแถบความถี่แคบๆ และเข้าไปรบกวนระบบสื่อสารที่มีการใช้งานในระบบ UWB ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้พิจารณาสัญญาณส่งของอุปกรณ์ระบบ WLAN โดยอุปกรณ์ของระบบ WLAN ที่ใช้งานกันส่วนใหญ่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามมาตรฐาน IEEE802.11 สาเหตุที่ตามมาตรฐานนี้ถูกใช้กันมากแล้วกลายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมาก เนื่องจากการใช้คลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งสูงพอที่จะทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดี สามารถใช้งานภายในอาคารได้ 100 เมตรและภายนอกอาคารได้ถึง 400 เมตร (เป็นระยะตามมาตรฐานแต่การใช้

งานจริงจะน้อยกว่านี้) และมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงถึง 11-54 Mbps ซึ่งเร็วพอที่จะนำมาใช้แทนระบบเครือข่ายแลน (LAN) ตัวเดิมได้ โดยระบบ WLAN นี้มีมาตรฐานด้วยกัน 3 มาตรฐาน คือ IEEE802.11a, IEEE802.11b และ IEEE802.11g โดยแต่ละตามมาตรฐานมีวิธีการมอดูเลตสัญญาณต่างกัน และใช้ความถี่ต่างกัน จึงมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันด้วย ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอกล่าวถึงเฉพาะตามมาตรฐาน IEEE802.11a ดังนี้

3.2.1 มาตรฐาน IEEE802.11a

ตามมาตรฐาน IEEE802.11a มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่าตามมาตรฐาน IEEE802.11b ประมาณ 5 เท่า ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า WiFi ซึ่งอัตราการส่งข้อมูลของอุปกรณ์เริ่มตั้งแต่ 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 และ 54 Mbps โดยมีความถี่คลื่นวิทยุอยู่ที่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว มีความกว้างของความถี่ทั้งหมด 300 MHz โดยแบ่งเป็น 3 ระดับ ระดับละ 100 MHz ที่ความถี่ 5.15-5.25 GHz, 5.25-5.35 GHz และ 5.725-5.825 GHz กำลังส่ง 50 mW, 250 mW และ 1,000 mW ตามลำดับ โดยกำลังส่งที่สูงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณของระบบเครือข่ายไร้สายและช่วงความถี่ 5.8 GHz ทำให้สามารถส่งสัญญาณติดต่อกันระหว่างอาคารหนึ่งกับอีกอาคารหนึ่งได้ ส่วนการใช้งานภายในอาคารนั้นใช้งานในย่านความถี่ระดับปานกลางและต่ำ โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านแบบ OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplex) [9]

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของระบบ WLAN ตามมาตรฐานต่างๆ

คุณสมบัติ	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11g
ประกาศรับรองตามมาตรฐาน	กรกฎาคม ค.ศ. 1999	กรกฎาคม ค.ศ. 1999	มิถุนายน ค.ศ. 2003
ความเร็วสื่อสารข้อมูลสูงสุด	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
กลไกการส่งสัญญาณ	DSSS	OFDM	DSSS และ OFDM
ความเร็วสื่อสาร	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	DSSS: 1, 2, 5.5, 11 Mbps OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

คุณสมบัติ	IEEE802.11b	IEEE802.11a	IEEE802.11g
ช่วงความถี่ที่ใช้งาน	2.4- 2.4835 GHz	5.15-5.35 GHz 5.425-5.675 GHz 5.725-5.875 GHz	2.4-2.4835 GHz
การมอดูเลตสัญญาณ	DBPSK: 1 Mbps DQPSK: 2 Mbps CCK: 5.5, 11 Mbps	BPSK: 6, 9 Mbps QPSK: 12, 18 Mbps 16-QAM: 24, 36 Mbps 64-QAM: 48, 54 Mbps	BPSK: 1 Mbps QPSK: 2 Mbps OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps

ตารางที่ 3.2 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE802.11a

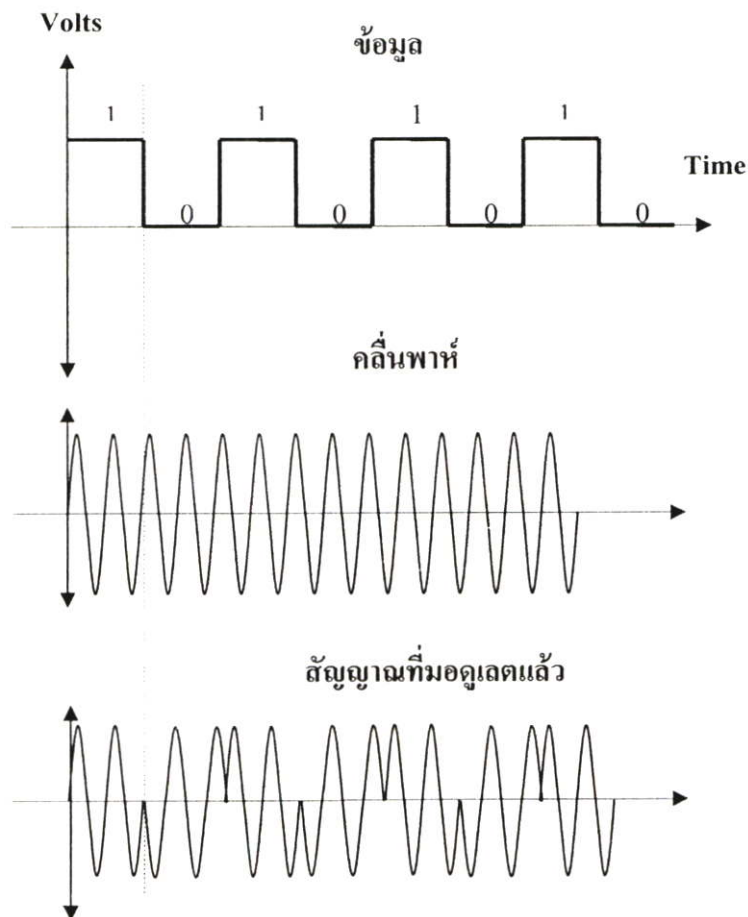
Data Rate (Mbps)	Modulation	Code bits per subcarrier	Code bits per OFDM symbol	Data bits per OFDM symbol
6	BPSK	1	48	24
9	BPSK	1	48	36
12	QPSK	2	96	48
18	QPSK	2	96	72
24	16-QAM	4	192	96
36	16-QAM	4	192	144
48	16-QAM	6	288	192
54	16-QAM	6	288	216

3.2.2 การมอดูเลตของสัญญาณ IEEE802.11a

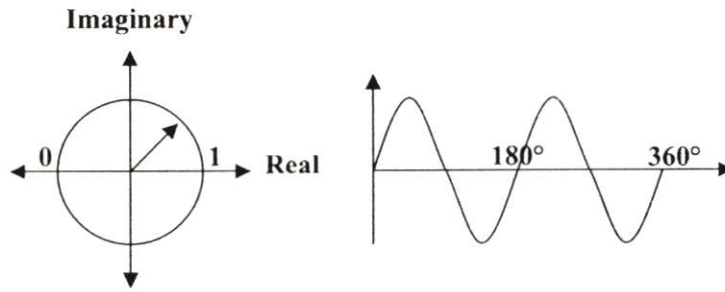
วิธีการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลของตามมาตรฐาน IEEE802.11a ได้กำหนดให้ใช้ยู่สองแบบ คือ การมอดูเลตแบบเฟสชิฟท์คีย์อิง (Phase shift keying modulation หรือ PSK) และการมอดูเลตแบบควอดราเจอร์ทางขนาด (Quadrature amplitude modulation หรือ QAM) โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดคุณลักษณะของการมอดูเลตทั้งสองแบบ พอสังเขปดังนี้

PSK เป็นวิธีมอดูเลตที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งระดับสัญญาณและความถี่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณ ซึ่งสัญญาณอะนาลอกทั่วไปจะมีรอบของเฟส 360 องศา นำสัญญาณนี้มาแบ่งเป็นเฟสต่างๆ เพื่อที่ใช้ในการส่งสัญญาณได้ การมอดูเลตแบบนี้เป็นต้นแบบ

ของการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลในรูปแบบต่างๆ อีกมากมาย เพราะวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้ความกว้างแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง วิธีการมอดูเลตแบบ PSK เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด โดยมีการแบ่งสัญญาณออกเป็น 0 (360) องศา และ 180 องศา เมื่อต้องการส่งบิต “1” ก็จะส่งสัญญาณที่มีเฟส 0 องศา หรือเมื่อต้องการส่งบิต “0” ก็จะส่งสัญญาณที่มีเฟส 180 องศา เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจจึงมีการนำเอาจำนวนเชิงซ้อน (Complex) มาใช้อธิบาย โดยการกำหนดจุดบนระนาบเชิงซ้อนเพื่อแทนค่าบิตข้อมูลต่างๆ ดังแสดงในภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบรูปร่างสัญญาณการมอดูเลตแบบ PSK



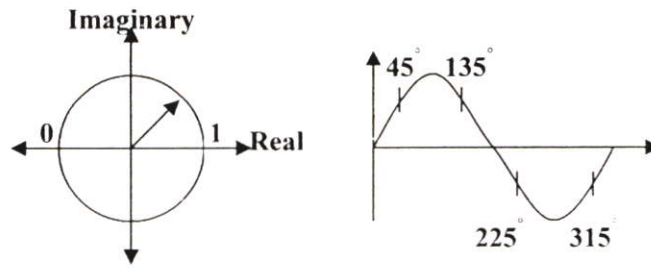
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและรูปร่างสัญญาณของการมอดูเลตแบบPSK

จากรูปที่ 3.2 การส่งสัญญาณเพียง 1 บิต ซึ่งแทนบิต “1” ด้วยเฟสที่ 0 องศา และบิต “0” ด้วยเฟสที่ 180° ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าหากสัญญาณอินพุตเปลี่ยนจากบิต “1” ไปเป็นบิต “0” นั้นจะมีการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณไป 180 องศาในทันที โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งระดับสัญญาณและความถี่

ถ้าแบ่งสัญญาณออกเป็น 4 เฟส นั้นหมายความว่าสามารถส่งข้อมูลดิจิทัลได้เป็น 2 เท่าในครั้งเดียวกัน ซึ่งก็คือสามารถส่งสัญญาณได้ครั้งละ 2 บิตด้วยกัน ($2^2 = 4$) โดยทั่วไป เราจะแทนค่าบิต “00” ด้วยเฟส 225 องศา ค่า 01 ด้วยเฟส 135 องศา บิต “10” ด้วยเฟส 315 องศา และบิต “11” ด้วยเฟส 45 องศา ดังแสดงในตารางด้านล่าง

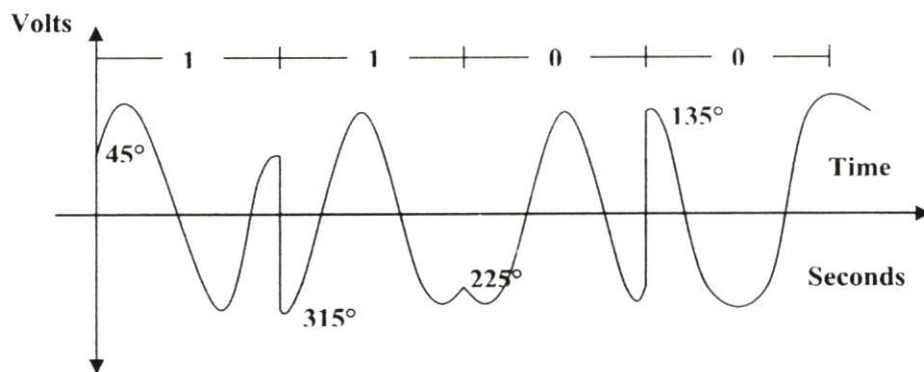
ตารางที่ 3.3 การแทนค่าบิตข้อมูลจำนวน 2 บิตกับเฟสของสัญญาณค่าต่างๆ

ข้อมูลที่ต้องการ ส่งครั้งละ 2 บิต	เฟสของสัญญาณ (องศา)
00	225°
01	135°
10	315°
11	45°



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งบนระนาบเชิงซ้อนและการแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสต่างๆ ในวิธีการมอดูเลตแบบ PSK ที่มีการส่งครั้งละ 2 บิต

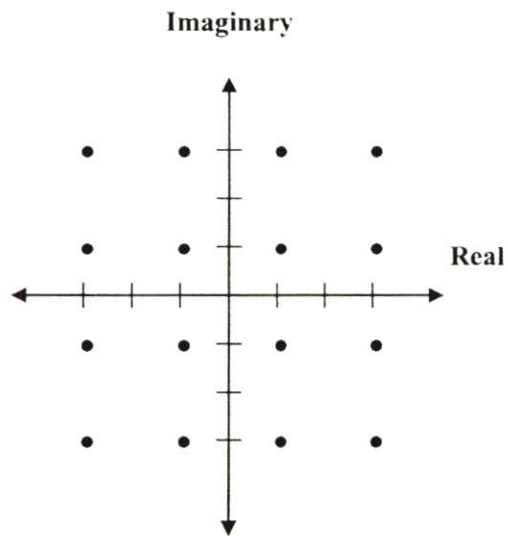
การแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสย่อยๆ ช่วยให้ส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายบิตโดยไม่ทำให้ความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลง นั่นหมายถึงการใช้ความกว้างแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.4 รูปร่างสัญญาณสำหรับวิธีการมอดูเลตแบบ PSK เมื่อส่งข้อมูลดิจิทัลครั้งละ 2 บิต (4PSK)

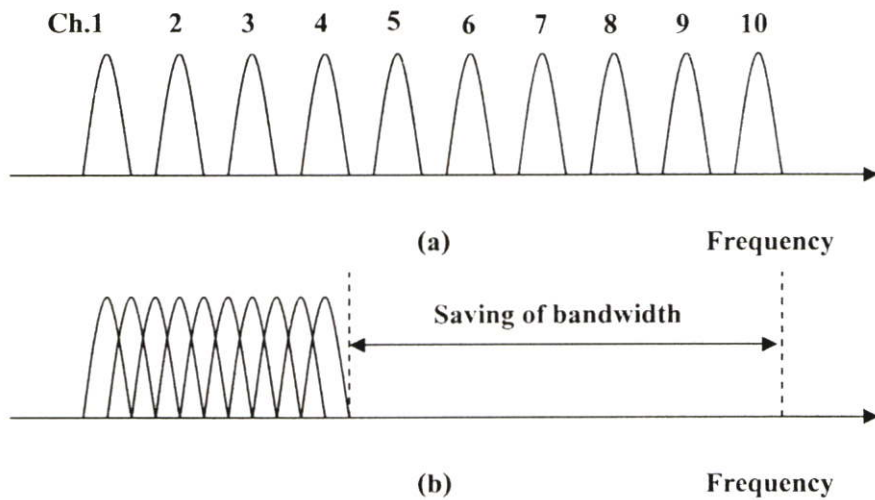
QAM เป็นวิธีการมอดูเลตสัญญาณแบบดิจิทัลที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวน การมอดูเลตแบบนี้จะมีการแบ่งสัญญาณออกเป็นรูปแบบต่างๆ ในระนาบเชิงซ้อน โดยกำหนดขนาดของสัญญาณและเฟส เพื่อแทนค่ากลุ่มบิตข้อมูล ส่วนความละเอียดของการแบ่งขึ้นอยู่กับความต้องการส่งกลุ่มของบิตข้อมูล ครั้งละกี่บิต แบ่งตามจำนวนเลขฐาน 2 ยกกำลังคือ 16, 32, 64, 128 และ 256 ค่า ซึ่งเทคนิคนี้พัฒนามาเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในระบบสื่อสารทำให้เครื่องรับไม่สามารถแยกแยะระหว่างข้อมูลและสัญญาณรบกวน วิธีนี้จะกำหนดแต่ละจุดสัญญาณเพื่อแทนค่าดิจิทัลโดยมีระยะห่างเท่ากัน ทำให้ง่ายต่อการจำแนก วิธีนี้ช่วยให้ส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายบิตเช่นกัน ตัวอย่างเช่น วิธี

16 QAM เป็นวิธีที่แบ่งสัญญาณออกเป็น 16 ลักษณะ ซึ่งแทนค่าดิจิทัลได้ 16 ค่า นั่นหมายความว่าสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละ 4 บิต ($2^4 = 16$)



รูปที่ 3.5 การแบ่งสัญญาณออกเป็นเฟสและระดับต่างๆ ในระนาบเชิงซ้อนด้วยวิธีการมอดูเลตแบบ 16 QAM (4 Bits)

ตามมาตรฐาน IEEE802.11a กำหนดให้ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ OFDM โดยเป็นเทคนิคพิเศษของการส่งผ่านแบบหลายคลื่นพาห์ (multicarrier) ซึ่งสเปกตรัมที่ใช้งานทั้งหมด ถูกแยกและส่งผ่านออกไปตามจำนวนของคลื่นพาห์ย่อย โดยที่คลื่นพาห์ย่อยแต่ละชุดนั้นจะถูกมอดูเลตด้วยอัตราการส่งข้อมูลความเร็วต่ำและมีการใช้งานแบนด์วิดท์ที่แคบ ซึ่งเหตุผลที่สำคัญที่นิยมนำการส่งผ่านแบบ OFDM มาใช้งานเพราะมีการใช้งานสเปกตรัมอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยการส่งผ่านแบบนี้จะมีความแตกต่างกับระบบที่มีการส่งผ่านแบบคลื่นพาห์เดียวนั้นคือ เมื่อเกิดการจางหายของสัญญาณหรือมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในระบบอาจจะส่งผลทำให้ระบบเชื่อมโยงทั้งหมดสูญเสียไปได้ แต่ถ้าเป็นกรณีของการส่งผ่านแบบหลายคลื่นพาห์นั้นอาจจะส่งผลกระทบเพียงแก่คลื่นพาห์ย่อยที่เกิดการรบกวนขึ้นเท่านั้นและไม่ทำให้ระบบทั้งหมดสูญเสียไป ในส่วนความคิดของการส่งผ่านข้อมูลแบบขนาน (parallels) และแบบ OFDM ได้เกิดขึ้นในกลางปี ค.ศ. 1960 และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาจนถึงทุกวันนี้

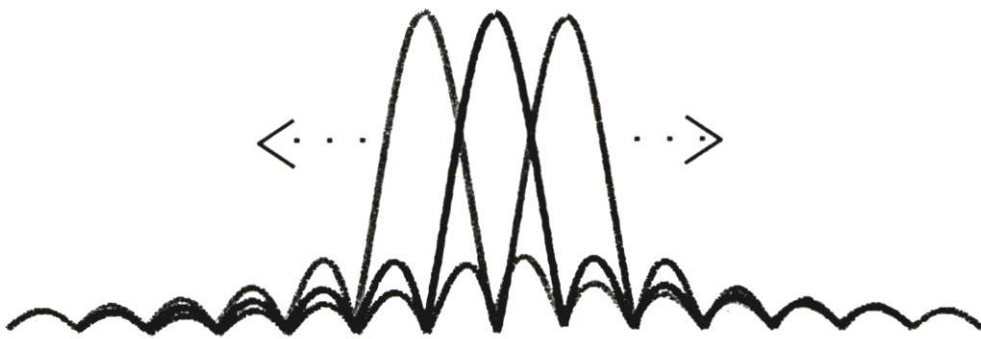


รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ในการใช้งานของ (a) FDM (b) OFDM

ในระบบทั่วไปของการส่งข้อมูลแบบขนาน โดยวิธี Frequency Multiplexing (FDM) แถบความถี่ของสัญญาณทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นช่องสัญญาณย่อยตามความถี่ซึ่งไม่มีการเหลื่อมล้ำกัน โดยแต่ละช่องสัญญาณย่อยจะถูกมอดูเลตด้วยคุณลักษณะและสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันซึ่งเหมือนเป็นการหลีกเลี่ยงการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณความถี่ใกล้เคียงเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดระหว่างช่องสัญญาณข้างเคียงได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้นำไปสู่การใช้งานแถบความถี่ใกล้เคียงสามารถที่จะเหลื่อมล้ำกันและไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างในการใช้งานแบนด์วิดท์ระหว่างการส่งผ่านแบบหลายคลื่นพาห์แบบเดิมที่ไม่มีการเหลื่อมล้ำกันและแบบที่มีการเหลื่อมล้ำกันได้ จากรูปจะเห็นว่าสามารถลดแบนด์วิดท์ได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถใช้งานแถบสเปกตรัมได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงขอกกล่าวถึงรายละเอียดคุณลักษณะ รูปแบบ หลักการกำเนิด และระบบของการส่งผ่านแบบ OFDM พอสังเขปดังนี้

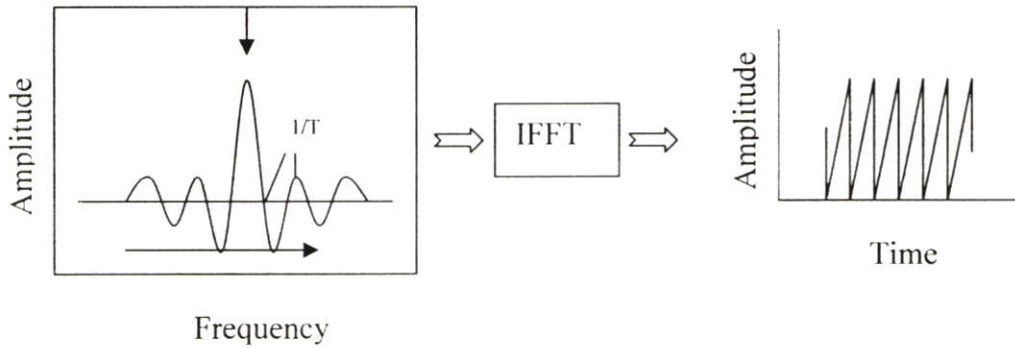
หลักการพื้นฐาน OFDM คือ การแบ่งแยกชุดข้อมูลความเร็วสูงให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูลความเร็วต่ำ ซึ่งจะส่งผ่านสัญญาณข้อมูลพร้อมๆ กันตามจำนวนของคลื่นพาห์ย่อย โดยจำนวนของคลื่นพาห์ย่อยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับกระจายตามความถี่ในรูปของเวลาซึ่งเป็นเหตุทำให้การประวิงเวลาแบบหลายวิธีมีค่าลดลง เพราะช่วงเวลาที่สัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับคลื่นพาห์ย่อยที่ส่งแบบขนานนั่นเอง ในส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์นั้นได้ถูกกำจัด โดยการนำช่วงเวลากุม (guard time) มาใช้งานในทุกๆ ช่วงเวลาที่สัญญาณ OFDM ซึ่งในช่วงเวลากุมนี้มีการนำส่วนขยายแบบวน (cyclic extension) มาใช้ในการกำจัดการแทรกสอดที่เกิดขึ้นระหว่างความถี่

โดยคุณสมบัติการตั้งฉากซึ่งกันและกันของแต่ละคลื่นพหุข้อย กล่าวคือที่ค่าสูงสุดของแต่ละคลื่นพหุข้อย สเปกตรัมของคลื่นพหุข้อยอื่นๆ จะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ ซึ่งผลลัพธ์นี้จะทำให้ไม่เกิดการรบกวนซึ่งกันและกันของคลื่นพหุข้อยที่อยู่ติดกันนั่นเอง ฉะนั้นจึงยอมรับให้มีการเหลื่อมล้ำกัน และในการคีมอดูเลตสัญญาณในแต่ละคลื่นพหุข้อยนั้นเครื่องรับจะเลือกค่าสเปกตรัมที่จุดเหล่านั้น ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของแต่ละคลื่นพหุข้อยซึ่งปราศจากสัญญาณรบกวนจากคลื่นพหุข้อยอื่นๆ และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนี้เองทำให้เกิดเทคนิคการส่งผ่านสัญญาณแบบ OFDM ขึ้นมา การสร้างสัญญาณ OFDM ให้เป็นผลสำเร็จได้นั้นจะต้องมีการระมัดระวังควบคุม และดูแลรักษาคุณสมบัติความตั้งฉากซึ่งกันและกันของแต่ละคลื่นพหุข้อยไว้ให้ได้เสมอ มิฉะนั้นอาจส่งผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างคลื่นพหุข้อยที่อยู่ติดกันและส่งผลกระทบต่อระบบการสื่อสารได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำวิธีการแปลงฟูรีเยร์ผกผันแบบเร็ว (Inverse Fast Fourier Transform หรือ IFFT) และการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform หรือ FFT) มาประยุกต์ใช้งานทางด้านเครื่องส่งและเครื่องรับตามลำดับ เนื่องจากรูปแบบสัญญาณเบสแบนด์เชิงซ้อนของสัญญาณ OFDM คือการแปลงสัญลักษณ์อินพุต QAM จากสเปกตรัมความถี่ให้อยู่ในรูปของโดเมนเวลาเช่นเดียวกับวิธีการของ IFFT นั่นเอง โดยวิธีการนี้จะช่วยลดขั้นตอนความยุ่งยากและซับซ้อนในการประมวลผลนั่นเอง



รูปที่ 3.7 สเปกตรัมของแต่ละคลื่นพหุข้อย

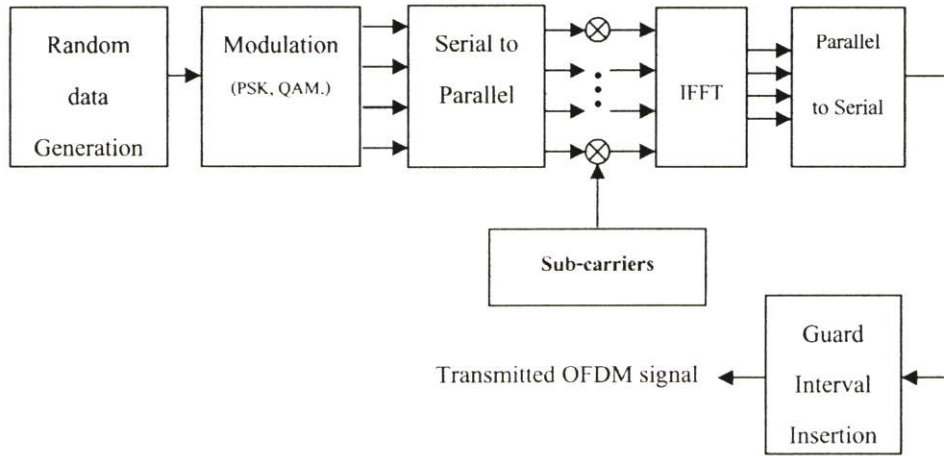
การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว (FFT) เป็นเทคนิคหนึ่งทางคณิตศาสตร์สำหรับเปลี่ยนรูปฟังก์ชันโดเมนเวลาให้กลายเป็นสเปกตรัมความถี่ เพราะฉะนั้นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา อาจถูกแสดงอยู่ในรูปผลรวมของรูปคลื่นไซน์และโคไซน์ซึ่งมีส่วนประกอบทั้งขนาดและเฟส นั่นคือพื้นฐานการเปลี่ยนรูปจากโดเมนเวลาให้กลายเป็นโดเมนความถี่ สำหรับ IFFT จะมีขั้นตอนที่ตรงกันข้ามคือเปลี่ยนรูปจากสเปกตรัมความถี่ให้กลายเป็นโดเมนเวลาซึ่งทำให้เกิดสัญลักษณ์ OFDM นั่นเอง



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงรูปจากสเปกตรัมความถี่มาเป็นสัญญาณ โดเมนเวลาโดยใช้ IFFT

สำหรับการกำจัดผลกระทบระหว่างสัญลักษณ์ที่สมบูรณ์แบบนั้น ได้มีการนำช่วงเวลาคูม (Guard time) มาใช้ในแต่ละสัญลักษณ์ OFDM โดยที่เวลาคูมจะถูกกำหนดให้มีค่ามากกว่าการแผ่กว้างของการประวิงเวลาหลายวิถี (Mutipath delay spread) จนกระทั่งส่วนประกอบในหลายวิถีจากสัญลักษณ์หนึ่งไม่สามารถไปรบกวนสัญลักษณ์ต่อไปได้ ในหัวข้อที่กล่าวมา เป็นการอธิบายถึงวิธีการสร้างสัญลักษณ์ OFDM ด้วยการใช้คุณลักษณะของ IFFT การเพิ่มช่วงเวลาคูมและการเพิ่มส่วนขยายแบบวน จากตัวอย่างในรูปที่ 3.7 จะเห็นว่ามี 3 คลื่นพาห่อย่อยในหนึ่งสัญลักษณ์ OFDM แต่ในความเป็นจริงที่เครื่องรับจะเห็นเฉพาะสเปกตรัมสัญญาณเดี่ยวซึ่งเป็นผลรวมของสัญญาณเหล่านั้น ดังนั้นถ้าผลรวมของสเปกตรัมสัญญาณดังกล่าวเกิดอยู่นอกเหนือแถบช่วงเวลา (Out-of-band) ที่ได้กำหนดไว้ อาจส่งผลทำให้เกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ข้างเคียงได้ เพราะฉะนั้นการรักษาแถบช่วงเวลาของแต่ละสเปกตรัมสัญญาณจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยปกติแถบสเปกตรัมจะมีการลดลงอย่างช้าๆ ตามฟังก์ชันไซน์ แต่สำหรับคลื่นพาห่อย่อยจำนวนมากๆ นั้นจะเกิดการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้น และทำให้พูข้าง (Sidelobes) มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน ในการทำสเปกตรัมให้มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วได้นั้น สามารถทำได้โดยการประยุกต์ใช้วินโดว์อิ่งเข้าไปในแต่ละสัญลักษณ์ OFDM ซึ่งทำให้ขนาดมีค่าลดลงเป็นศูนย์ที่บริเวณขอบของสัญลักษณ์ ส่วนชนิดของวินโดว์ที่นิยมนำมาใช้ คือวินโดว์แบบเรสโคไซน์

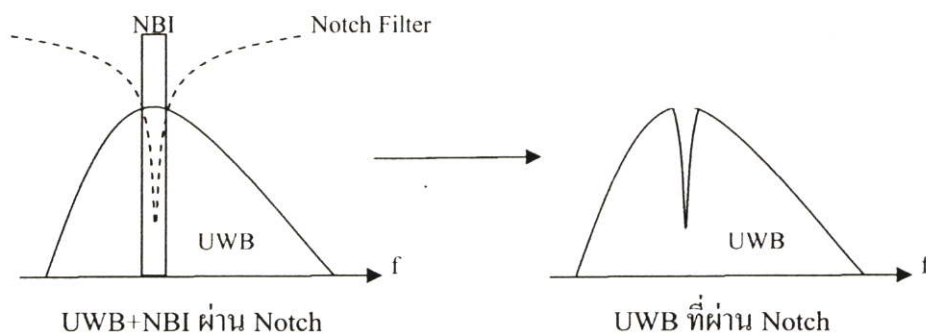
ระบบ OFDM ในส่วนนี้จะกล่าวถึงแค่ภาคส่งที่นำมาเป็นสัญญาณ NBI โดยสัญญาณอินพุตที่มีความเร็วสูงและมีแบนด์วิดท์กว้างจะถูกแบ่งออกตามจำนวนของชุดข้อมูล (data streams) ที่มีความเร็วต่ำและมีแบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบ โดยนำไปเข้ารหัส (coding) และทำการวางสลับ (interliving) รวมถึงการจัดวางรูปแบบการมอดูเลต (mapping) ในส่วนของ IFFT จะทำหน้าที่แปลงสเปกตรัมความถี่ให้อยู่ในรูปโดเมนเวลาพร้อมกับการเพิ่มเติมช่วงเวลาคูมและส่วนหน้าแบบวนเพื่อป้องกันการเกิด ISI และ ICI และจึงนำไปเข้ากับตัวแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอะนาลอก พร้อมกับการกรองความถี่เพื่อเลือกเฉพาะความถี่ที่ต้องการส่งออกไปเท่านั้น



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งระบบ OFDM

3.3 เทคนิคการลดผลกระทบที่เกิดจาก NBI

ปัญหาจากการแทรกสอดจาก NBI นั้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบ UWB ต่างๆ นั้นลดลง มีการศึกษาถึงการลดผลกระทบของการแทรกสอดนี้ในหลายงานวิจัย [10] - [12] โดยส่วนมากนิยมใช้ตัวกรองแบบนอตช์ในการขจัดผลกระทบจากการ NBI ออกไปโดยตรง โดยตัวกรองนอตช์นั้นจะมองสเปกตรัมของสัญญาณ NBI นั้นเป็นช่วงความถี่ที่ต้องการ และมองข้อมูลที่เหลือเป็นสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ฉะนั้นเอาต์พุตจากตัวกรองแบบนอตช์นั้นคือสิ่งที่ต้องการ โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการขจัดสัญญาณรบกวน โดยแสดงเป็นรูปที่เข้าใจง่ายด้านล่างนี้

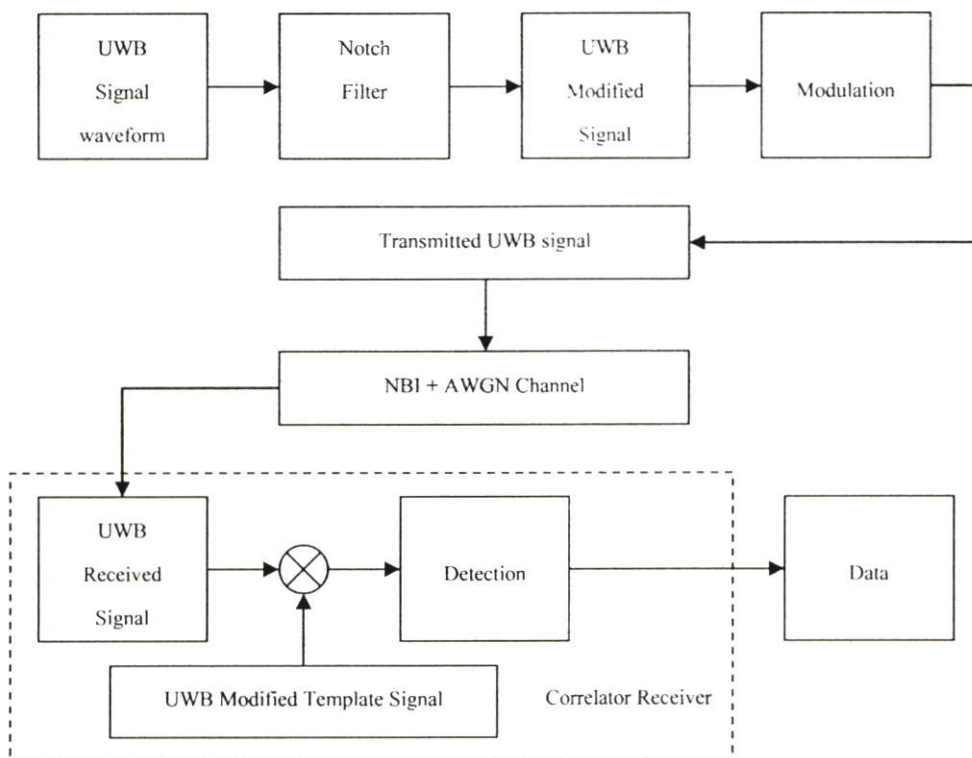


รูปที่ 3.10 ตัวกรองแบบนอตช์ในการขจัดสัญญาณ NBI

จากรูปที่ 3.10 สเปกตรัมด้านซ้ายคือสเปกตรัมของ UWB ที่มีการแทรกสอดจาก NBI แล้วการลดปัญหาผลของการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ทำได้โดยพิจารณาสเปกตรัมที่เกิดการแทรกสอดมาคูณกลับผลตอบสนองทางความถี่เพื่อขจัดสัญญาณ NBI โดยเมื่อผ่านการกรองออกมาแล้ว

สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.10 ขวา ซึ่งมีการสูญเสียรูปร่างของสัญญาณ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการตัดสินใจข้อมูลผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนไปของรูปสัญญาณ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบภาครับที่ไม่สามารถกู้สัญญาณเดิมกลับมาได้

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้แสดงแนวความคิดในทางกลับกัน โดยนำเสนอการลดผลการแทรกสอดที่จะเกิดขึ้นแทนการขจัดสัญญาณ NBI ซึ่งพิจารณาการเกิดขึ้นของสัญญาณ NBI ณ ช่วงความถี่ที่แทรกสอดกับสัญญาณ UWB นำตัวกรองแบบนอตช์นั้นทำการกรองเอาช่วงความถี่ที่จะเกิดการแทรกสอดนั้นออกไปจากสเปกตรัมของสัญญาณที่จะใช้ส่งระบบ UWB แล้วจึงนำสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วพิจารณาเป็นสัญญาณส่งของระบบ UWB ในช่องสัญญาณ NBI เมื่อสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วถูกแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรบกวนกันนั้น จะมีการหักล้างกันของสัญญาณในช่วงความถี่ที่ได้ทำการนอตช์ไว้แล้วกับสัญญาณ NBI เพื่อให้เกิดผลกระทบที่น้อยลง เมื่อผลกระทบจากการแทรกสอดน้อยลง ที่ภาครับควรมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นจึงเสนอแนวความคิดดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.11

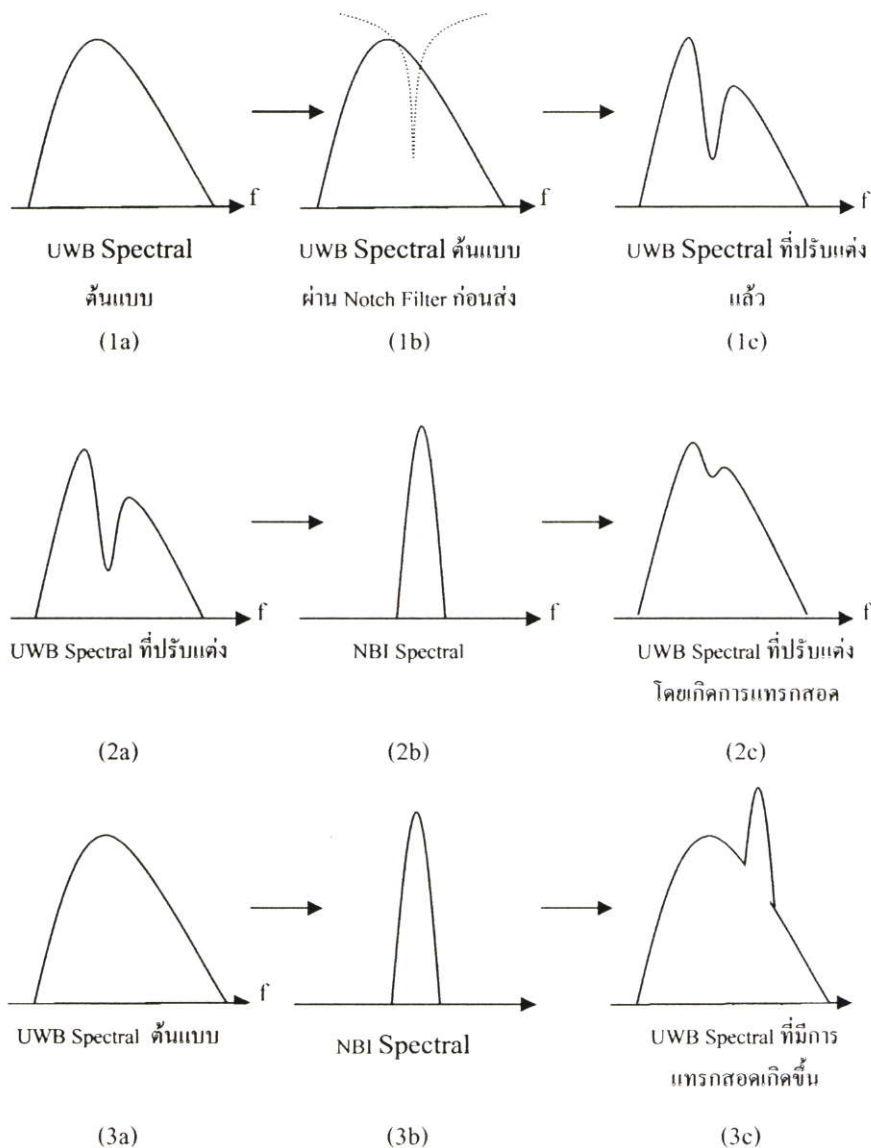


รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมการสื่อสารของระบบ UWB โดยใช้เทคนิคปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ

ในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.11 นำรูปแบบสัญญาณที่เลือกจะใช้ส่งผ่านมาทำการปรับแต่งโดยใช้ตัวกรองแบบนอตช์ในการปรับแต่ง จากนั้นรูปแบบสัญญาณที่ได้ปรับแต่งแล้วนำไปมอดูเลตแล้วส่งผ่านไปยังช่องสัญญาณที่มี NBI และ AWGN จากนั้นนำสัญญาณที่รับได้ส่งเข้าไปที่เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ โดยที่เครื่องรับนี้จะนำสัญญาณที่รับได้นำมาเปรียบเทียบกับ

สัญญาณต้นแบบ ในที่นี้สัญญาณต้นแบบนี้ นำสัญญาณที่ได้ปรับแต่งไว้ก่อนส่งผ่านแล้วมาเป็นสัญญาณต้นแบบ

ในรูปที่ 3.12 คือรูปแบบสเปกตรัมของสัญญาณ UWB เพื่อใช้แสดงเทคนิคการลดแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ให้เข้าใจง่ายขึ้น โดยรูปที่ 3.12 (1a)-(1c) คือการใช้เทคนิคการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI จากรูปที่ 3.12 (2a)-(2c) คือผลของสเปกตรัมสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วที่รวมกับสเปกตรัมของ NBI และในรูปที่ 3.12 (3a)-(3c) คือผลของสเปกตรัมสัญญาณ UWB ที่ไม่มีการปรับแต่ง



รูปที่ 3.12 รูปแบบสเปกตรัมของสัญญาณ UWB ที่เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสเปกตรัมของสัญญาณ UWB แบบเดิมกับสัญญาณ UWB ที่ปรับแต่งแล้ว

3.4 การประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบนอติช

จากเทคนิคการลดผลการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI นี้จำเป็นต้องประยุกต์ใช้งาน ตัวกรองแบบนอติชเข้ามาขจัดช่วงความถี่ใช้งานของ NBI โคนอ้างอิงตามมาตรฐานในช่วงความถี่ 5.725-5.825 GHz เป็นช่วงความถี่นี้มีค่ากำลังงานส่งสูงที่สุด นอกจากนั้นการออกแบบความกว้างของนอติช โดยการคำนึงถึงความกว้างของสเปกตรัมของตามมาตรฐาน WLAN IEEE802.11a ที่ใช้งานได้ ขนาดสูงสุดของสเปกตรัม-3dB ลงมาแล้วหาจากช่วงความถี่นั้น

ดังนั้นผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองแบบนอติชอธิบายได้โดย

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 0, & \omega_0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

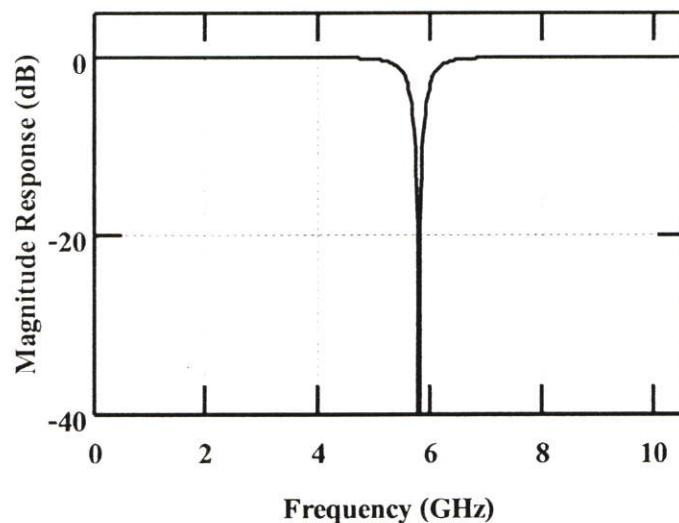
เมื่อ ω_0 คือความถี่จุดศูนย์กลางและ ฟังก์ชันการส่งผ่านของตัวกรองแบบนอติช แสดงได้ดังสมการที่ 3.2

$$H(z) = b_0 \frac{1 - 2\cos\omega_0 z^{-1} + z^{-2}}{1 - 2r\cos\omega_0 z^{-1} + r^2 z^{-2}} \quad (3.2)$$

เมื่อ b_0 คือ อัตราขยายของตัวกรองและเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

ω_0 คือ มุมของ Pole บนระนาบ Z หรือความถี่จุดศูนย์กลาง

r คือ ระยะห่างระหว่าง Pole กับจุด Origin



รูปที่ 3.13 ผลตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบ Notch

โดยที่ $\omega_0 = 5.8\text{GHz}$, $BW = 800\text{MHz}$

การแปลง z (z-Transform) ของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องสามารถนิยามอยู่ในรูปของอนุกรมอนันต์ (Power Series) ดังสมการที่ (3.3) เรียกสมการที่ (3.3) นี้ว่า การแปลง Z แบบตรง (Direct Z-Transform)

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (3.3)$$

เมื่อ z ตัวแปรเชิงซ้อน (Complex Variable)

$x(n)$ เป็นลำดับสัญญาณ (Sequence Signal)

การแปลง z ของสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.4) เรียกสมการ (3.4) นี้ว่าการแปลง z ด้านเดียว (One-Side Z-Transform)

$$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (3.4)$$

การแปลง z ของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องเขียนแทนได้อีกรูปแบบหนึ่ง ดังสมการที่ (3.4)

$$X(z) = Z\{x(n)\} \quad (3.5)$$

และจากสมการที่ (3.3) และ (3.4) จะเห็นได้ว่าผลการแปลง Z คือ อนุกรมอนันต์ ดังนั้นจะมีค่า Z ที่ทำให้ $X(z)$ หากคำตอบได้เรียนค่าแซดนี้ว่า ขอบเขตการลู่อู่เข้า (Region of Convergence) โดยค่า Z นี้จะมีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน

คุณสมบัติของการแปลง Z

คุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น (Linearity Property) ดังสมการที่ (3.6)

$$Z[ax_1(n) + bx_2(n)] = aX_1(z) + bX_2(z) \quad (3.6)$$

คุณสมบัติการเลื่อน (Shift Property)

กำหนดให้ $y(n) = x(n-m)$ โดย $m \geq 0$ การแปลง Z ของ $y(n) = Y(z)$ เขียนแทนได้ ดังสมการที่ (3.7) และ (3.8)

$$Y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n)z^{-n} \quad (3.7)$$

$$Y(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n-m)z^{-n} \quad (3.8)$$

พิจารณาสมการที่ (3.8) สามารถเขียนได้ใหม่ดังสมการที่ (3.9) – (3.12)

$$Y(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n-m)z^{-n} \quad (3.9)$$

$$Y(z) = z^{-m} [x(0) + x(1)z^{-1} + x(2)z^{-2} + \dots + x(n)z^{-n}] \quad (3.10)$$

$$Y(z) = z^{-m} \sum_{n=0}^{\infty} x(n)z^{-n} \quad (3.11)$$

$$Y(z) = z^{-m} X(z) \quad (3.12)$$

คุณสมบัติการประสาน (Convolution Property)

จากสมการผลการประสาน

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)x(n-k) \quad (3.13)$$

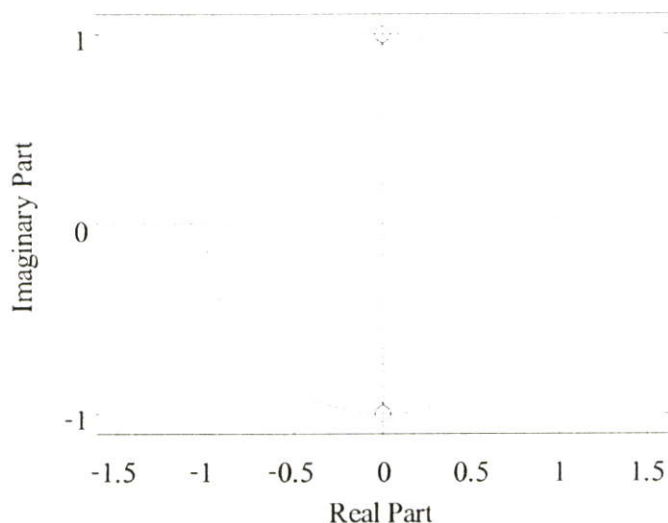
$$y(n) = h(n) \otimes x(n) \quad (3.14)$$

ทำการแปลง Z $x(n), h(n)$ ให้เป็น $X(z), H(z)$ จะได้การประสาน ดังสมการที่ (3.15)

$$Y(z) = H(z)X(z) \quad (3.15)$$

รูปเศษส่วนของการแปลง Z สัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง $x(n)$ หรือระบบแบบไม่ต่อเนื่อง $y(n)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูป $X(z)$ หรือ $Y(z)$ ได้ โดยการแปลง Z ค่า $X(z)$ หรือ $Y(z)$ นี้เมื่อจัดให้อยู่ในรูปเศษส่วน สามารถบอกรายละเอียดคุณลักษณะของสัญญาณและระบบได้ เช่น ทราบถึงตำแหน่งของโพลและซีโรบนวงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยในระนาบแซดโดยการนำค่า $X(z)$ หรือ

$Y(z)$ ไปแก้สมการหาค่า z และนำคำตอบของ z ไปเขียนลงในระนาบเชิงซ้อน (Complex Z-Plane) ค่า z เป็นคำตอบของเศษส่วนเรียกว่า ซีโร แทนด้วยสัญลักษณ์ O ค่า z ที่เป็นคำตอบของส่วน เรียกว่า โพล แทนด้วยสัญลักษณ์ X



รูปที่ 3.14 การแปลง Z จากคำตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองแบบนอตช์

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงสัญญาณ NBI ที่ใช้งานในตามมาตรฐาน WLAN IEEE802.11a ซึ่งใช้กลไกการส่งด้วยเทคนิค OFDM เป็นเทคนิคพิเศษของการมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห์ย่อยซึ่งยอมให้มีการเหลื่อมล้ำระหว่างคลื่นพาห์ย่อยที่อยู่ติดกันได้ โดยใช้คุณสมบัติของการตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้สามารถใช้งานแถบความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและการเพิ่มส่วนขยายเวลาคูมและส่วนหน้าแบบวน ส่งผลให้ระบบมีความทนทานต่อการประวิงแบบหลายวิถี ทำให้ไม่เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญลักษณ์และการแทรกสอดกันระหว่างคลื่นพาห์

นอกจากนั้นยังได้เสนอหลักการโดยใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ด้วยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ เพื่อที่จะใช้ในการจำลองระบบศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดนี้

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงสัญญาณ NBI ที่ใช้งานในตามมาตรฐาน WLAN IEEE802.11a ซึ่งใช้กลไกการส่งด้วยเทคนิค OFDM เป็นเทคนิคพิเศษของการมอดูเลตแบบหลายคลื่นพาห่อย่อยซึ่งยอมให้มีการเหลื่อมล้ำระหว่างคลื่นพาห่อย่อยที่อยู่ติดกันได้ โดยใช้คุณสมบัติของการตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้สามารถใช้งานแถบความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและการเพิ่มส่วนขยายเวลาคูมและส่วนหน้าแบบวน ส่งผลให้ระบบมีความทนทานต่อการประวิงแบบหลายวิถี ทำให้ไม่เกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณและการแทรกสอดกันระหว่างคลื่นพาห้

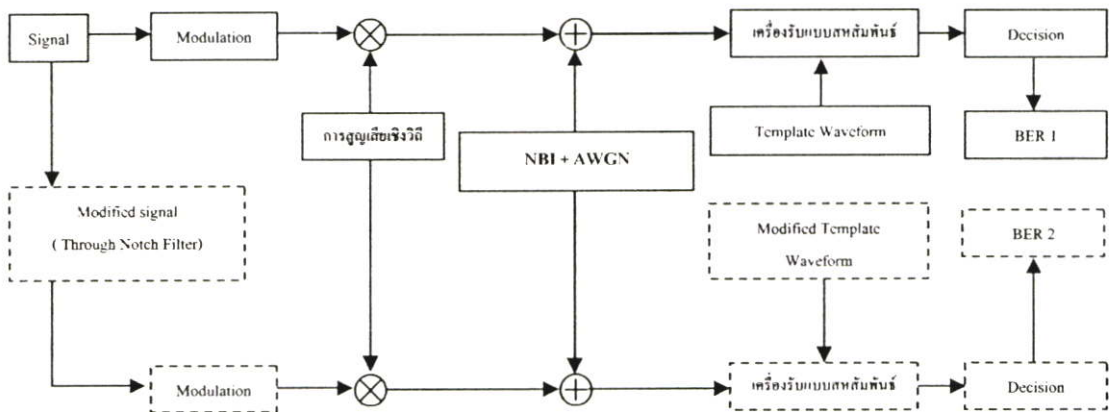
นอกจากนั้นยังได้เสนอหลักการ โดยใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ด้วยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ เพื่อที่จะใช้ในการจำลองระบบศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดนี้

บทที่ 4

การแทรกสอดของระบบการสื่อสารแถบแคบที่มีต่อระบบแถบกว้างยิ่งและเทคนิคการลดการแทรกสอด

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองสัญญาณ NBI เข้ามาแทรกสอดในระบบ UWB โดยใช้วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบก้าวกระโดดทางเวลา โดยพิจารณานำเอาเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลและการสูญเสียเชิงวิถี โดยสามารถแบ่งการศึกษาได้เป็น 3 ส่วน คือ ภาคส่ง ช่องสัญญาณและภาครับของระบบการสื่อสาร ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ UWB และการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดการแทรกสอด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของระบบ UWB และการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดการแทรกสอดที่ทำการศึกษา

4.2 รูปแบบจำลองสัญญาณภาคส่ง

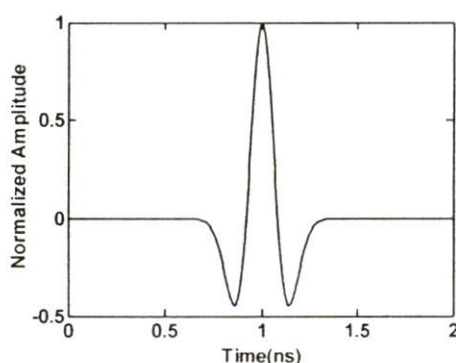
ลักษณะสัญญาณ UWB ที่ใช้ในระบบการสื่อสาร พิจารณาเลือกใช้สัญญาณแบบเกาเซียนพัลส์ แต่เมื่อพิจารณาด้านกายภาพตามการใช้งานจริงแล้ว สัญญาณใช้ในการสื่อสารจะต้องส่งผ่านสายอากาศด้านส่ง และสายอากาศด้านรับ ซึ่งสายอากาศมีคุณสมบัติเป็นฟิลเตอร์อยู่ นั่นเสมือนสัญญาณที่ผ่านสายอากาศส่งสัญญาณที่ผ่านสายอากาศด้านส่งจะเกิดการอนุพันธ์ 1 ครั้งขึ้นไป เมื่อสัญญาณมาถึงยังสายอากาศรับ สายอากาศด้านรับก็ทำการอนุพันธ์อันดับที่ 1 อีกครั้ง เป็นผลให้สัญญาณที่ผ่านสายอากาศทั้งสองนี้ เกิดการทำอนุพันธ์รวมทั้งหมด 2 ครั้ง ดังนั้นในการจำลองระบบการสื่อสารด้วยคอมพิวเตอร์นั้น พิจารณาให้มีความสำคัญที่สัญญาณภาครับเหมือนความเป็นจริงมากที่สุด จึงให้สัญญาณที่จะใช้พิจารณาเป็นแบบจำลองในการส่งสัญญาณ คือ

4.2.1 การเลือกสัญญาณที่ใช้ในการส่ง

สัญญาณในรูปแบบของเกาส์เซียนดับเบิ้ล โดยรูปคลื่นนี้เป็นอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของเกาส์เซียนพัลส์ มีลักษณะรูปร่างของสัญญาณในรูปที่ 4.2 และมีสมการดังนี้

$$p(t) = A\left(1 - \frac{2t^2}{\xi^2}\right)e^{-\left(\frac{t}{\xi}\right)^2} \quad (4.1)$$

เมื่อ A คือค่าแอมพลิจูดสูงสุดและ ξ คือ คุณลักษณะของการสูญเสียทางเวลา



รูปที่ 4.2 รูปแบบคลื่นเกาส์เซียนดับเบิ้ลพัลส์ที่ใช้เป็นสัญญาณส่ง

4.2.2 การเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตที่ใช้ในการส่ง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลต 2 แบบ คือ เทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM และแบบ BPM เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการมอดูเลตเมื่ออยู่ภายใต้อิทธิพลของสัญญาณ NBI

4.2.2.1 แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM

จากที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้แล้ว พารามิเตอร์ที่สำคัญในการมอดูเลตแบบ PPM คือ ความล่าช้าของสัญญาณพัลส์หรือการเลื่อนตำแหน่งพัลส์ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่มีการทำให้เกิดล่าช้าทางเวลา หรือเลื่อนตำแหน่งทางเวลา โดยสัญญาณพัลส์ที่มีการมอดูเลตแล้ว เป็นไปตามสมการที่ 4.2

$$s_i = p(t - \tau_i) \quad (4.2)$$

ข้อดีของเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM จากหลักการที่เรียบง่ายโดยการใช้การล่าช้าทางเวลาในการมอดูเลต และระบบการสื่อสารแบบ UWB มีการควบคุมเวลาที่ดี เนื่องจากความ

จำเป็นต้องทำการมอดูเลตสัญญาณพัลส์อย่างแม่นยำซึ่งเวลาในการมอดูเลตเพียงไม่กี่นาโนวินาทีเท่านั้น

4.2.2.2 แบบจำลองการมอดูเลตแบบ BPM

เทคนิคการมอดูเลตแบบ BPM เป็นหนึ่งในเทคนิคการมอดูเลตที่ขึ้นอยู่กับทางรูปร่างของสัญญาณ เทคนิคนี้ง่ายต่อการเข้าใจเพราะมีเปลี่ยนแปลงที่เฉพาะเจาะจงของรูปร่างสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.3

$$s_i = \alpha_k p(t) \quad (4.3)$$

โดยที่พารามิเตอร์ α_k เป็นค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงรูปร่างของสัญญาณ ซึ่งในระบบไบนารีรูปร่างของสัญญาณพัลส์กำหนดง่ายๆ ให้เป็นไปตาม $s_1 = p(t)$ และ $s_2 = -p(t)$

4.2.3 การเลือกใช้เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณ

เนื่องจากแบบจำลองการสื่อสารได้กำหนดให้ไม่มีการสูญเสียในการซิงโครไนซ์ จึงได้เลือกเทคนิคการเข้ารหัสแบบก้าวกระโดดทางเวลา เป็นการพิจารณากลุ่มของสัญญาณพัลส์ซึ่งมีการใช้เทคนิคมอดูเลตข้อมูลดิจิทัลให้เปลี่ยนเป็นรูปสัญญาณอะนาลอก ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของการเรียงลำดับของพัลส์ หรือที่เรียกว่า ลำดับพัลส์ (Pulse train) โดยลำดับสัญญาณพัลส์นี้สามารถให้อัตราการส่งข้อมูลได้ดีกว่ากลุ่มสัญญาณพัลส์ที่ไม่รับการเรียงลำดับโดยปกติแล้ว การเรียงลำดับสัญญาณพัลส์ที่ยังไม่ได้มีการมอดูเลตจะมีสมการเป็นไปดังสมการ

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT) \quad (4.4)$$

โดยที่ T คือคาบเวลาของสัญญาณพัลส์ และ $p(t)$ คือสัญญาณเกาเซียนดับเลตพัลส์ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของช่วงของสัญญาณพัลส์ และการเกิดสัญญาณพัลส์ซ้ำในแต่พัลส์ ถูกนำมาพิจารณามีผลลัพธ์ดังนี้

- มีการเพิ่มขึ้นของอัตราพัลส์ (Pulse rate) ในโดเมนเวลา จึงทำให้ขนาดของสัญญาณพัลส์เพิ่มขึ้นในโดเมนความถี่
- ยิ่งช่วงเวลาของสัญญาณพัลส์ในโดเมนทางเวลาน้อย ยิ่งทำให้ความกว้างของ UWB มากขึ้นในโดเมนทางความถี่

ในหัวข้อนี้ได้เริ่มต้นใช้เทคนิคในการส่งสำหรับระบบ UWB อย่างง่าย โดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสการก้าวกระโดดทางเวลา และเทคนิคการมอดูเลตแบบต่างๆ เข้ากับสัญญาณพัลส์ $p(t)$

เพื่อที่จะได้ส่งสัญญาณผ่านไปยังภาครับของระบบ ซึ่งเทคนิคการเข้ารหัสการก้าวกระโดดทางเวลานั้น เป็นเทคนิคการเข้ารหัสที่รองรับการใช้งานของผู้ใช้หลายคน (Multi-user) โดยลำดับสัญญาณพัลส์ (Pulse stream) ที่ยังไม่มีการมอดูเลตจะมีสมการเป็นดังนี้

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f) \quad (4.5)$$

สำหรับการมอดูเลตสัญญาณที่มีการเลื่อนตำแหน่งของสัญญาณพัลส์เล็กน้อย T_{p_n} โดยที่การเลื่อนตำแหน่งไปด้านหน้าคือ T_{p_0} และเลื่อนตำแหน่งไปด้านหลัง T_{p_1} เพื่อเป็นตัวบ่งบอกถึงข้อมูลบิต “0”, “1” โดยส่วนมากค่า $T_{p_0} = -T_{p_1}$

เมื่อทำการมอดูเลต $s(t)$ จากสมการที่ 4.4 จะได้ลำดับสัญญาณพัลส์ใหม่เป็นไปตามสมการที่ 4.6

$$s_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{p_n}) \quad (4.6)$$

และสำหรับมอดูเลตสัญญาณแบบ BPM นั้นก็เป็นไปตามสมการที่ 4.7

$$s_{BPM}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f) \quad (4.7)$$

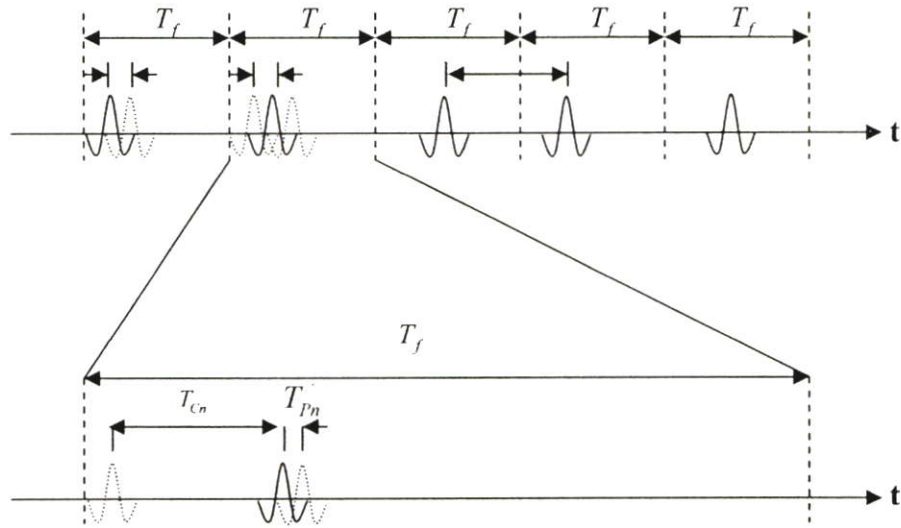
พารามิเตอร์ตัวต่อไป กล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้วิธีที่แบ่งแยกความแตกต่างกันในแต่ผู้ใช้จึงมีการเพิ่มการเลื่อนเวลาเข้าไปโดยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของการก้าวกระโดดทางเวลา T_{C_n} ซึ่งรหัสตัวนี้จะทำการทวนซ้ำอยู่ภายใต้ช่วงเวลาที่แน่นอน ดังนั้นผลลัพธ์ตัวสุดท้ายของการใช้เทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา และเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM จะเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$s_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{p_n} - T_{C_n}) \quad (4.8)$$

และเทคนิคมอดูเลตแบบ BPM

$$s_{BPM}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{C_n}) \quad (4.9)$$

ในรูปที่ 4.3 ได้แสดงให้เห็นถึงผลเอาต์พุตของเครื่องส่งของระบบ UWB อย่างง่าย โดยใช้การมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา



รูปที่ 4.3 เค้าโครงของเครื่องส่งระบบ UWB ที่ใช้แบบจำลองการมอดูเลตแบบ PPM และเทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลา

4.3 รูปแบบสัญญาณ NBI และการสูญเสียเชิงวิถี

เนื่องจากสัญญาณของระบบ UWB นั้นมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก ซึ่งมีการทำงานซ้อนทับกันกับระบบการสื่อสารเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย IEEE802.11a ในที่นี้ได้ใช้รูปแบบสัญญาณของระบบ WLAN ที่เข้าแทรกสอดเป็นไปตามเอกสารอ้างอิงที่ [9]

รูปแบบของสัญญาณ NBI สามารถแสดงได้ดังสมการนี้

$$s_{NBI}(t) = w_T(t) \cdot \Re \left\{ \sum_{k=-N_{ST}/2}^{k=N_{ST}/2} c_k e^{j2\pi k \Delta F (t-T_G)} e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (4.10)$$

เมื่อ	N_{ST}	เป็นจำนวนคลื่นพาห้อย่อยทั้งหมด
	c_k	คือเซตของสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน
	T_G	คือช่วงเวลากันชน
	ΔF	คือการเว้นระยะห่างความถี่ของคลื่นพาห้อย่อย
	$w_T(t)$	คือฟังก์ชันวินโดว์

ในการคำนวณอัตราส่วนกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับต่อกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณที่แทรกสอด (SINR) ของระบบ UWB ภายใต้การรบกวนจากสัญญาณ NBI ได้นำเอาการสูญเสียเชิงวิถีที่ตั้งขึ้นไว้มาใช้ ดังนั้นอัตราส่วนกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับต่อกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณที่แทรกสอด (SINR) ที่ภาครับของระบบ UWB เป็นไปตามสมการดังนี้

$$SINR_{UWB} = P_R(d) - 10 \log(NBI_{802.11a} + N_{UWB}) \quad (4.11)$$

โดยที่ $NBI_{802.11a}$ คือกำลังงานเฉลี่ยรบกวนช่องสัญญาณ NBI และ N_{UWB} คือกำลังงานเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนทั่วไปของระบบ UWB

โดยในที่นี้พิจารณาช่องสัญญาณรบกวนเป็นช่องสัญญาณแบบ AWGN ส่วนในการจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแสดงได้มีการเลือกใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง ซึ่งรูปแบบของการสูญเสีย จะเป็นไปดังสมการนี้ [16]

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad ; \quad d \geq d_0 \quad (4.12)$$

โดยที่ n คือเลขแสดงค่าสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งบ่งบอกถึงระดับของการสูญเสียเชิงวิถีที่เพิ่มขึ้นด้วยการแปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น d คือระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งของระบบ UWB

4.4 รูปแบบของการใช้เทคนิคการลดการแทรกสอด

พิจารณาการปรับแต่งสัญญาณ โดยนำตัวกรองแบบนอคซ์นั้นทำการนอคซ์เอาช่วงความถี่นั้นออกไปจากสเปกตรัมของสัญญาณที่จะใช้ส่งในระบบ UWB เพื่อนำเอาย่านความถี่ของสัญญาณส่ง ที่มีย่านความถี่ซ้อนทับกับ NBI ออกไป โดยรูปแบบสัญญาณที่ส่งผ่านเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้ [17]

$$u(t) = \sum_{n=-W}^W \alpha_w p(t - wT_c) \quad (4.13)$$

โดยที่ T_c คือคาบเวลาบิตข้อมูล

α_w คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบนอคซ์

w คือจำนวนของ W ทั้งหมด ซึ่ง $w = [-W, \dots, W]$ และ W คือจำนวนช่อง

ดังนั้นสัญญาณต้นแบบที่ต้องนำไปใช้ในเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่มีการปรับแต่งสัญญาณ
แล้วจะเป็นไปตามสมการที่ 4.14

$$M(t) = u(t) - u(t - \delta) \quad (4.14)$$

โดยพิจารณาให้สัญญาณ $u(t)$ ใช้เป็นสัญญาณในการส่งเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับสัญญาณเดิมใน
สมการ 4.14 และ $M(t)$ จะถูกนำไปแทนสัญญาณต้นแบบเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

4.5 รูปแบบภาครับของระบบ UWB

เครื่องรับสัญญาณในระบบ UWB นั้นโดยปกติแล้วจะใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ซึ่ง
หลักการของเครื่องรับประเภทนี้จะทำการนำเอาสัญญาณข่าวสารที่ส่งผ่านช่องสัญญาณมาทำการ
เปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบ (Template signal) เพื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง
สัญญาณทั้ง 2

โดยพิจารณาสัญญาณที่รับได้ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณซึ่งใช้เทคนิคมอดูเลตแบบ PPM สามารถ
แสดงได้ตามสมการดังนี้

$$r_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n}) + s_{NBI}(t) + n(t) \quad (4.15)$$

และในกรณีที่ใช้เทคนิคมอดูเลตแบบ BPM

$$r_{BPM}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n}) + s_{NBI}(t) + n(t) \quad (4.16)$$

โดยที่ $s_{NBI}(t)$ คือสัญญาณแทรกสอดจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและ $n(t)$ คือสัญญาณ
รบกวน AWGN โดยในที่นี้พิจารณาช่องสัญญาณรบกวนเป็นช่องสัญญาณ AWGN

นำสัญญาณที่รับได้ $r(t)$ ทำการหาค่าความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบ โดยทำ
การคูณกันระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาณแม่แบบ (Template waveform) และทำการ
อินทิเกรตเอาที่พู่ทของกระบวนการออกมาอยู่ในรูปของค่าคงที่ค่าหนึ่ง ในกระบวนการคูณและ
การอินทิเกรตเกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลาของลูกคลื่นพัลส์ ซึ่งเริ่มทำกระบวนการ โดยพิจารณาจาก
ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเวลาของสัญญาณที่รับได้และสัญญาณแม่แบบที่ตรงกัน

ดังนั้นเอาที่พู่ทของสัญญาณที่รับได้ด้วยการใช้เทคนิคมอดูเลตแบบ PPM สามารถแสดงได้ดังนี้

$$r_{PPM,k} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \int_{\tau_k + nT_f}^{\tau_k + (J+1)T_f} r_{PPM}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{C_n} - T_{p_n}) dt \quad (4.17)$$

และในกรณีที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบไบเฟส

$$r_{BPM,k} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \int_{\tau_k + nT_f}^{\tau_k + (J+1)T_f} r_{BPM}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{C_n}) dt \quad (4.17)$$

เมื่อ $v(t) = p(t) - p(t - \delta)$ คือสัญญาณต้นแบบ

4.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการของแบบจำลองต่างๆ ที่ใช้งานในระบบ UWB โดยมีวิธีการและขั้นตอนที่ถูกนิยามให้เป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ถึงลักษณะของแบบจำลองที่ต้องการพิจารณาเพื่อหาผลกระทบการแทรกสอดกันของระบบ UWB ที่มีสัญญาณ WLAN เข้ามารบกวน อีกทั้งทำการหาประสิทธิภาพของเทคนิคการลดสัญญาณรบกวนที่มีการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบเปรียบกับระบบที่ไม่มีเทคนิคการลดสัญญาณ NBI ในรูปแบบของ BER

บทที่ 5

ผลการจำลองระบบ

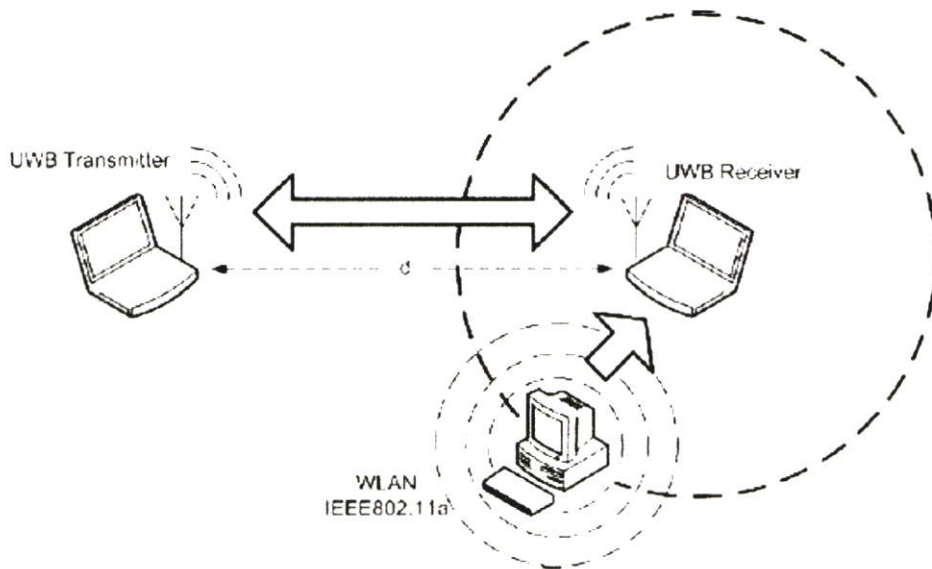
5.1 บทนำ

เนื่องจากข้อกำหนดของ FCC ที่กำหนดให้ระบบ UWB มีช่วงความถี่อยู่ในช่วง 3.1–10.6 GHz นั้นได้มีการใช้ความถี่ร่วมกันกับระบบ WLAN IEEE802.11a ซึ่งมีการส่งผ่านข้อมูลด้วยกลไกที่เรียกว่า OFDM เพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับปรุงให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ใช้งานในย่านความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศอเมริกา ที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของตามมาตรฐาน IEEE802.11a ที่ใช้งานในคลื่นความถี่ 5 GHz คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่ได้รับอนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว [15] ดังนั้นการออกแบบระบบจะทำการจำลองขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลังจากที่ได้กล่าวถึงรูปแบบการจำลองระบบ UWB ที่มีการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI และวิธีการลดผลการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ในบทที่ 3 และบทที่ 4 การศึกษาผลกระทบและผลของการลดการแทรกสอดจากระบบ NBI นั้น ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ UWB ในรูปแบบของการแสดงผลอัตราการผลิตของบิต (BER)

5.2 ผลการจำลองผลกระทบของระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจาก NBI

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการศึกษาระบบการจำลองระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากระบบ NBI โดยพิจารณาเลือกใช้การมอดูเลต PPM กับ BPM เพื่อดูประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคเมื่ออยู่ภายใต้ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณ NBI รบกวน นอกจากนั้นยังพิจารณาค่าสูญเสียเชิงวิถีด้วยกันอีก 3 ค่า โดยการจำลองระบบทั้งหมดจะกำหนดให้เป็นไปตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการสื่อสารระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI

จากรูปที่ 5.1 กำหนดให้คอมพิวเตอร์ 2 เครื่องมีการใช้งานสื่อสารกันด้วยระบบ UWB ที่ภาครับของคอมพิวเตอร์เครื่องขวามือจากภาพ กำหนดให้มีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีการใช้งานสื่อสารแบบ WLAN ตามมาตรฐาน IEEE802.11a และส่งสัญญาณ NBI ที่ภาครับของระบบ UWB

โดยมีข้อกำหนดในการจำลองระบบ UWB ดังต่อไปนี้

- พิจารณาให้สายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง
- สมมติให้ภาครับและภาคส่งไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการซิงโครไนซ์
- ระยะทางระหว่างเครื่องรับของระบบ UWB กับสัญญาณ NBI พิจารณาให้อยู่ใกล้กันมาก โดยพิจารณากำลังงานของแต่ละระบบในรูปของค่า SINR

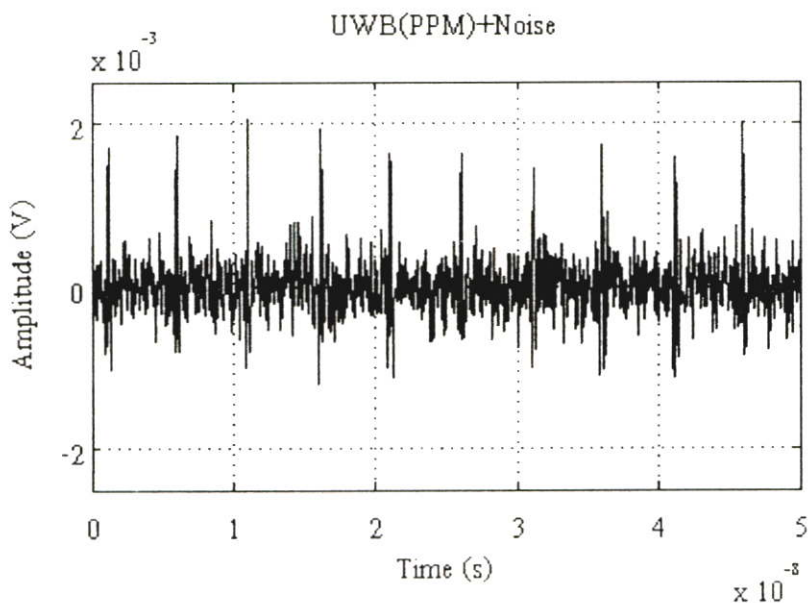
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ UWB และ NBI

พารามิเตอร์	ค่า
อัตราความเร็วข้อมูลของระบบ UWB	200 Mbps
ระดับของความหนาแน่นของกำลังส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณของระบบ UWB	-41.3 dBm/MHz
แบนด์วิคท์ของระบบ UWB	7.5 GHz
ความถี่กลางของระบบ UWB	6.85 GHz
ระยะทางตัวรับ-ตัวส่งของระบบ UWB	1, 5, and 10 m
ความกว้างพัลส์	0.28 ns
คาบเวลาพัลส์	5 ns
การเลื่อนเวลาของ PPM	0.188 ns
แถบความถี่ของสัญญาณ NBI	5.15-5.25 GHz 5.25-5.35 GHz 5.725-5.825 GHz
อัตราความเร็วข้อมูลของระบบ NBI	54 Mbps
ตัวเลขการสูญเสีย	1.73

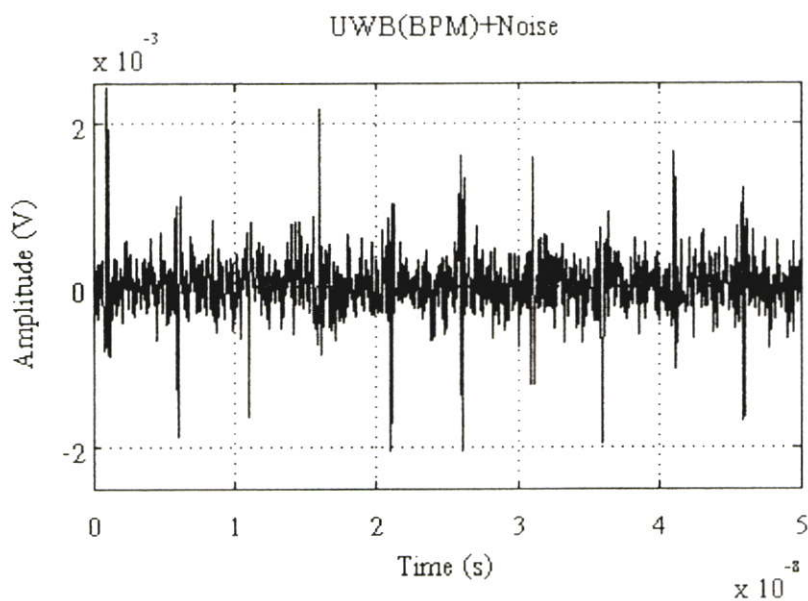
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญของระบบ OFDM ตามมาตรฐาน IEEE802.11a

พารามิเตอร์	ค่า
Data Rates	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Modulation Type	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Number of subcarriers	48
Number of pilots	4
OFDM symbol duration	4 us
Guard interval	800 ns
FFT size	64
Subcarrier spacing	312.5 kHz
Channel spacing	20 MHz

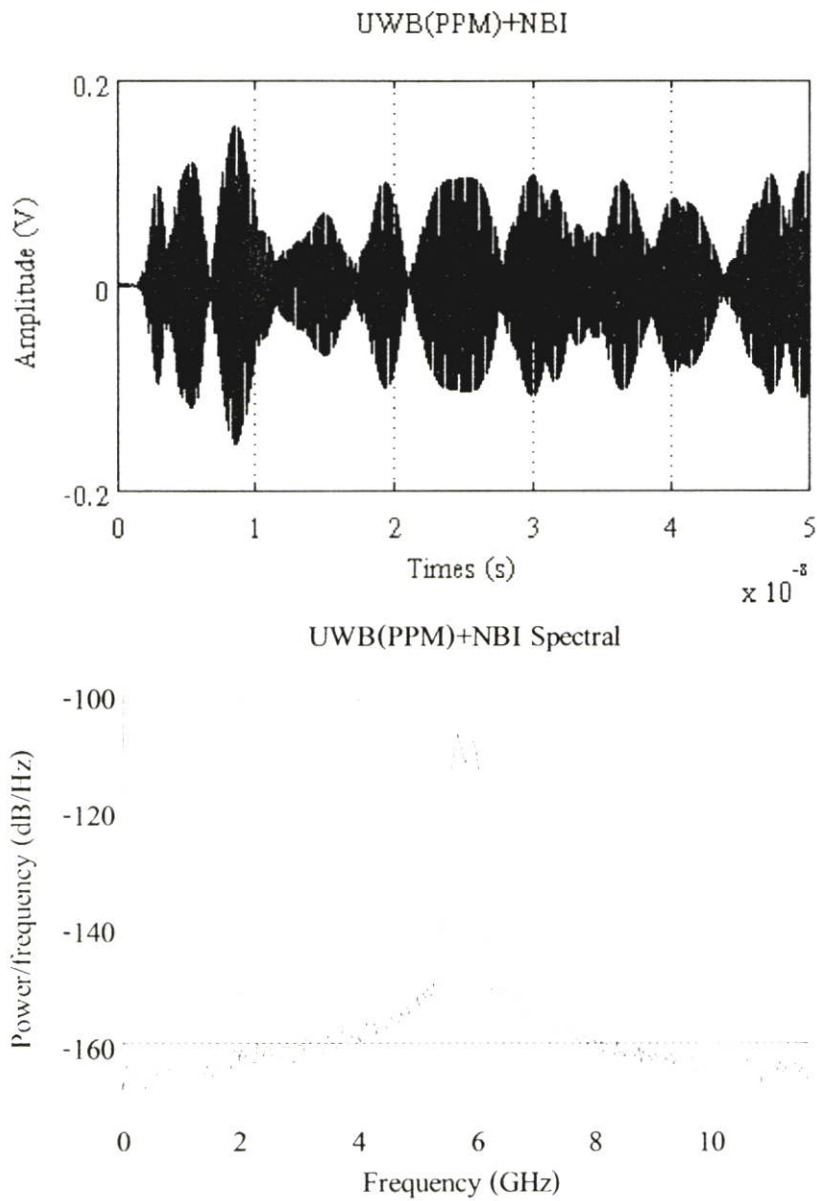
จากรูปที่ 5.2a-5.2b แสดงตัวอย่างสัญญาณ PPM และ BPM ต่อเฟรมที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN และรูปที่ 5.2c-5.2d แสดงการส่งผ่านช่องสัญญาณที่เพิ่มการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ตามลำดับ โดยพิจารณาระยะเวลาทางระหว่างเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB 1 เมตร อัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 200 Mbps ที่ค่า SINR -20 dB



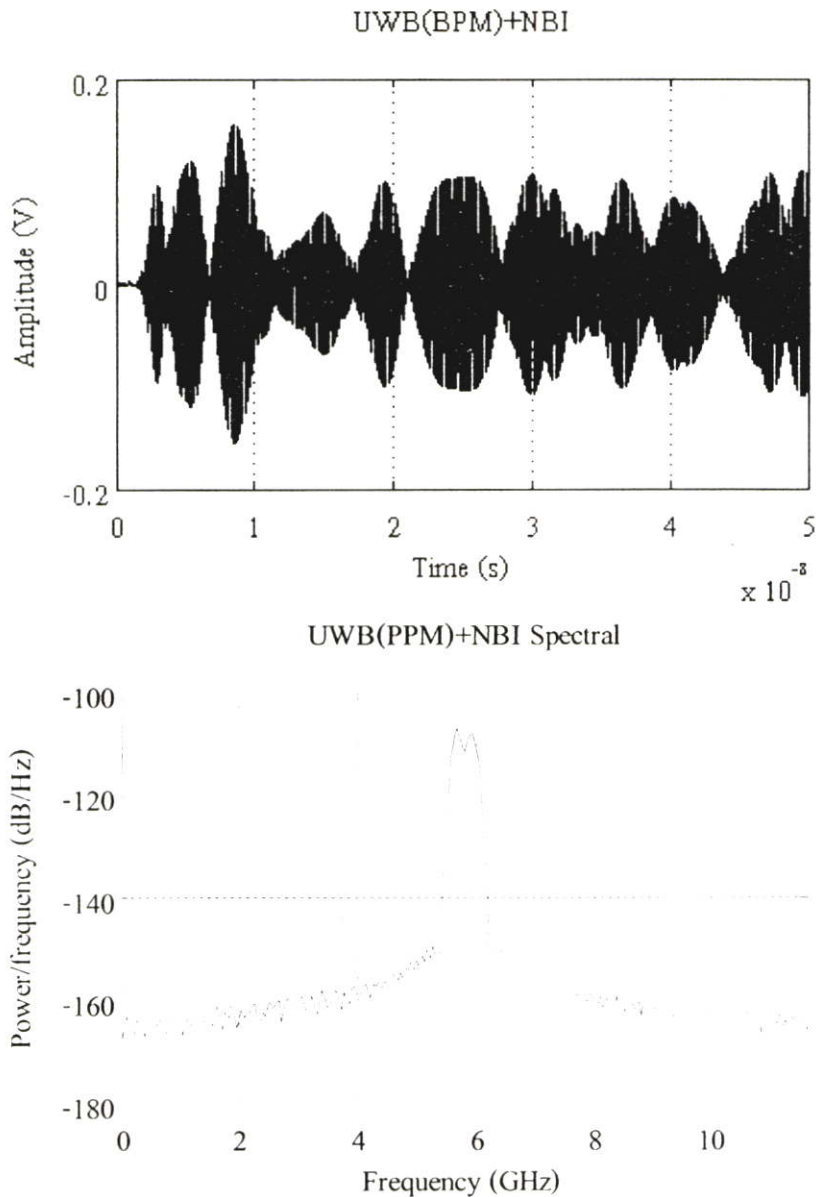
รูปที่ 5.2a สัญญาณ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN



รูปที่ 5.2b สัญญาณ BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN



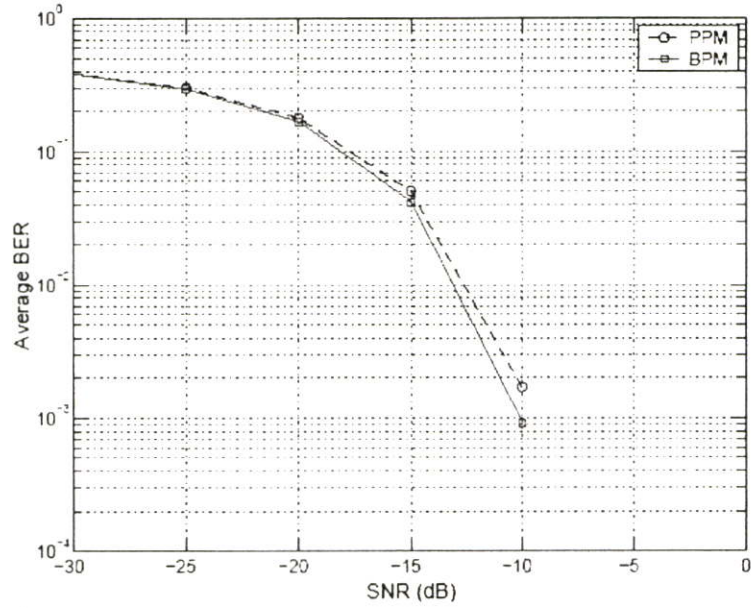
รูปที่ 5.2c สัญญาณและสเปกตรัมของ PPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI



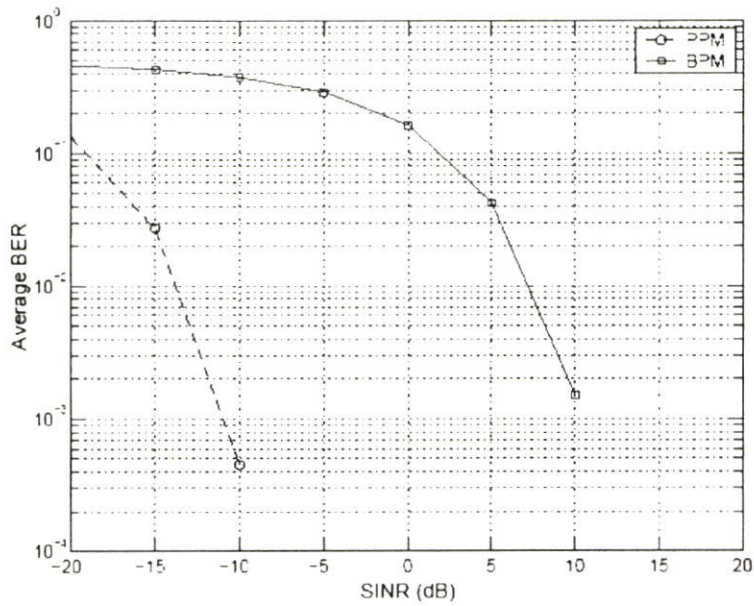
รูปที่ 5.2d สัญญาณและสเปกตรัม BPM ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณรบกวนแบบ AWGN ภายใต้การแทรกสอดของระบบ NBI

จากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการก้าวกระโดดทางเวลาภายใต้ช่องสัญญาณรบกวน AWGN ค่า BER ของ PPM และ BPM ที่อัตราการส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็ว 200 Mbps แสดงโดยเส้นทึบและเส้นประตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นว่าการมอดูเลตแบบ BPM ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการมอดูเลตตำแหน่งพัลส์ ซึ่งสอดคล้องผลการจำลองในเอกสารอ้างอิง [13]

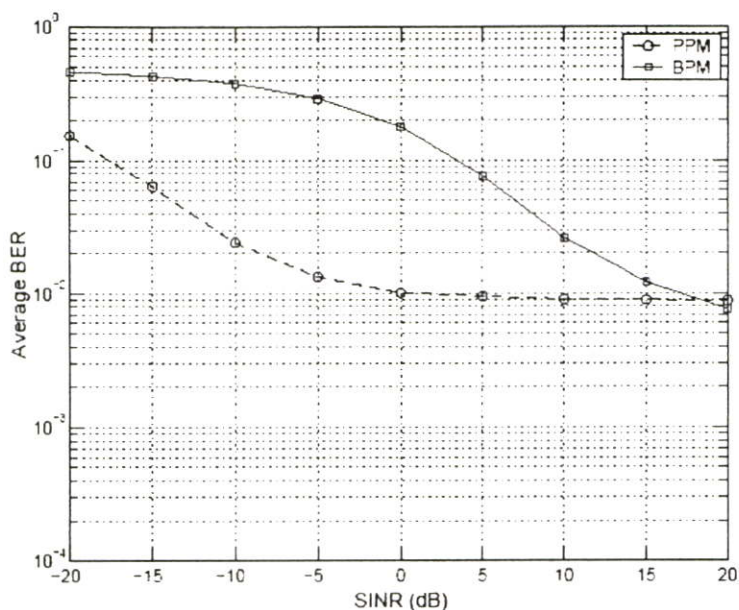
ภายใต้อิทธิพลของ NBI ประสิทธิภาพของ BER ของระบบ UWB นั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งของระบบ UWB เอง นอกจากนั้นแล้วยังขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับของระบบ UWB กับสัญญาณ NBI ดังนั้นจึงให้สัญญาณ NBI แทรกสอดเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบทั้งหมด



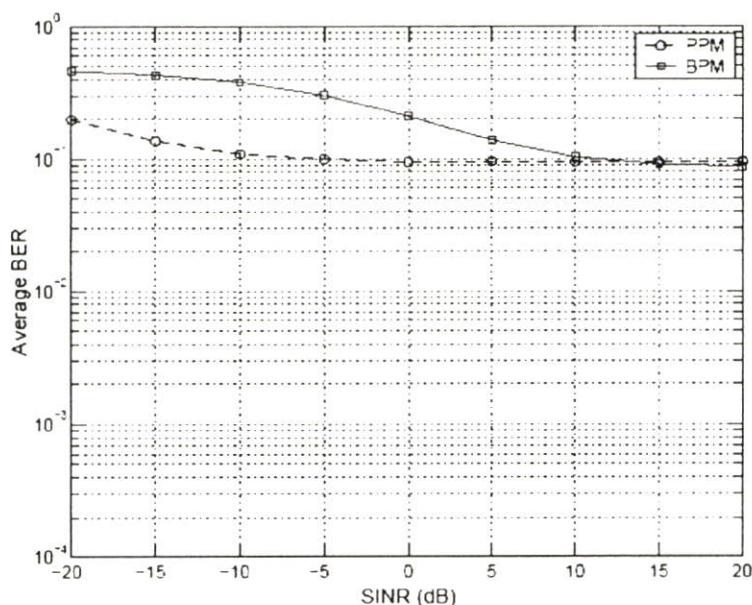
รูปที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SNR ของระบบ UWB บนช่องสัญญาณรบกวน AWGN โดยข้อมูลมีการมอดูเลต BPM และ PPM ที่อัตราการความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 200 Mbps



รูปที่ 5.4(a) ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกันระยะ 1 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a



รูปที่ 5.4(b) ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกัน ระยะ 5 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a



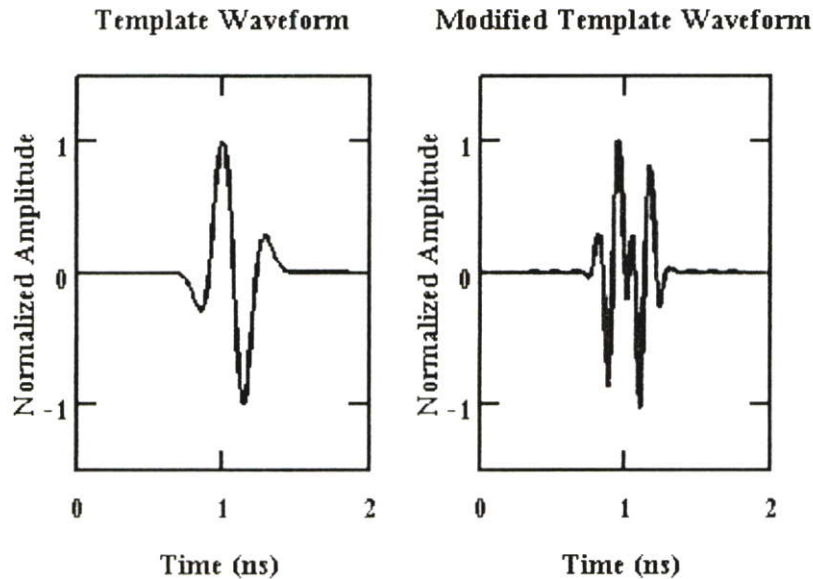
รูปที่ 5.4(c) ค่าเฉลี่ยของค่า BER กับ SINR โดยเครื่องรับ-ส่งของระบบ UWB อยู่ห่างกัน ระยะ 10 เมตร ในกรณีมีการแทรกสอดจาก IEEE802.11a

รูปที่ 5.4 แสดงถึงผลกระทบของ NBI ต่อระบบ UWB ที่ใช้การก้าวกระโดดทางเวลาในรูปแบบการทำงานของ BER ที่จุดสังเกตต่างกันสามจุด รูปที่ 5.4(a)-(c) แสดงถึงประสิทธิภาพของ BER ที่จุดสังเกต 1, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ว่าสัญญาณ NBI มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของ BER ทั้งการมอดูเลต BPM และการมอดูเลต PPM จากผลการจำลองนี้เป็นที่กระจ่างชัดว่าประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับระยะทาง นอกจากนั้นยังพบว่าการทำงานของ การมอดูเลต PPM ดีกว่าแบบ BPM ตลอดช่วง SINR ทั้งหมดซึ่งการแทรกสอดของ NBI มีผลกระทบ

สำคัญยิ่งต่อระบบ UWB ดังนั้นประสิทธิภาพของอัตรา BER ของระบบ UWB ที่มีการก้าวกระโดดทางเวลาด้วยการมอดูเลตแบบ BPM มีผลกระทบต่อสัญญาณ NBI มากกว่าการมอดูเลตแบบ PPM

5.3 ผลการจำลองการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI

ในการจำลองการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI โดยพิจารณาสังเกตสเปกตรัมช่วงความถี่ที่เกิดการแทรกสอดสัญญาณ NBI บนสัญญาณ UWB ในรูปที่ 5.2(c) และ 5.2(d) ในเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบนั้น ได้นำตัวกรองแบบนอตช์นั้นทำการนอตช์เอาช่วงความถี่ที่พิจารณานั้นออกไปจากสเปกตรัมของสัญญาณที่จะใช้ส่งระบบ UWB แล้วจึงนำสัญญาณที่ปรับแต่งพิจารณาเป็นสัญญาณส่งของระบบ UWB ในช่องสัญญาณ NBI เมื่อสัญญาณที่ปรับแต่งแล้วถูกแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรบกวนกันนั้น จะมีการหักล้างกันของสัญญาณในช่วงความถี่ที่ได้ทำการนอตช์แล้วกับสัญญาณ NBI เพื่อให้เกิดผลกระทบที่น้อยลง นอกจากนี้ยังใช้สัญญาณที่ปรับแต่งแล้วนี้เป็นสัญญาณต้นแบบในเครื่องรับแบบสหพันธ์ที่ภาครับของระบบ UWB

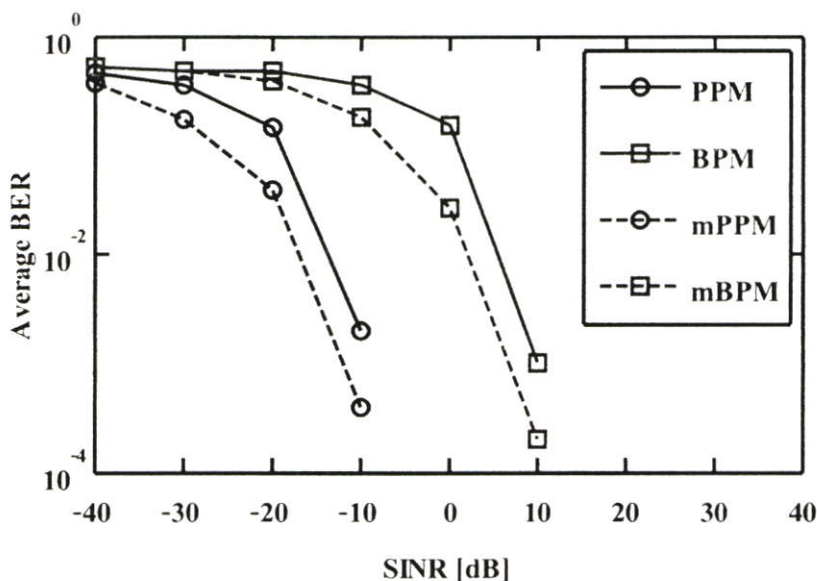


รูปที่ 5.5 สัญญาณต้นแบบที่ใช้ในการดีเทคสัญญาณ

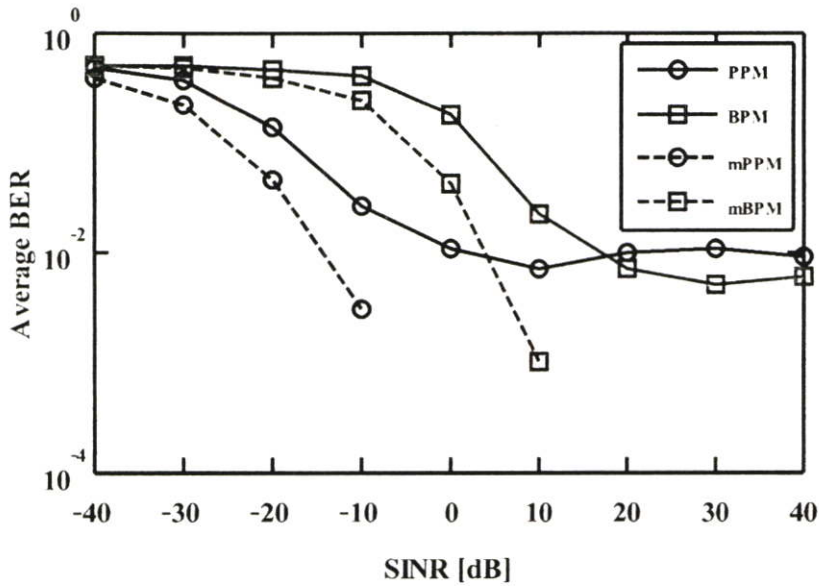
จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นสัญญาณต้นแบบที่ใช้ในเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ จากรูปด้านซ้ายคือสัญญาณต้นแบบเดิม ส่วนในรูปขวานั้นคือสัญญาณต้นแบบที่มีปรับแต่งสัญญาณแล้วเพื่อใช้ในการลดสัญญาณ NBI

จากรูปที่ 5.6(a) บ่งบอกให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสัญญาณต้นแบบแบบเดิมเปรียบเทียบกับสัญญาณต้นแบบที่มีการปรับแต่งแล้วของระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากระบบ NBI โดยเส้นกราฟเส้นทึบวงกลม คือค่าเฉลี่ย BER ของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM โดยใช้สัญญาณต้นแบบแบบเดิมในเครื่องรับสหสัมพันธ์ ซึ่งแทนด้วยคำว่า PPM กราฟเส้นประวงกลมคือค่าเฉลี่ย BER ของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM โดยใช้สัญญาณต้นแบบที่มีการปรับปรุงสัญญาณแล้ว แทนด้วยคำว่า mPPM กราฟเส้นทึบสี่เหลี่ยมคือค่าเฉลี่ย BER ของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ BPM โดยใช้สัญญาณต้นแบบเดิมในเครื่องรับสหสัมพันธ์ จะแทนด้วยคำว่า BPM และกราฟเส้นประสี่เหลี่ยมคือค่าเฉลี่ย BER ของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ BPM โดยใช้สัญญาณต้นแบบที่มีการปรับปรุงสัญญาณแล้วจะแทนด้วยคำว่า mBPM พิจารณาความเร็วในการส่งผ่านอยู่ที่ 200 Mbps และพิจารณาระยะทางไว้ด้วยกัน 3 ระยะทาง

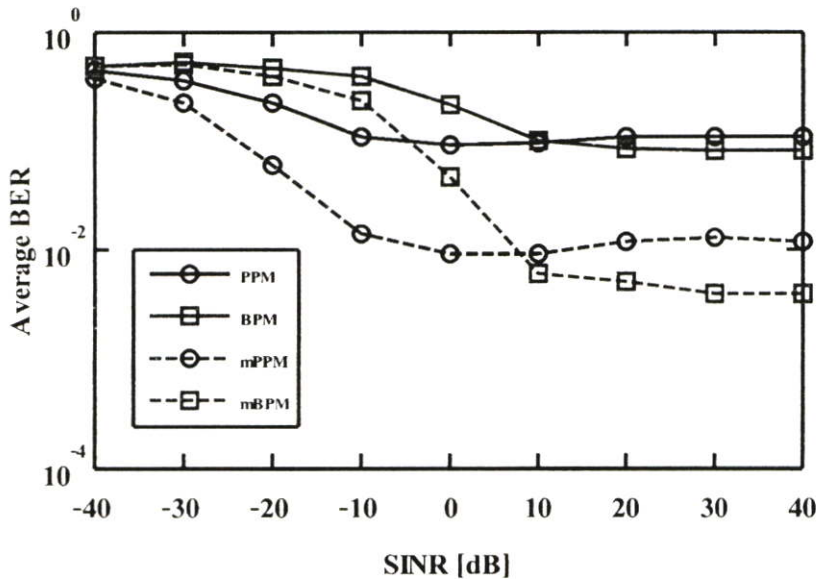
ในรูปที่ 5.5(a)-(c) แสดงการเปรียบเทียบของผลค่า BER ที่ระยะ 1, 5 และ 10 เมตรตามลำดับ จากผลแสดงให้เห็นว่า เครื่องรับสหสัมพันธ์ที่ใช้การดีเทคสัญญาณต้นแบบที่ปรับแต่งแล้วนั้น (mPPM, mBPM) จะให้ผลที่ดีกว่าการดีเทคที่ใช้สัญญาณต้นแบบแบบเดิม



รูปที่ 5.6 (a) ผลการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 1 เมตรในการส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps



รูปที่ 5.6 (b) ผลการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 5 เมตรในการส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps



รูปที่ 5.6 (c) ผลการเปรียบเทียบค่า BER ที่ระยะ 10 เมตรในการส่งผ่านความเร็วข้อมูล 200 Mbps

จากรูปที่ 5.6(a) ถึง 5.6(c) แสดงถึงประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ย BER ที่จุดสังเกต 1, 5 และ 10 เมตร ตามลำดับโดยที่เส้นประ 2 เส้น แสดงถึงค่าเฉลี่ย BER ที่มีการใช้เทคนิคการลดผลกระทบจากการแทรกสอดของ NBI โดยพิจารณาการมอดูเลตแบบ PPM (เส้นประวงกลมสีดำ) และการมอดูเลตแบบ BPM (เส้นประสี่เหลี่ยมสีขาว) อีกส่วนที่เป็นเส้นทึบคือค่าเฉลี่ย BER ของผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดของ NBI โดยพิจารณาการมอดูเลตแบบ PPM (เส้นทึบสีดำ) และการมอดูเลตแบบ BPM (เส้นทึบสีขาว) จากผลการจำลองในรูปที่ 5.6(a) ค่าเฉลี่ย BER ของระบบที่มีการใช้เทคนิคลดผลกระทบการแทรกสอดจาก NBI นั้นให้ค่าเฉลี่ย BER ที่ดีกว่าค่าเฉลี่ย BER ของระบบที่ปราศจากเทคนิคการลดผลกระทบการแทรกสอดจาก NBI และเมื่อระยะทางมากขึ้นยิ่งเห็นผลได้ชัดเจน โดยผลจากรูปที่ 5.6(b) และรูป 5.6(c) แสดงค่าเฉลี่ย BER ของระบบที่มีการใช้

เทคนิคการลดการแทรกสอดจาก NBI ให้ค่า BER ที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัดที่ระยะทาง 5 เมตร และ 10 เมตรตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นที่กระจ่างชัดว่าประสิทธิภาพของระบบที่ใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดจาก NBI ให้ผลที่ดีกว่าระบบที่ปราศจากเทคนิคการลดผลการแทรกสอดจาก NBI

นอกจากนั้นพิจารณาสังเกตเห็นที่ค่า SINR สูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่เส้นกราฟของการมอดูเลตแบบ BPM จะกลับมาให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากว่าค่า SINR คือค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของระบบ UWB กับกำลังเฉลี่ยของ NBI ซึ่งสามารถพิจารณามองเป็นระยะห่างระหว่างกันของภาครับ UWB กับภาคส่งของ NBI ได้เนื่องจากถ้าค่า SINR น้อยหมายความว่าค่ากำลังงานของ NBI นั้นมากกว่ากำลังงานที่รับได้ของระบบ UWB แสดงว่าภาคส่งของ NBI นั้นอยู่ใกล้กับภาครับของ UWB มากๆ แต่เมื่อค่า SINR สูงขึ้นหมายความว่าค่ากำลังงานจาก NBI มีค่าลดลง นั่นแสดงว่าระยะทางระหว่างภาคส่งของ NBI นั้นอยู่ห่างจากภาครับ NBI แล้วและเมื่อระยะทางออกห่างไปจนถึงระดับที่ไม่มีสัญญาณ NBI เข้ามารบกวนแล้ว ดังนั้นเส้นกราฟของการมอดูเลตแบบ BPM จะกลับมาดีกว่าแบบ PPM เหมือนในสภาวะที่ช่องสัญญาณนั้นไม่มีสัญญาณ NBI แล้วกราฟจะกลับไปเป็นเหมือนดังรูปที่ 5.3

5.4 สรุป

ผลจากการจำลองระบบ UWB ที่มีการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ที่มีผลต่อระบบ UWB โดยพิจารณาระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งของระบบ UWB เพิ่มมากขึ้นยังเห็นผลกระทบจากการแทรกสอด ซึ่งผลสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.4(a)-5.4(c) นอกจากนั้นการเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ BPM ให้ผลดีกว่า PPM เมื่อไม่มีการแทรกสอดจาก NBI แต่เมื่อเกิดการแทรกสอดจาก NBI แล้วผลของเทคนิคการมอดูเลตแบบ PPM นั้นให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า BPM ในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบ UWB โดยใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI โดยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ ผลจากการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ UWB โดยยังเห็นผลได้อย่างชัดเจนเมื่อระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งของระบบ UWB มีระยะทางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.6(a)-5.6(c)

บทที่ 6

สรุปผลการจำลองและแนวทางในการพัฒนา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ที่มีต่อระบบ UWB และเทคนิคการลดผลการแทรกสอด จากผลการศึกษาที่ได้นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 การศึกษาผลการแทรกสอดของระบบ NBI ที่มีต่อระบบ UWB

จากผลการจำลองระบบ UWB ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI พบว่าผลกระทบจากการแทรกสอดของ NBI มีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบ UWB ลดลงอย่างมากเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งของระบบ UWB เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ย BER ของระบบ UWB ที่พิจารณาใช้เทคนิคมอดูเลตแบบ PPM ให้ผลที่ดีกว่าเทคนิคแบบ BPM ในช่วงของค่า SINR ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลอง อย่างไรก็ตามที่ค่า SINR สูงขึ้นเทคนิคมอดูเลตแบบ BPM จะกลับมามีค่าที่ดีกว่าเทคนิคมอดูเลตแบบ PPM ซึ่งคล้ายกับผลการจำลองกรณีที่อยู่ภายใต้ช่องสัญญาณ AWGN เนื่องจากค่า SINR ที่สูงขึ้นเสมือนว่าภาคส่งของสัญญาณ NBI นั้นมีระยะห่างออกไปจากที่ภาครับของระบบ UWB จนไม่เกิดการแทรกสอดกัน นอกจากนี้แล้วยังแสดงถึงการพิจารณาเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตที่เหมาะสมในสภาวะเมื่อช่องสัญญาณมีการแทรกสอดจาก NBI

6.2 ผลการศึกษาเทคนิคที่ช่วยลดการแทรกสอด

จากการจำลองเทคนิคการลดการแทรกสอดจากสัญญาณ NBI ด้วยเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบ พบว่าประสิทธิภาพของระบบ UWB ที่ใช้เทคนิคการลดผลการแทรกสอดด้วยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบที่ไม่มีการใช้เทคนิคลดผลการแทรกสอดและยิ่งระยะทางมากขึ้นยิ่งเห็นผลได้ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำเทคนิคการลดผลการแทรกสอดสัญญาณ NBI นี้แล้วยังพบว่าเทคนิคการมอดูเลตแบบตำแหน่ง PPM ยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเหมือนเดิม ภายใต้การแทรกสอดจากสัญญาณ NBI และด้วยข้อดีของเทคนิควิธีการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบที่มีการกรองความถี่ในช่วงความถี่ที่ใช้งานของสัญญาณ NBI ออกไปแล้ว สัญญาณที่ปรับแต่งแล้วของระบบ UWB ยังไม่ไปแทรกสอดในระบบ WLAN มาตรฐาน IEEE802.11a อีกด้วย ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการลดสัญญาณแทรกสอดด้วยการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบจึงควรมีบทบาทและจำเป็นต่อระบบ UWB อย่างมากอีกด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งศึกษาผลการแทรกสอดของสัญญาณ NBI ที่มีต่อระบบ UWB และเทคนิคการลดการแทรกสอดที่เกิดจากสัญญาณ NBI และทำการหาประสิทธิภาพของกระบวนการทั้งสอง ด้วยการส่งผ่านช่องสัญญาณแบบ AWGN ซึ่งทั้งหมดเป็นการจำลองโดยการใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยไม่ได้นำไปใช้กับช่องสัญญาณแบบหลายวิถีได้ ช่องสัญญาณที่วัดจริงและผลการแทรกสอดจากการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายผู้ใช้

ในส่วนของแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการปรับแต่งสัญญาณต้นแบบนั้น พิจารณาเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองแบบนอตช์หลายๆค่าเพื่อที่นำค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้ระบบ UWB มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Federal Communication Commission, First order and report : Revision of part 15 of commission's rules regarding UWB transmission systems, Apr. 22, 2002
- [2] R. Giuliano and F. Mazzenga, "on the coexistence of power-controlled ultrawideband system," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 62-81, Jan. 2005.
- [3] R. D. Wilson, R. D. Weaver, M.-H. Chung, R. A. Scholtz, "Ultra wideband interference effects on an amateur radio receiver," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 315-319, 2002.
- [4] D. Landi and C. Fischer, "The effects of UWB interference on GSM systems," *Proc. International Zurich Seminar on Communications*, pp. 86-89, 2002.
- [5] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Analysis of ultra wideband signal interference to DSSS receiver," *Proc. IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 229-233, 2003.
- [6] S.-S. Choi and W.-J. Oh, "Analysis the interference of pulse position modulated UWB into IEEE 802.11 a WLAN," *Proc. UWBST & IWUWBS*, pp. 328-331, 2004.
- [7] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Ultra wideband impulse radio signal interference to code division multiple access system," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 2437-2441, 2003.
- [8] M. Hamalainen, J. Saloranta, J.-P. Makela, I. Oppermann, and T. Patana, "Ultra wideband signal impact on IEEE802.11b and Bluetooth performances," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 280-284, 2003.
- [9] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [10] J. Bellorado, S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T. Sveinsson, and V. Tarokh, "Coexistence of ultra-wideband systems with IEEE-802.11 a wireless LANs," *Proc. Global Telecommunications Conference*, vol. 1, pp. 410-414, 2003.
- [11] X. Chu and R. D. Murch, "The effect of NBI on UWB time-hopping systems," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 1431-1436, Sept. 2004.
- [12] B. Firoozbakhsh, T. G. Pratt, and N. Jayant, "Analysis of IEEE802.11a interference on UWB system," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies Conference*, pp. 473-477, 2003.

- [13] W. C. Chung and D. S. Ha, "On the performance of bi-phase modulated UWB signals in a multipath channel," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1654-1658, 2003.
- [14] M. Z. Win and R. Scholtz, "Impulse radio: How it works", *IEEE Communication Letters*, vol. 2, no. 1, Jan. 1998.
- [15] IEEE Standard 802.11a: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999.
- [16] M. Chamchoy, S. Promwong, P. Tangtisanon, and J. Takada, "Characterization of In-Home UWB Channel with Different Antenna Directivity," *Proc. IEEE Region 10 Conference*, vol. C, pp. 129-132, 2004.
- [17] John Wang, "Narrowband Interference Suppression in Time Hopping Impulse Radio," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 2138-2141, Sept. 2004.
- [18] M. Ghavami, L.B. Michael and R. Kohno. *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*. England , John Wiley & Sons Ltd. 2004.
- [19] Theodore S. Rappaport. *Wireless Communications Principles and Practice*. USA, Prentice-Hall Inc. 1996.

ภาคผนวก ก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] **Pakdeechard E.**, Chamchoy M., Promwong S., “A Study on Performance of UWB System in the Presence of IEEE 802.11a Interference,” ISCIT 2005, pp. 936-939, 2005.
- [2] **Pakdeechard E.**, Chamchoy M., Promwong S., “Narrowband Interference Suppression for UWB-TH System Based On Modified Template Waveform,” ECTI 2007, pp. 903-906, 2007.

Volume 2 of 2

ISCIT 2005

PROCEEDINGS

International Symposium on Communications
and Information Technologies

October 12-14, 2005

Fragrant Hill Hotel, Beijing, China

Sponsored by:

The National Natural Science Foundation of China

K.C. Wong Education Foundation, Hong Kong

IEEE Circuits and Systems Society

IEEE Communication Society Beijing Chapter

Beijing Association for Science and Technology

Beijing University of Posts and Telecommunications

Official Co-Sponsored by

IEICE Japan

ICTE Thailand

Official Web site: <http://iscit05.bupt.edu.cn/>



PUBLISHING HOUSE, BUPT
www.buptpress.com

A Study on Performance of UWB System in the Presence of IEEE 802.11a Interference

Eakaraj Pakdeechard, Monchai Chamchoy, and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Email: s7061172@kmitl.ac.th

Abstract— This paper illustrate the effects of IEEE 802.11a narrowband interference (NBI) on ultra-wideband (UWB) system. The empirical path loss model is considered for UWB time-hopping transmission with both pulse position modulation (PPM) and bi-phase modulation (BPM). Our study demonstrates that significant performance loss increases as the T-R separation increases. Moreover, the performance of UWB-PPM in the presence of NBI also better than BPM. Therefore, the BER performance is sensitive to the separation distance between the transmitter and the receiver. Moreover, it also depends on the separation between the UWB receiver and the IEEE 802.11a interferer.

Keywords: Ultra wideband (UWB), Wireless LAN, Time-Hopping, PPM, BPM

I. INTRODUCTION

Recently, ultra wideband (UWB) radio technology has become an important topic for wireless networking. UWB offers the potential for low cost, low power transmission, high data rates and immunity to multipath. In addition, UWB is different from other radio frequency (RF) technologies. Instead of using a narrow carrier frequency, UWB transmits pulses of power spectral density (PSD) in the range of the ultra wide frequency spectrum. The Federal Communications commission (FCC) defines UWB as any signal that occupies more than 500 MHz in the frequency range of 3.1-10.6 GHz with the maximum emission power of -41.3 dBm/MHz [1] which below the part 15 noise limit. Because of the transmission at low power, the UWB signal is considered to be noise for other communication systems. Therefore, UWB radio technology can coexist with other RF technologies without interference. Unfortunately, at close proximity, UWB radio can induce interference and degrade the throughput of the other system. Numerous studies on UWB interference to other existence narrowband system are investigated [2]-[8]. On the other hand, there are few research study on the influence of NBI to UWB communication system. Especially, the IEEE 802.11a wireless LAN systems operate at 5 GHz bands which overlaps the UWB spectrum [9]. These system using orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) based transmission. In [10], the coexistence of UWB

system and wireless LANs is investigated for LOS and NLOS propagation scenarios. The results show that wireless LAN interference can greatly impact the performance of the UWB receiver. Similarly, the interference from a nearby NBI will affect UWB performance also provides in [11]. While the analytical approach of the IEEE 802.11a interference on UWB systems is given in [12]. Therefore, the interference suppression technique is required for UWB communication. In this paper, the different modulation techniques, namely, pulse position modulation (PPM) and bi-phase modulation (BPM), are used to investigate the impacts of the NBI interference to the victim UWB time-hopping system. Our simulation illustrate that the BER performance of BPM for UWB system is better than PPM in the absence of NBI, similar to the work given in [13]. However, when NBI is close proximity to the UWB receiver, the results indicate that the UWB performance decreases as the T-R separation distance increases. The organization of the paper is as follows. In Section II, the models of UWB time-hopping transmission and IEEE 802.11a interference are provided. The performance simulation and results will be given in Section III and a brief conclusion is given in Section IV.

II. UWB TIME-HOPPING SYSTEM MODEL

A. The UWB Transmitter Model

A common method for implementing the UWB signal is widely referred to as Impulse Radio (IR) [14]. IR uses a train of short duration doublet pulses to produce a waveform with very low duty cycle. In this study we consider using a Gaussian doublet pulse shape and is given by

$$p(t) = A \left(1 - \frac{2t^2}{\xi^2}\right) e^{-\left(\frac{t}{\xi}\right)^2} \quad (1)$$

where A is the maximum amplitude, ξ is the $1=e$ characteristic delay time. This waveform is the the second derivative of the Gaussian pulse.

In this paper, two basis types of modulation method for UWB time-hopping in the transmission are considered. There are time-based techniques and polarity techniques. The most common method of time-based techniques

modulation is pulse position modulation (PPM) which may be expressed as

$$s_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f - T_{C_n} - T_{P_n} - \tau_k) \quad (2)$$

where T_f represents the time duration of the frame, $p(t)$ is the Gaussian doublet pulse, T_f denotes the pulse repetition time, T_{C_n} is the time shift related to the PN code sequence, T_{P_n} represents the time shift from the pulse position modulation scheme and τ_k is the time decay.

Another common method of modulation is to invert the pulse. This is known as bi-phase modulation (BPM)

$$s_{BPM}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f - T_{C_n} - \tau_k) \quad (3)$$

where α_k represents the modulation symbol sequence for BPM.

B. IEEE802.11a NBI Model and Path Loss Model

For interference of the IEEE802.11a signal incorporating Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), the NBI transmitted signal can be represented as [9]

$$s_{NBI}(t) = w_f(t) \cdot \Re \left\{ \sum_{k=-N_{ST}/2}^{k=N_{ST}/2} c_k e^{j2\pi k f_c T_{G_i}} e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (4)$$

where N_{ST} is the total number of subcarrier, c_k is the set of coefficients transmitted, T_{G_i} is the guard time and $c f_c$ represents the subcarrier frequency spacing, $w_f(t)$ is a time-windowing function that defines the boundaries of the subframe which assume a rectangular $w_f(t)$ with unit amplitude.

In order to calculate the SINR of the UWB system in the presence of the IEEE 802.11a interference, the empirical path loss model is employed. Therefore, the SINR at the UWB receiver is given by

$$SINR_{UWB} = P_k(d) - 10 \log(NBI_{802.11a} + N_{UWB}) \quad (5)$$

where $NBI_{802.11a}$ and N_{UWB} are the interference and noise power at the UWB receiver, respectively. The propagation path loss model may be expressed as

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) ; d \geq d_0 \quad (6)$$

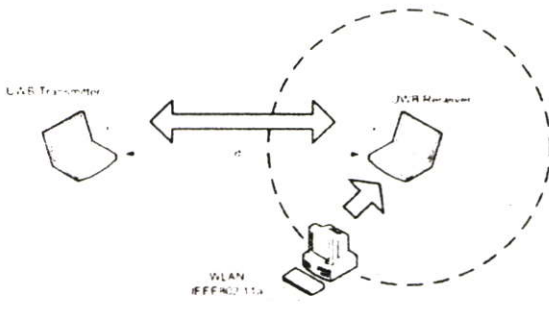


Fig. 1. Model of UWB transmission in the presence of the IEEE 802.11a interference.

where n is the path loss exponent which indicates the rate at which the path loss increases with distance and d represents the T-R separation distance. Fig. 1 illustrates the UWB time hopping system in the presence of IEEE 802.11a interference.

C. The UWB Receiver Model

A transmitted signal passes through the wireless channel including the transmitter and receiver antennas. Therefore, the total received signal for UWB PPM transmitter can be expressed as

$$r_{PPM}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f - T_{C_n} - T_{P_n} - \tau_k) + s_{NBI}(t) + n(t) \quad (7)$$

and for UWB BPM transmitter,

$$r_{BPM}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{\infty} p(t - nT_f - T_{C_n} - \tau_k) + s_{NBI}(t) + n(t) \quad (8)$$

where $s_{NBI}(t)$ represents the IEEE 802.11a interference and $n(t)$ is the additive white Gaussian noise.

The receiver considers the received signal $r(t)$ and decide

based on an observation of received signal for the decided bit, it uses correlation receiver signal with the template signal, therefore, the received signal with the PPM transmission may be expressed as

$$r_{PPM,k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{\tau_k - nT_f}^{\tau_k + (1-\delta)T_f} r_{PPM}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{C_n} - T_{P_n} - \tau_k) dt \quad (9)$$

and for the BPM transmission

$$r_{BPM,k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{\tau_k - nT_f}^{\tau_k + (1-\delta)T_f} r_{BPM}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{C_n} - \tau_k) dt \quad (10)$$

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

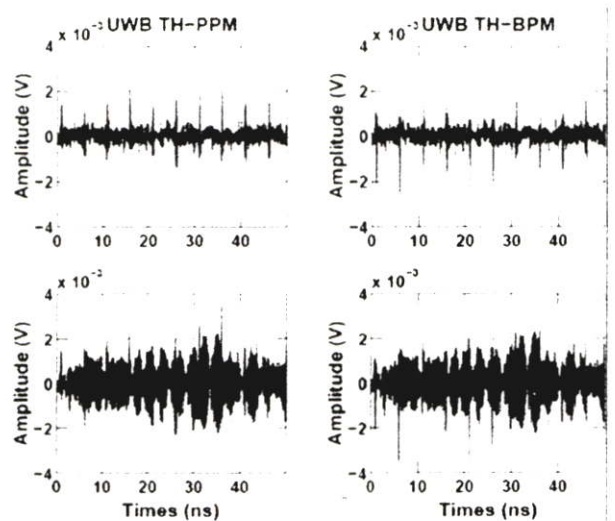


Fig. 2. An example of the UWB time-hopping signal for PPM and BPM on the additive white Gaussian noise channel and the IEEE 802.11a interference, respectively. The T-R separation distance $d = 1$ m, the transmission rate of 200 Mbps and SINR=20 dB.

III. PERFORMANCE SIMULATION AND RESULTS

In order to investigate the effects of NBI on the UWB time hopping system, the IEEE 802.11a wireless LAN physical layer [15] with the operating frequency bands of 5.15-5.25 GHz, 5.25-5.35 GHz, and 5.725-5.825 GHz was generated by the computer simulation. The empirical path loss exponent in equation (6), n equals 1.73 [16]. Consequently, the UWB transmitted power (EIRP) was set to be -41.3 dBm/MHz based on the FCC requirements [1]. The Gaussian doublet pulse width of 0.28 ns was assumed for the transmitting waveform. The pulse repetition time $T_f = 5$ ns, therefore, the transmission rate equals 200 Mbps. Antenna are assumed to be omni-directional radiation pattern. Suppose that the transmitter and the receiver is perfectly synchronized. Therefore, the correlation receiver can be obtained for detecting the PPM and BPM symbols. Fig. 2 shows the UWB time-hopping signal for PPM and BPM at SINR=20 dB on the additive white Gaussian noise channel and the IEEE 802.11a interference, respectively. The UWB and NBI simulation parameters are listed in Table 1. Referring to the model of the UWB time-hopping in the presence of the IEEE 802.11a interference as shown in Fig. 1. The influence of the NBI increases as the T-R separation distance increases. Therefore, three observation points at 1, 5 and 10 meter are investigated to verify the performance of PPM and BPM for the UWB time-hopping system. The separation distance between the UWB receiver and the NBI depends on the SINR. Fig. 3 shows the performance of the UWB time-hopping system on the additive white Gaussian noise channel. The bit error rate (BER) performance of PPM and BPM are illustrated by the solid line and the dot line, respectively, for the transmission rate of 200 Mbps. It is found that BPM performs better than PPM. This results are similar to the work in [13]. Under the influence of the IEEE 802.11a wireless LAN interferer, however, the BER performance of the UWB system depends on the T-R separation distance between UWB transmitter and receiver. Moreover, it also depends on the separation between UWB receiver and wireless LAN interferer. Hence, the continuous transmission of the interferer was assumed for entire simulation time for the considered UWB system. Fig. 4 illustrates the impact of the IEEE802.11a interference on the BER performance of the UWB time-hopping system at the three different observation points. Fig. 4(a)-(c) show the BER performance for the observation points at 1, 5, and 10 meter, respectively. As predicted, the IEEE802.11a interferer induces a significant increase of BER for both the BPM and the PPM. From these results, it is clearly observe that the dependence of the separation distance and the average BER performance. Moreover, it is found that the PPM performs better than the BPM for the entire range of the SINR which the interferer significantly effects to the UWB system.

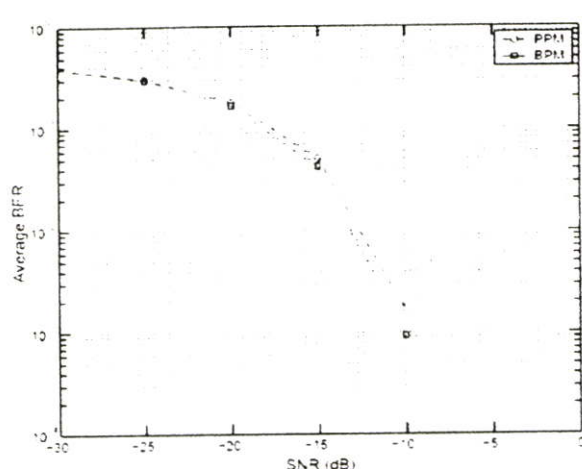


Fig. 3. Average BER versus SNR for the UWB time-hopping system on the additive white Gaussian noise channel. The information were modulated by PPM and BPM for the data rate of 200 Mbps.

However, as the SINR increase for the transmission rate at 200 Mbps, the BPM performs come better than the PPM, similar to the performance of the system under the additive white Gaussian noise channel. Therefore, the BER performance of the UWB time-hopping with the bi-phase modulation will be affected by the IEEE 802.11a wireless LAN interferer larger than those with the PPM.

IV. CONCLUSIONS

In this paper, the effects of the IEEE 802.11a wireless LAN interferer on the UWB time-hopping system are investigated. The system performance was characterized in term of the bit error rate. Simulation results of our consider show that, depending on the probability of signal overlap and the separation distance of the IEEE 802.11a interferer to the UWB receiver, the NBI can significantly affect to the UWB reception based on the correlation receiver.

Table 1
UWB and NBI simulation parameters.

Quantity	Value
UWB data rate	200 Mbps
UWB transmitter power	-41.3 dBm/MHz
UWB bandwidth	7.5 GHz
UWB center frequency	6.85 GHz
T-R separation (d)	1, 5, and 10 m
Pulse width	0.28 ns
Pulse repetition time	5 ns
PPM time shift	0.188 ns
NBI frequency bands	5.15-5.25 GHz 5.25-5.35 GHz 5.725-5.825 GHz
NBI data rate	54 Mbps
Path loss exponent	1.73

Therefore, if the victim UWB receiver was located far away from the UWB transmitter, especially for $d = 10$ m, the BER performance does not improve as the SINR increases. In addition, it is found that the BER performance of the PPM performs better than the BPM for the entire range of the SINR which the interferer significantly effects to the UWB system. However, as the SINR increase, the BPM performs come better than the PPM, similar to the performance of the system under the additive white Gaussian noise channel. Although the NBI can affect the performance of the UWB time-hopping system and the interference suppression techniques are required, however, the suitable modulation should be considered.

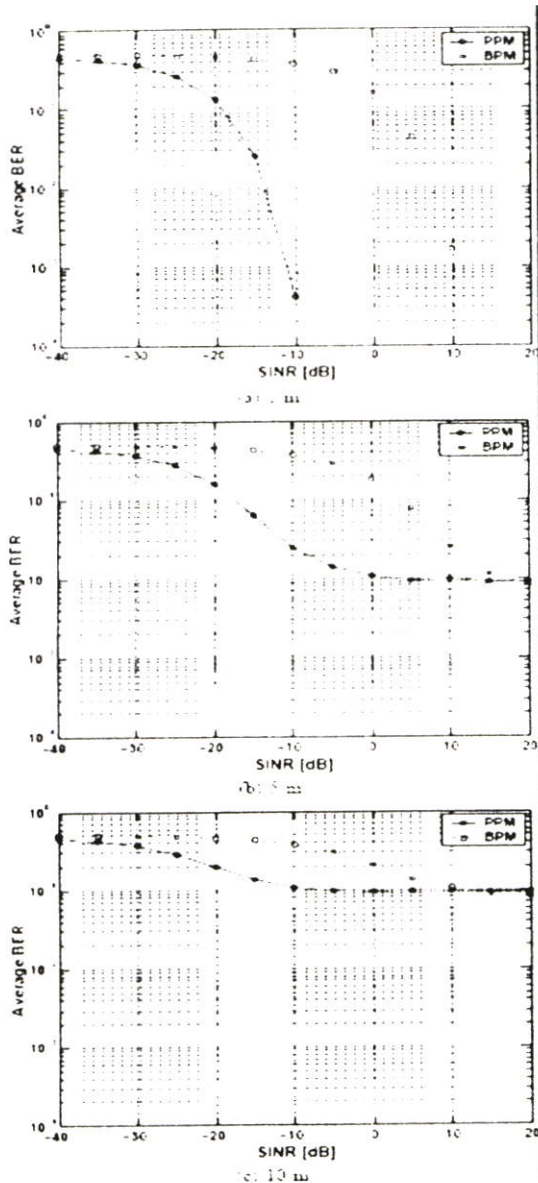
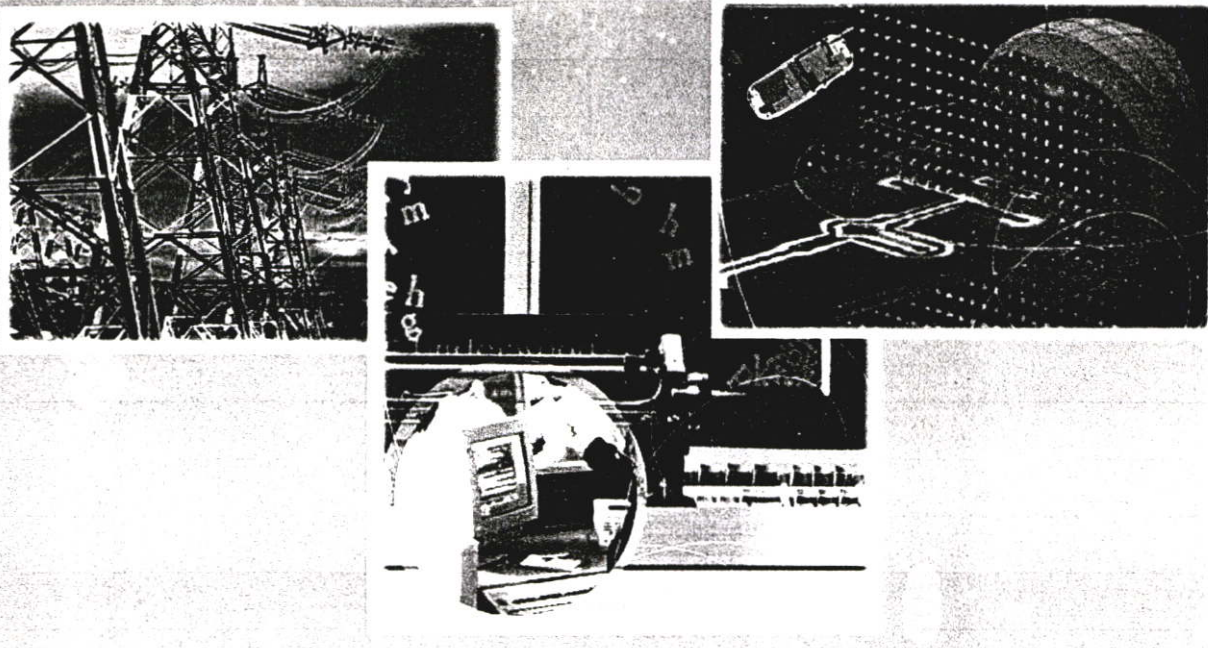


Fig. 4. Average BER versus SINR for the case of IEEE 802.11a interference. The T-R separation distance was set to be 1, 5, and 10 meter, respectively, for the transmission rate at 200 Mbps.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of part 15 of the Commission's rules regarding UWB transmission systems, Apr. 22, 2002.
- [2] R. Giuliano and F. Mazzenga, "On the coexistence of power-controlled ultrawide-band systems with UMTS, GPS, DCS1800, and fixed wireless systems," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 62-81, Jan. 2005.
- [3] R. D. Wilson, R. D. Weaver, M.-H. Chung, R. A. Scholtz, "Ultra wideband interference effects on an amateur radio receiver," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 315-319, 2002.
- [4] D. Landi and C. Fischer, "The effects of UWB interference on GSM systems," *Proc. International Zurich Seminar on Communications*, pp. 86-89, 2002.
- [5] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Analysis of ultra wideband signal interference to DSSS receiver," *Proc. IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 229-233, 2003.
- [6] S.-S. Choi and W.-J. Oh, "Analysis the interference of pulse position modulated UWB into IEEE 802.11 a WLAN," *Proc. UWBST & IWUWBS*, pp. 328-331, 2004.
- [7] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Ultra wideband impulse radio signal interference to code division multiple access system," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 2437-2441, 2003.
- [8] M. Hamalainen, J. Saloranta, J.-P. Makela, I. Oppermann, and T. Patana, "Ultra wideband signal impact on IEEE802.11b and Bluetooth performances," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 280-284, 2003.
- [9] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [10] J. Bellorado, S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T. Sveinsson, and V. Tarokh, "Coexistence of ultra-wideband systems with IEEE-802.11 a wireless LANs," *Proc. Global Telecommunications Conference*, vol. 1, pp. 410-414, 2003.
- [11] X. Chu and R. D. Murch, "The effect of NBI on UWB time-hopping systems," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 1431-1436, Sept. 2004.
- [12] B. Firoozbakhsh, T. G. Pratt, and N. Jayant, "Analysis of IEEE802.11a interference on UWB system," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies Conference*, pp. 473-477, 2003.
- [13] W. C. Chung and D. S. Ha, "On the performance of bi-phase modulated UWB signals in a multipath channel," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1654-1658, 2003.
- [14] M. Z. Win and R. Scholtz, "Impulse radio: How it works," *IEEE Communication Letters*, vol. 2, no. 1, Jan. 1998.
- [15] IEEE Standard 802.11a: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999.
- [16] M. Chamchoy, S. Promwong, P. Tangtisanon, and J. Takada, "Characterization of In-Home UWB Channel with Different Antenna Directivity," *Proc. IEEE Region 10 Conference*, vol. C, pp. 129-132, 2004.



ECTI-CON 2007

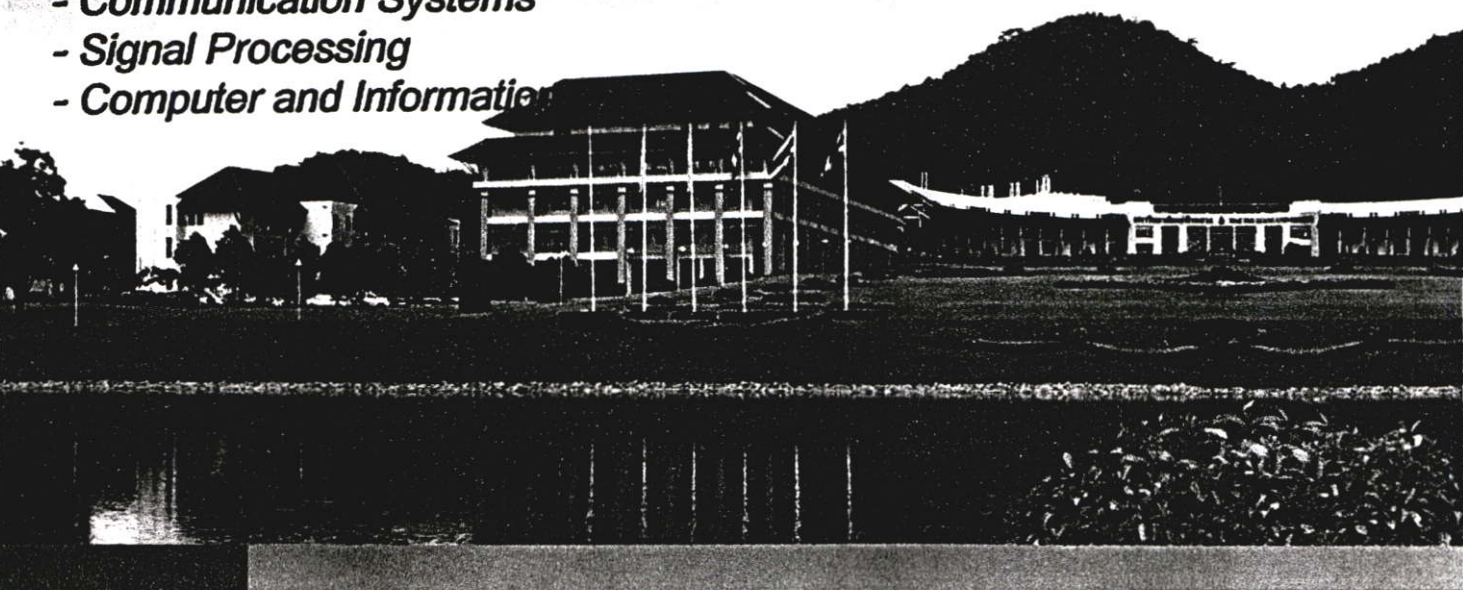
*Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
May 9-12, 2007*

VOLUME 1

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

VOLUME 2

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



Narrowband Interference Suppression for UWB-TH System Based On Modified Template Waveform

Eakaraj Pakdeechard, Monchai Chamchoy, and Sathaporn Promwong

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Email: s7061172@kmitl.ac.th

Abstract—The narrowband interference can affect the performance of the UWB time hopping (TH) system. Therefore, interference suppression technique is important for UWB communication to operate over spectrum with established narrowband system. In this paper, the interference suppression technique based on modified template waveform for correlation receiver is employed, where the modulation techniques and path loss model are considered. Our study demonstrates that the BER performance of the modified template waveform is better than the original one. Therefore, the modified template waveform based correlation receiver is simple and low complexity technique which can improve the system performance significantly.

I. INTRODUCTION

Ultra wideband (UWB) radio technology has a great interest in wireless networking. UWB offers many advantages which can be described as the potential for low cost, low power transmission, high data rates and immunity to multipath. Instead of using a narrow carrier frequency, UWB transmits pulses of power spectral density (PSD) in the range of the ultra wide frequency spectrum. The Federal Communications Commission (FCC) defines UWB as any signal that occupies more than 500 MHz in the frequency range of 3.1-10.6 GHz with the maximum emission power of -41.3 dBm/MHz [1]. Because of the transmission at low power, the UWB signal is considered to be noise for other communication systems. Therefore, UWB radio technology can coexist with other RF technologies without interference. Unfortunately, at close proximity, UWB radio can induce interference and degrade the throughput of the other system.

Numerous literatures study on UWB interference to other existence narrowband system [2]-[8]. On the other hand, there are few research study on the influence of narrowband interference (NBI) to UWB communication system. Especially, the IEEE 802.11a wireless LAN system operates at 5 GHz bands which overlaps the UWB spectrum [9]. This system uses orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) based transmission. In [10], the coexistence of UWB system and wireless LANs is investigated for LOS and NLOS propagation scenarios. The results show that wireless LAN interference can greatly impact the performance of the UWB receiver. Similarly, the interference from a nearby NBI will affect UWB performance also provides in [11]. While the analytical approach of the IEEE 802.11a interference on UWB systems

is given in [12]. Therefore, the interference suppression technique is required for UWB communication.

In this paper, we propose the modified template waveform based correlation receiver for interference suppression. The proposed waveform is the filtered Gaussian doublet pulse by using notch-filter to reject the narrowband interference (IEEE802.11a WLAN). Our simulation illustrates that the modified template waveform based correlation receiver allows significant performance improvement in the presence of the narrowband interference.

The organization of the paper is as follows. In Section II, the models of UWB time-hopping transmission and IEEE 802.11a interference are provided. The performance simulation and results will be given in Section III and the conclusion is given in Section IV.

II. SYSTEM MODELS

A. The UWB Transmitter Model

A common method for implementing the UWB signal is widely referred to as Impulse Radio (IR) [13]. Therefore, Gaussian doublet pulse shape is considered as a transmitted waveform and is given by

$$p(t) = A(1 - \frac{2t^2}{\xi^2}) \exp[-(t/\xi)^2], \quad (1)$$

where A is the maximum amplitude, ξ is the $1/e$ characteristic delay time. This waveform is the second derivative of the Gaussian pulse.

Modulation method for UWB time-hopping in the transmission are considered. The most common method of time-based techniques modulation is pulse position modulation (PPM) which may be expressed as

$$s_{\text{PPM}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k), \quad (2)$$

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

Another common method of modulation is to invert the pulse. This is known as bi-phase modulation (BPM) and is

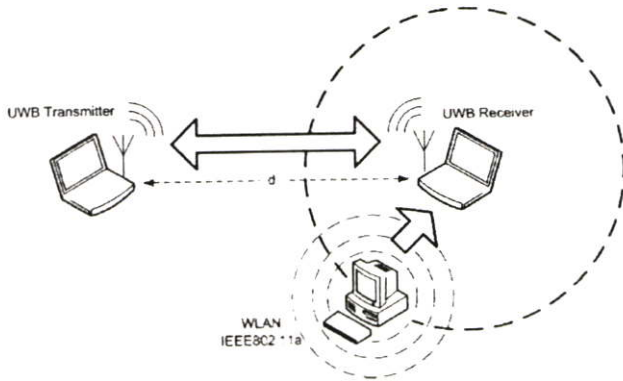


Fig. 1. Model of UWB transmission in the presence of the IEEE 802.11a interference.

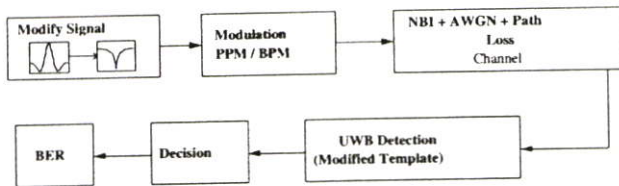


Fig. 2. The block diagram of the NBI suppression technique based on modified template waveform.

given by

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

where α_k represents the modulation symbol sequence for BPM ($[-1, 1]$).

B. IEEE 802.11a NBI and Path Loss Model

The NBI transmitted signal can be represented as [9]

$$s_{\text{NBI}}(t) = w_T(t) \cdot \Re \left\{ \sum_{k=-N_{ST}/2}^{k=N_{ST}/2-1} c_k e^{j2\pi k \Delta F (t - T_G)} e^{j2\pi f_c t} \right\}, \quad (4)$$

where N_{ST} is the total number of subcarrier, c_k is the set of coefficients transmitted, T_G is the guard time and ΔF represents the subcarrier frequency spacing, $w_T(t)$ is a time-windowing function that defines the boundaries of the subframe which assume a rectangular $w_T(t)$ with unit amplitude.

In order to calculate the SINR of the UWB system in the presence of the IEEE 802.11a interference, the empirical path loss model is employed. Therefore, the SINR at the UWB receiver is given by

$$\text{SINR}_{\text{UWB}} = P_R(d) - 10 \log(NBI_{802.11a} + N_{\text{UWB}}), \quad (5)$$

where $NBI_{802.11a}$ and N_{UWB} are interference and noise power at the UWB receiver, respectively. The propagation path loss model may be expressed as

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right); \quad d \geq d_0, \quad (6)$$

where n is the path loss exponent which indicates the rate of the path loss increases with distance and d represents the T-R separation distance. Fig. 1 illustrates the UWB time-hopping system in the presence of IEEE 802.11a interference.

C. The Modified Template Waveform

Due to the UWB transmitted signal occupies an ultrawide bandwidth which cover the IEEE802.11a wireless LAN system operation. From [14], the IEEE802.11a wireless LAN can affect the performance of the UWB time-hopping system. Therefore, the interference suppression technique is required. We propose the modified template waveform technique which is simple and low complexity structure. This suppression technique involves the filtered UWB transmitted signal $p(t)$ by using the notch filter for reject bandwidth of the IEEE802.11a wireless LAN. Moreover, we consider the modified template waveform use to transmit and detect signal in the UWB system as shown in Fig. 2. The modified transmitted waveform is given by

$$u(t) = \sum_{w=-W}^{+W} \alpha_w p(t - wT_c). \quad (7)$$

Therefore, the modified template waveform is given by

$$M(t) = u(t) - u(t - \delta), \quad (8)$$

where T_c is one sample per bin period, the coefficients of the filter are $\{\alpha_w\}$ for $w = [-W, \dots, W]$ and the number of taps on each side of the notch filter is W .

Fig. 3 shows the template waveform for the UWB correlation receiver. A left side pulse in the figure is the original template waveform, while the modified template waveform is shown in the right figure.

D. The UWB Receiver Model

A transmitted signal passes through the wireless channel including the transmitter and receiver antennas. Therefore,

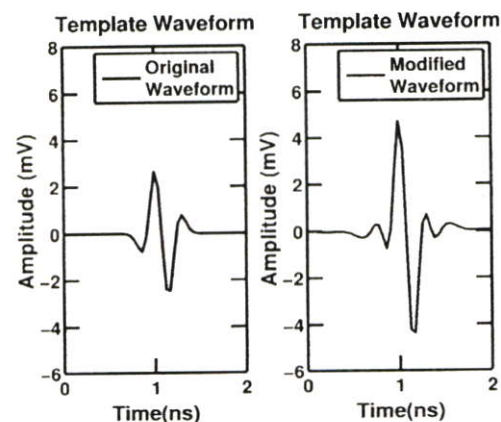


Fig. 3. The template signal waveform based correlation receiver. The left figure is the original template waveform and the right figure is the modified template waveform.

the total received signal for UWB PPM transmitter can be expressed as

$$r_{\text{PPM}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k) + s_{\text{NBI}}(t) + n(t), \quad (9)$$

and for UWB BPM transmitter,

$$r_{\text{BPM}}(t) = \alpha_k \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(t - nT_f - T_{c_n} - \tau_k) + s_{\text{NBI}}(t) + n(t), \quad (10)$$

where $s_{\text{NBI}}(t)$ represents the IEEE 802.11a interference and $n(t)$ is the additive white Gaussian noise.

The receiver considers the received signal $r(t)$ and decide based on an observation of the received signal for the decided bit, it uses correlation receiver signal with the template signal. Therefore, the received signal with the PPM transmission may be expressed as

$$r_{\text{PPM},k} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \int_{\tau_k + nT_f}^{\tau_k + (j+1)T_f} r_{\text{PPM}}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{c_n} - T_{p_n} - \tau_k) dt, \quad (11)$$

and for the BPM transmission

$$r_{\text{BPM},k} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \int_{\tau_k + nT_f}^{\tau_k + (j+1)T_f} r_{\text{BPM}}(t) \cdot v(t - nT_f - T_{c_n} - \tau_k) dt, \quad (12)$$

where $v(t) = p(t) - p(t - \delta)$ represents the template signal. Therefore, in the case of the modified template waveform based correlation receiver, $v(t)$ is replaced by $M(t)$.

III. PERFORMANCE SIMULATION AND RESULTS

The effects of NBI on the UWB time-hopping system, the IEEE 802.11a wireless LAN physical layer [15] with the operating frequency bands of 5.15-5.25 GHz, 5.25-5.35 GHz, and 5.725-5.825 GHz were generated by the computer simulation. The empirical path loss exponent in equation (6), n equals to 1.73 [16]. Consequently, the UWB transmitted power (EIRP) was set to be -41.3 dBm/MHz based on the FCC requirements [1]. The Gaussian doublet pulse width of 0.28 ns was assumed for the transmitting waveform. The pulse repetition time $T_f = 5$ ns, therefore, the transmission rate equals to 200 Mbps. Antennas are assumed to be omni-directional radiation pattern. Suppose that the transmitter and the receiver are perfectly synchronized. Therefore, the correlation receiver can be obtained for detecting the PPM and BPM symbols. The UWB and the NBI simulation parameters are listed in Table I.

Referring to the model of the UWB time-hopping in the presence of the IEEE 802.11a interference as shown in Fig. 1. The influence of the NBI increases as the T-R separation distance increases. Therefore, three observation points at 1, 5 and 10 meter are investigated to verify the performance of

TABLE I
UWB AND NBI SIMULATION PARAMETERS.

Quantity	Values
UWB data rate	200 Mbps
UWB transmitter power	-41.3 dBm/MHz
UWB bandwidth	7.5 GHz
UWB center frequency	6.85 GHz
T-R separation	1, 5, and 10 m
Pulse width	0.28 ns
Pulse repetition time	5 ns
PPM time shift	0.188 ns
NBI frequency bands	5.15-5.25 GHz 5.25-5.35 GHz 5.725-5.825 GHz
NBI data rate	54 Mbps
Path loss exponent	1.73

the modified template waveform for the UWB time-hopping system. However, the BER performance of the UWB system depends on the T-R separation distance between UWB transmitter and receiver. Moreover, it also depends on the separation between UWB receiver and wireless LAN interferer. The separation distance between the UWB receiver and the NBI depends on the SINR. Hence, the continuous transmission of the interferer was assumed for entire simulation time for the considered UWB system.

Fig. 4 shows the UWB performance of the original template waveform and the modified template waveform on the influence of the IEEE 802.11a wireless LAN interferer. The BER performance of the UWB-PPM without modified template (PPM), the UWB-BPM without modified template (BPM), the UWB-PPM modified template waveform (mPPM) and the UWB-BPM modified template waveform (mBPM) are illustrated by the cycle solid line, the square solid line, the cycle dot line and the square dot line, respectively, for the transmission rate of 200 Mbps at the three different observation points.

Fig. 4(a)-(c) show the comparison of BER performances for the observation points at 1, 5, and 10 meter, respectively. As predicted, it can be seen that the UWB correlation receiver with the modified template waveform (mBPM, mPPM) always outperform the UWB-PPM and UWB-BPM that without the modified template (BPM, PPM).

From these results, it is found that the modified template waveform performs better than the original template waveform. Therefore, this NBI suppression technique can improve the performance of UWB system. In addition, it is clearly observed that the involvement of the T-R separation distance with the average BER performance are direct variation.

IV. CONCLUSION

In this paper, the narrowband interference suppression technique for UWB-TH system based on modified template waveform is investigated. The system performance was characterized in term of the bit error rate. Simulation results show that the modified template waveform outperforms the original

one. In addition, it is found that the BER performances of the PPM are better than the BPM in the presence of the NBI for the entire range of the SINR. Moreover, the NBI can significantly affect to the UWB correlation receiver depended on the probability of signal overlap and the T-R separation distance of the IEEE 802.11a interferer to the UWB receiver.

REFERENCES

- [1] Federal Communications Commission, First order and report: Revision of part 15 of the Commission's rules regarding UWB transmission systems. Apr. 22, 2002.
- [2] R. Giuliano and F. Mazzenga, "On the coexistence of power-controlled ultrawide-band systems with UMTS, GPS, DCS1800, and fixed wireless systems," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 54, no. 1, pp. 62-81, Jan. 2005.
- [3] R. D. Wilson, R. D. Weaver, M.-H. Chung, R. A. Scholtz, "Ultra wideband interference effects on an amateur radio receiver," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 315-319, 2002.
- [4] D. Landi and C. Fischer, "The effects of UWB interference on GSM systems," *Proc. International Zurich Seminar on Communications*, pp. 86-89, 2002.
- [5] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Analysis of ultra wideband signal interference to DSSS receiver," *Proc. IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications*, pp. 229-233, 2003.
- [6] S.-S. Choi and W.-J. Oh, "Analysis the interference of pulse position modulated UWB into IEEE 802.11 a WLAN," *Proc. UWBST & IWUWBS*, pp. 328-331, 2004.
- [7] G. Yue, L. Ge, and S. Li, "Ultra wideband impulse radio signal interference to code division multiple access system," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 2437-2441, 2003.
- [8] M. Hamalainen, J. Saloranta, J.-P. Makela, I. Oppermann, and T. Patana, "Ultra wideband signal impact on IEEE802.11b and Bluetooth performances," *Proc. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 1, pp. 280-284, 2003.
- [9] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [10] J. Bellorado, S. S. Ghassemzadeh, L. J. Greenstein, T. Sveinsson, and V. Tarokh, "Coexistence of ultra-wideband systems with IEEE-802.11 a wireless LANs," *Proc. Global Telecommunications Conference*, vol. 1, pp. 410-414, 2003.
- [11] X. Chu and R. D. Murch, "The effect of NBI on UWB time-hopping systems," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 1431-1436, Sept. 2004.
- [12] B. Firoozbakhsh, T. G. Pratt, and N. Jayant, "Analysis of IEEE802.11a interference on UWB system," *Proc. Ultra Wideband Systems and Technologies Conference*, pp. 473-477, 2003.
- [13] M. Z. Win and R. Scholtz, "Impulse radio: How it works", *IEEE Communication Letters*, vol. 2, no. 1, Jan. 1998.
- [14] E. Pakdeechard, M. Chamchoy and S. Promwong, "A study on Performance of UWB System in the Presence of IEEE 802.11a Interference," *ISCIT 2005 Beijing Conference*, pp. 936-939, 2005.
- [15] IEEE Standard 802.11a: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, 1999.
- [16] M. Chamchoy, S. Promwong, P. Tangtisanon, and J. Takada, "Characterization of In-Home UWB Channel with Different Antenna Directivity," *Proc. IEEE Region 10 Conference*, vol. C, pp. 129-132, 2004.

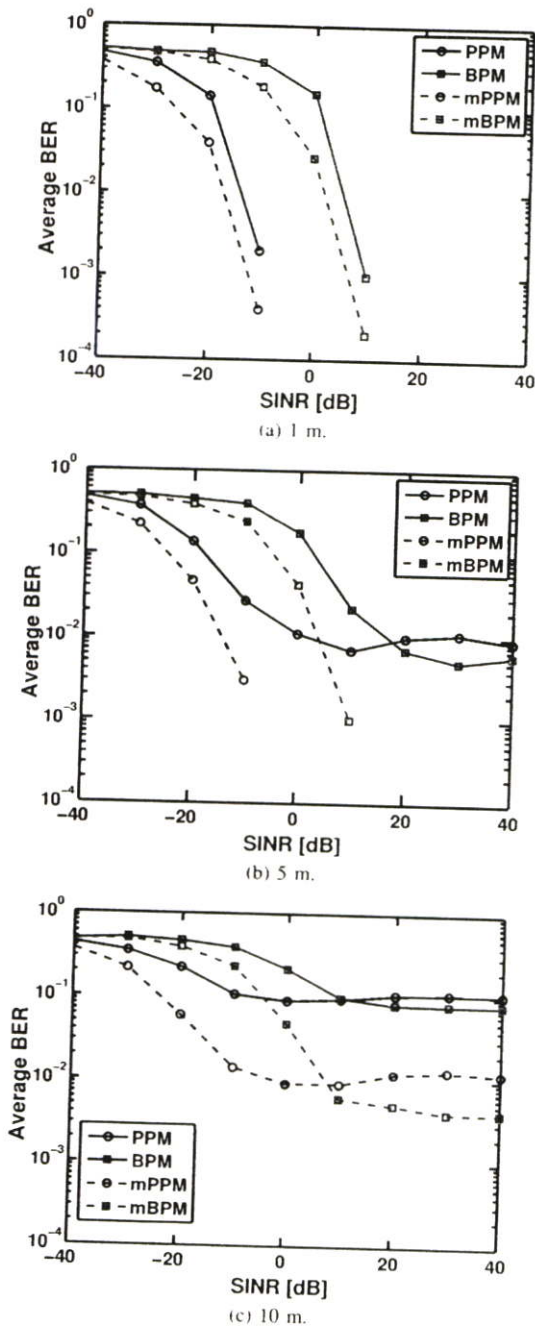


Fig. 4. Average BER vs SINR for UWB correlation receiver with the original and modified templates waveform. The T-R separation distance was set to be 1, 5, and 10 meter, respectively.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายเอกราช ภัคดีชาติ
 วัน เดือน ปีเกิด 9 กรกฎาคม 2525 กรุงเทพมหานคร
 ที่อยู่ 121/11 ซ.6 หมู่บ้าน สัมมากร แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง
 กรุงเทพฯ 10240
 ประวัติการศึกษา 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผลงานวิจัย

- พ.ศ.2548 **A Study on Performance of UWB System in the Presence of IEEE 802.11a Interference**, Internation Symposium on Communications and InformationTechnologies 2005 (ISCIT2005), October 12-14, Fragrant Hill Hotel, Beijing, China.
- พ.ศ.2550 **Narrowband Interference Suppression for UWB-TH System Based On Modified Template Waveform**, Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology 2007 (ECTI2007), May 9-12, Mae Fah Luang University, Chiang Rai Thailand.