สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

STUDY ON TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

โดย

นายอัครพล เพ็ญแก้ว

นางสาวอัญญพร บุญยะพงศ์ไชย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 83240
วันลงทะเบียน,ปี 11 ส.ค. 2551

.b 11962973
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON TRANSMISSION CHARACTERISTICS OF ULTRA WIDEBAND COMMUNICATIONS

BY

Mr. AKARAPOL PENKAEW

Miss ANYAPORN BOONYAPONGCHAI

A PROJECT SUBMITTED IN PARTAIL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา	นายอัครพล เพ็ญแก้ว	รหัสประจำตัว 47012156
	นางสาวอัญญพร บุญยะพงศ์ไชย	รหัสประจำตัว 47012157
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิชญ สุพรรณกูล	
	อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์	
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2550	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(ผศ.พิชญ สุพรรณกูล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ชื่อนักศึกษา นายอัครพล เพ็ญแก้ว รหัสประจำตัว 47012156
นางสาวอัญญพร บุญยะพงศ์ไชย รหัสประจำตัว 47012157

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.พิชญ สุพรรณกูล
อาจารย์สถาพร พรหมวงศ์

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาในเรื่องของคุณสมบัติการส่งผ่านของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (Ultra Wideband: UWB) โดยได้พิจารณาสัญญาณ UWB ช่องสัญญาณ และ เครื่องรับชนิดต่างๆ โดยหารูปคลื่นที่รับได้ การสูญเสียเชิงวิถี และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการศึกษา ซึ่งได้มีการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) ให้ง่ายต่อการใช้งานสามารถเลือกชนิดของสัญญาณ ชนิดของช่องสัญญาณ สัญญาณที่ได้รับจากช่องสัญญาณชนิดต่างๆ และสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องรับ อีกทั้งยังสามารถเลือกแสดงคุณสมบัติการส่งผ่านต่างๆได้ โดยใช้สัญญาณส่ง UWB เป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ที่มีเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ และ เครื่องรับที่ใช้สัญญาณจากสายอากาศไอโซโทปิคเป็นแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Study on Transmission Characteristics of Ultra Wideband Communications	
Student	Mr. Akarapol Penkeaw	ID. 47012156
	Ms. Anyaporn Boonyapongchai	ID. 47012157
Advisor	Asst. Prof. Pichaya Supanakoon	
	Mr. Sathaporn Promwong	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	*Information Engineering*	
Academic Year	2007	

ABSTRACT

In this project study on transmission characteristics of ultra wideband communications (UWB) to consider with signal, channel and receiver. The received waveform, path loss and correlation coefficient are evaluated by using MATLAB program. The Graphic User Interface (GUI) is designed for easy use, which can be choosing the type of signals, channels and receivers. Moreover, the characteristics of transmission can be choosing to show. The rectangular passband, modulated Gaussian and modulated rectangular waveform are used as the transmitted signal, which transmit to free space, ground reflection and measurement channels with received signal, transmitted signal and isotropic template receivers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการที่โครงงานนี้ให้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น เนื่องด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชญ สุพรรณกูล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม โดยข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ทั้งสองท่านในหลายๆด้าน ทั้งในด้านของการให้ความรู้และข้อเสนอแนะในการทำโครงงาน ข้อเสนอแนะในเรื่องของการนำเสนอผลงาน ตลอดจนให้ความห่วงใย คอยสอบถามติดตามปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ จนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสิ้น ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดา มารดา สำหรับกำลังใจที่มีให้อยู่ตลอด ขอบคุณพี่น้องและเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำดีๆ คอยถามไถ่ความคืบหน้า และอยู่เคียงข้างกันมาตลอด

ผู้จัดทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 สถาปัตยกรรมของระบบ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 3

2.1 บทนำ 3

2.2 นิยามและข้อกำหนดการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 3

2.2.1 นิยามการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 3

2.2.2 ข้อกำหนดการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง 4

2.3 แบบแผนการมอดูเลต UWB 6

2.3.1 การมอดูเลตแบบเลื่อนตำแหน่ง (Pulse Position Modulation: PPM) 6

2.3.2 การมอดูเลตแบบ 2 เฟส (Bi-Phase Modulation: BPM) 7

2.3.3 วิธีการมอดูเลตแบบอื่นๆ 8

2.4 สัญญาณส่ง UWB 9

2.4.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม 9

2.4.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 9

2.4.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 ช่องสัญญาณ UWB 10
2.5.1 ช่องสัญญาณอากาศว่าง 10
2.5.2 ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น 11
2.6 สัญญาณรับ UWB 13
2.7 เครื่องรับ UWB 13
2.7.1 เครื่องรับแบบแมตฟิลเตอร์ 13
2.7.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ 14
2.7.3 เครื่องรับที่ใช้สัญญาณจากสายอากาศไอโซโทรปิคเป็นแม่แบบ 15
2.8 การสูญเสียเชิงวิถี 16
2.9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 16

บทที่ 3 การสร้าง GUI ด้วย MATLAB 18
3.1 บทนำ 18
3.2 การสร้าง GUI ด้วย GUIDE 19
3.3 ส่วนประกอบของ GUI ใน MATLAB 19
3.4 การสร้าง Application M-file ของ GUIDE 19
3.4.1 การสร้างต้นแบบของ Application M-file 20
3.4.2 ใช้สีพื้นที่กำหนดด้วยระบบที่ MATLAB ทำงานอยู่ 20
3.4.3 การตั้งชื่อไฟล์และ Tag 21
3.4.4 การสร้างวัตถุด้วยเครื่องมือ (GUI Layout Tool) 21
3.4.5 การวางส่วนประกอบต่างๆ ลงใน GUI โดย Layout Editor 22
3.4.6 การสร้างการทำงาน (Run) 23
3.4.7 Layout Editor ของเมนู Context 23
3.4.8 การจัดเรียงส่วนประกอบ 24
3.5 การกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ 26
3.6 ตัวควบคุมส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 27
3.6.1 Check boxes 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.2 Editable text boxes 27
3.6.3 Frames 28
3.6.4 List boxes 28
3.6.5 Pop-up menus 28
3.6.6 Push buttons 28
3.6.7 Radio buttons 29
3.6.8 Sliders 29
3.6.9 Static text boxes 29
3.6.10 Toggle buttons 29

บทที่ 4 การออกแบบ GUI 30
4.1 บทนำ 30
4.2 การออกแบบ 30
4.3 การสร้างแอพลิเคชัน 34
4.4 องค์ประกอบของ GUI ที่ได้ทำการออกแบบ 37

บทที่ 5 ผลการทดลอง 40
5.1 บทนำ 40
5.2 การทดลองและผลการทดลอง 40
5.2.1 เริ่มใช้งาน 40
5.2.2 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม 41
5.2.3 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต 43
5.2.4 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต. 46
5.2.5 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณอากาศว่าง 48
5.2.6 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น 50
5.2.7 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด 51
5.2.8 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณที่รับได้ 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.9 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับ 60

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 77

6.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 77

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา 78

เอกสารอ้างอิง 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ช่วงความถี่และ PSD ของระบบสื่อสาร UWB เทียบกับ ระบบการสื่อสารแถบแคบชนิดอื่น 4

2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลา และ PSD ของ สัญญาณในโดเมนความถี่ 4

2.3 การเปรียบเทียบวิธี PPM และ BPM สำหรับการสื่อสาร UWB 8

2.4 การเปรียบเทียบของเทคนิคการมอดูเลต สำหรับการสื่อสาร UWB 8

2.5 แบบจำลองการสะท้อนพื้น 11

3.1 หน้าต่าง GUIDE Application Options 20

3.2 วิธีการเปิด GUIDE 22

3.3 หน้าต่างของ GUIDE Layout Editor 22

3.4 ปุ่ม Run ที่ใช้ในการสร้างการทำงาน 23

3.5 เมนู Context menu ของ List box 23

3.6 Alignment Tool ที่ใช้ในการจัดเรียงกลุ่มวัตถุ 24

3.7 เมนู Grids และ Rulers 25

3.8 ตัวอย่าง guide line ที่ได้จากการดึงเส้นจาก ruler 25

3.9 เครื่องมือในการปรับลำดับของวัตถุ 26

3.10 Object Browser ซึ่งใช้แสดงลำดับขั้นของวัตถุต่างๆ 27

4.1 แผนภาพการทำงานของแอพลิเคชั่นที่ได้ทำการออกแบบ 30

4.2 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกประเภทการวิเคราะห์การสื่อสาร UWB 31

4.3 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกรูปแบบสัญญาณส่ง UWB 32

4.4 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกประเภทช่องสัญญาณ UWB 32

4.5 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกชนิดของเครื่องรับสัญญาณ UWB 33

4.6 แผนภาพขั้นตอนการเลือกประเภทย่อย เมื่อต้องการเลือกวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับจาก 33

4.7 แผนภาพขั้นตอนการระบุรูปแบบฟังก์ชันการโอนถ่ายความถี่, สภาพแวดล้อม และ โดเมน ที่ต้องการวิเคราะห์ 34

4.8 รูปแบบของ GUI ที่ต้องการออกแบบ 35

4.9 ผลที่ได้หลังจากกดปุ่ม Run 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ส่วนประกอบต่างๆของ GUI ที่ได้ทำการออกแบบ 37

5.1 แอพลิเคชันที่สร้างขึ้นประกอบด้วยอินเทอร์เฟส 3 ส่วน 40

5.2 หน้าต่างของแอพลิเคชันเมื่อเริ่มใช้งาน 41

5.3 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลียมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 42

5.4 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลียมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 42

5.5 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลียมในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 43

5.6 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลียมในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 43

5.7 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 44

5.8 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 45

5.9 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 45

5.10 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค
สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 46

5.11 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 47

5.12 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตาม
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 47

5.13 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตาม
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 48

5.14 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตาม
สเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.15 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ ระยะทาง 10 m ในช่วง ความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz 49

5.16 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ ระยะทาง 10 m ในช่วง ความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz 49

5.17 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ที่ระยะทาง 10 m ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็น 1 m ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz....50

5.18 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ที่ระยะทาง 10 m ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็น 1 m ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz....51

5.19 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz 51

5.20 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz....52

5.21 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 52

5.22 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมนเวลา ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 53

5.23 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมน ความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 53

5.24 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมน ความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 54

5.25 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมน เวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 54

5.26 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมน เวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.27 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 55

5.28 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 56

5.29 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 56

5.30 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 57

5.31 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 57

5.32 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 58

5.33 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนเวลาตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 61

5.34 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนเวลาตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 61

5.35 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 62

5.36 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 62

5.37 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.38 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลาตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอก อาคาร 63

5.39 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 64

5.40 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 64

5.41 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร.....65

5.42 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอก อาคาร 65

5.43 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร 66

5.44 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ข้อจำกัดการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสาร ภายในอาคารภายนอกอาคาร 5

2.2 ประเภทการใช้งานที่ได้รับการอนุมัติจาก FCC 5

5.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร 58

5.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด..... 59

5.3 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด..... 59

5.4 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 59

5.5 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 59

5.6 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 60

5.7 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 60

5.8 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด..... 60

5.9 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร 67

5.10 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร 67

5.11 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.12 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 68

5.13 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 68

5.14 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 69

5.15 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 69

5.16 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 69

5.17 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 70

5.18 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 70

5.19 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 70

5.20 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.21 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 71

5.22 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 71

5.23 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 72

5.24 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 72

5.25 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด 72

5.26 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 73

5.27 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 73

5.28 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 73

5.29 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.30 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด 74

5.31 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 74

5.32 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด 75

5.33 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด 75

5.34 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดสูงสุด 75

5.35 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (*Ultra Wideband: UWB*) เป็นเทคโนโลยีการเข้าถึงข้อมูลด้วยความเร็วสูง ในลักษณะบรอดแบนด์ไร้สายผ่านทางคลื่นวิทยุ ซึ่งในปัจจุบันถือว่าเทคโนโลยีนี้กำลังเป็นที่จับตามอง เนื่องจากระบบ UWB นั้นมีต้นทุนถูกและกำลังส่งที่ต่ำ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ ทั้งในเรื่องของอัตราเร็วในการส่งข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้ ระยะทางในการสื่อสาร จำนวนของผู้ใช้ในระบบ ฯลฯ จึงทำให้มีการวิจัยเทคโนโลยี UWB อย่างจริงจังและแพร่หลายมากขึ้น เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด โดยจะเข้ามาช่วยลดปัญหาการขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นจะเห็นได้ว่าได้มีการนำเอาการสื่อสาร UWB ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลความเร็วสูง (High - Data - Rate Wireless Personal Area Network: HOR - WPAN) การเชื่อมโยงอีเทอร์เน็ทไร้สาย (Wireless Ethernet Interface Link: WEIL) โครงข่ายไร้สายอัจฉริยะ (Intelligent Wireless Area Network: IWAN) โครงข่ายภายนอกแบบเพียร์ทูเพียร์ (Outdoor Peer - to - Peer Network: OPPN) และโครงข่ายเซ็นเซอร์การหาตำแหน่งและการพิสูจน์อุปกรณ์ (Sensor Positioning and Identification Network: SPIN) เป็นต้น

หากจะกล่าวถึงเรื่องระบบการสื่อสาร นอกจากอัตราเร็วในการรับส่งข่าวสารและระยะทางในการสื่อสารแล้วนั้น สิ่งที่สำคัญต่อระบบอีกเรื่องหนึ่งก็คือ ประสิทธิภาพในการสื่อสาร โดยการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพจะเกิดขึ้นได้ จะต้องประกอบด้วยหลายปัจจัยด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการในการส่ง หรือกระบวนการในการรับ รวมถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่ง และเพื่อจะนำเทคโนโลยีการสื่อสาร UWB ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องศึกษาลักษณะสำคัญและหลักการทำงานรวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นวิธีการมอดูเลตสัญญาณ ประเภทของสัญญาณส่ง ช่องสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษานิยามและข้อกำหนดของเทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง (UWB) ทฤษฎีของสัญญาณ UWB ช่องสัญญาณ และเครื่องรับชนิดต่างๆ รวมถึงการศึกษาทฤษฎีและการวิเคราะห์หาคุณสมบัติการส่งผ่านของการสื่อสาร UWB โดยใช้โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติส่งผ่านของการสื่อสาร UWB โดยพิจารณาในเรื่องของสัญญาณ UWB ช่องสัญญาณและเครื่องรับชนิดต่างๆ โดยหารูปคลื่นที่รับได้ การสูญเสียเชิงวิถี และค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์

1.4 สถาปัตยกรรมของระบบ

ในโครงงานนี้ ได้มีการนำโปรแกรม MATLAB มาใช้ในส่วนของการคำนวณและวิเคราะห์สัญญาณ และได้นำ GUIDE ซึ่งเป็นแอพลิเคชันหนึ่งของโปรแกรม MATLAB ที่มีความสามารถในการสร้างGUI ซึ่งในการสร้าง GUI นั้น จะช่วยเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานให้กับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้ใช้สามารถกำหนดค่า และเลือกรูปแบบของสัญญาณได้ด้วยตัวเอง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 6 บท ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของโครงงาน สถาปัตยกรรมของระบบ องค์ประกอบหลักๆ โดยรวมของโครงงาน และขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง มีเนื้อหาประกอบด้วย บทนำ นิยามและข้อกำหนดของการสื่อสาร UWB ทฤษฎีและรูปแบบการมอดูเลต สัญญาณส่ง UWB ช่องสัญญาณ สัญญาณรับ UWB เครื่องรับ UWB การสูญเสียเชิงวิถี และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

บทที่ 3 กล่าวถึงการสร้าง GUI โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีเนื้อหาประกอบไปด้วย บทนำ ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน การสร้าง GUI ด้วย GUIDE ส่วนประกอบของ GUI ใน MATLAB การสร้าง Application M-file ของ GUIDE การกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ และตัวควบคุมส่วนติดต่อกับผู้ใช้

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบโครงงาน ซึ่งได้มีการอธิบายถึงขั้นตอนในการออกแบบโดยละเอียด เนื้อหาจะประกอบไปด้วย บทนำ การออกแบบ และองค์ประกอบของ GUI ที่ได้ทำการออกแบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลอง ได้มีเนื้อหาเกี่ยวกับ บทนำ การทดลองและผลการทดลอง และสรุปผลที่ได้ออกมาเป็นรูปภาพ พร้อมคำอธิบาย

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปของผลการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงเรื่องการศึกษาการสื่อสาร UWB การใช้งานแอพลิเคชัน และข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ระบบการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

2.1 บทนำ

ในโลกที่เทคโนโลยีพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งไปพร้อมกับความต้องการของมนุษย์ มนุษย์นั้นต้องการความสะดวกสบาย ความรวดเร็ว และผลลัพธ์ที่ตนพึงพอใจ สิ่งหนึ่งที่จำเป็นสำหรับในยุคแห่งสารสนเทศนี้คือการสื่อสาร การสื่อสารช่วยให้มนุษย์ได้รับรู้ข่าวสารมากมาย สามารถมองโลกในมุมกว้าง และยังช่วยส่งเสริมประโยชน์ในด้านอื่นอีก เช่น การติดต่อค้าขาย การเรียนการศึกษา จึงจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญในเรื่องนี้เป็นพิเศษ เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันนั้นได้พัฒนามาจนถึงการสื่อสารไร้สาย ซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกสบายโดยในปัจจุบันนั้น ได้มีเทคโนโลยีการสื่อสารที่เกี่ยวข้องมากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบ WiFi, Bluetooth, CDMA เป็นต้น และอีกหนึ่งเทคโนโลยีระบบการสื่อสารที่กำลังเป็นที่จับตาอยู่ตอนนี้ นั่นก็คือ ระบบการสื่อสาร UWB

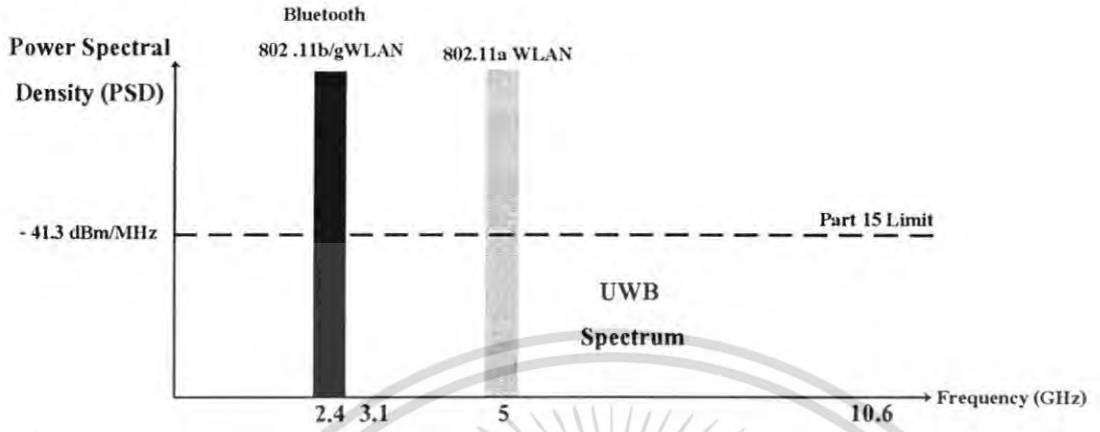
ระบบการสื่อสาร UWB เป็นเทคโนโลยีการเข้าถึงข้อมูลความเร็วสูง ในลักษณะบรอดแบนด์ไร้สายผ่านทางคลื่นวิทยุ ได้รับการวิจัยและพัฒนาเป็นครั้งแรกโดยประเทศสหรัฐอเมริกา และได้แพร่พัฒนาไปยังทวีปยุโรปและเอเชีย ซึ่งระบบการสื่อสาร UWB นั้นสามารถจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังมีต้นทุนที่ถูกและกำลังส่งที่ต่ำ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นระบบการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

2.2 นิยามและข้อกำหนดของการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

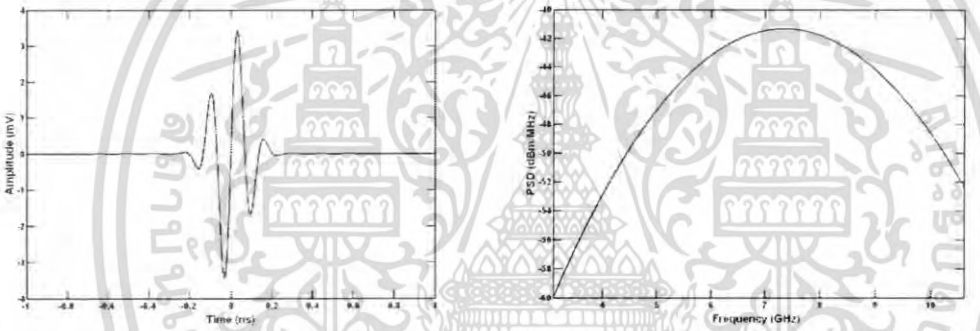
2.2.1 นิยามการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา(FCC) ได้ให้นิยามการสื่อสาร UWB ว่าจะมีการใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ 3.1 ถึง 10.6 GHz โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด คือ 7.5 GHz โดยสัญญาณของการสื่อสาร UWB จะเป็นสัญญาณพัลส์ ที่มีลักษณะแคบๆ ขนาดประมาณ 0.4 ns ทำให้มีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density: PSD) ที่กว้างมาก และเพื่อป้องกันปัญหาการแทรกสอดหรือการรบกวน ทาง FCC จึงได้กำหนดให้ สัญญาณ UWB ที่ส่งออกไปจะต้องมี PSD ที่ต่ำระดับข้อจำกัดสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 หรือ -41.3 dBm/MHz ดังรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงช่วงความถี่และ PSD ของระบบ UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ช่วงความถี่และ PSD ของระบบสื่อสาร UWB เทียบกับระบบการสื่อสารแถบแคบชนิดอื่น



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลา และ PSD ของสัญญาณในโดเมนความถี่

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสัญญาณพัลส์ที่แคบๆของสัญญาณ UWB นั้นทำให้ PSD กว้างมาก ดังนั้นจึงสามารถแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้าง

2.2.2 ข้อกำหนดการสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

FCC ได้กำหนดการใช้งาน สำหรับการสื่อสาร UWB ไว้ว่า ให้มีความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือ กำหนดให้แบนด์-วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 MHz โดยความกว้างของแบนด์วิดท์ f_b สามารถหาได้จาก

$$f_b = f_H - f_L \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ f_H คือความถี่สูงสุด และ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดของสัญญาณ UWB โดยค่าความถี่สูงสุด และต่ำสุดของแถบความถี่นี้ ได้พิจารณาที่ระดับสูงสุดลดมา 10 dB โดยแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วน f_f นั้นสามารถหาได้จาก

$$f_f = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \tag{2.2}$$

ซึ่งอุปกรณ์ของระบบการสื่อสาร UWB จะสามารถทำงานได้ตามที่ได้รับอนุญาตในระดับข้อจำกัดของสัญญาณรบกวนส่วนที่ 15 หรือ -41.3 dBm/MHz และกำหนดควบคุม PSD ที่แผ่กระจายออกมาของระบบ UWB สำหรับใช้ในการสื่อสารภายในและภายนอกอาคาร ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดการแผ่กระจาย PSD ที่กำหนดโดย FCC สำหรับการสื่อสารภายในอาคารและภายนอกอาคาร

แถบความถี่ (MHz)	**PSD (dBm/MHz)**	
	ภายในอาคาร	**ภายนอกอาคาร**
960 - 1610	-75.3	-75.3
1610 - 1990	- 53.3	- 63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

ตารางที่ 2.2 ประเภทการใช้งานที่ได้รับการอนุมัติจาก FCC

แถบความถี่ที่ใช้งาน	**การประยุกต์การใช้งาน**
3.1 – 10.6 GHz	ระบบการสื่อสารและระบบการวัด
< 960 MHz หรือ 3.1 – 10.6 GHz	ระบบการสร้างภาพและเรดาร์ทะลุพื้น
< 960 MHz หรือ 1.99 – 10.6 GHz	ระบบทะลุกำแพง
1.99 – 10.6 GHz	ระบบระเตือนภัย
24 - 29 GHz	ยานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังตารางที่ 2.2 นั้นแสดงถึงข้อกำหนดที่ FCC ได้อนุมัติไว้สำหรับแถบความถี่ของระบบการสื่อสาร UWB ที่จะและนำไปใช้งาน เพื่อเป็นการจัดระเบียบแถบความถี่และสะดวกในการใช้งาน

2.3 แบบแผนการมอดูเลต UWB

สัญญาณ UWB นั้นมีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งในหนึ่งพัลส์นั้น ถ้าต้องการให้ส่งไปพร้อมกับข่าวสารได้นั้น จะต้องทำการแปลงข้อมูลข่าวสารทางดิจิตอลมาเป็นพัลส์อนาลอก โดยการนำสัญญาณ UWB มาทำการมอดูเลต

แบบแผนการมอดูเลตกำหนดได้เป็น 2 ชนิดพื้นฐาน คือ

1. เทคนิคการมอดูเลตทางเวลา ได้แก่ การมอดูเลตแบบเลื่อนตำแหน่ง (PPM)
2. เทคนิคการมอดูเลตทางรูปร่าง เช่น การมอดูเลตแบบ 2 เฟส (BPM), การคีย์แบบออน-ออฟ (OOK), การมอดูเลตขนาดพัลส์ (PAM), และการมอดูเลตแบบตั้งฉาก (OPM) เป็นต้น

2.3.1 การมอดูเลตแบบเลื่อนตำแหน่ง (Pulse Position Modulation: PPM)

การมอดูเลตแบบเลื่อนตำแหน่งนั้นเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยม เป็นการมอดูเลตแบบขั้วตั้งฉาก โดยแต่ละพัลส์จะถูกหน่วงเวลาหรือถูกส่งในช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับระบบการสื่อสารแบบไบนารี สามารถเลื่อนเวลาได้ 2 แบบคือ เดินหน้า หรือ ถอยหลัง โดยการกำหนดการหน่วงเวลาสำหรับแต่ละพัลส์ในระบบแถวลำดับ M ที่สามารถสร้างขึ้นได้

พารามิเตอร์ที่สำคัญใน PPM คือ ค่าของการหน่วงเวลาของพัลส์ โดยการกำหนดให้พัลส์เป็นรูปคลื่นใดๆ $p(t)$ ซึ่งเราสามารถมอดูเลตโดยใช้พารามิเตอร์เวลาประวิง τ_i จะได้พัลส์ที่ถูกมอดูเลต s_i ดังนี้

$$s_i = p(t - \tau_i) \tag{2.3}$$

เมื่อ t คือเวลา ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้ τ_1 = -0.75 τ_2 = -0.25 τ_3 =0.25 และ τ_4 =0.75 s จะได้ระบบ PPM แบบแถวลำดับ 4 ซึ่งจะได้พัลส์ที่ถูกมอดูเลตทั้งหมดสี่แบบดังนี้

$$s_1 = p(t + 0.75) \tag{2.4ก}$$

$$s_2 = p(t + 0.25) \tag{2.4ข}$$

$$s_3 = p(t - 0.25) \tag{2.4ค}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s_4 = p(t - 0.75) \tag{2.4ง}$$

ข้อดีของ PPM คือ มีความง่ายในการประวิงเวลา โดยระบบการสื่อสาร UWB ต้องมีการควบคุมเวลาที่มีความละเอียดสูงสำหรับการมอดูเลตพัลส์ โดยเป็นหน่วยถึง ns ได้อย่างแม่นยำ

2.3.2 การมอดูเลตแบบ 2 เฟส (Bi-Phase Modulation: BPM)

สำหรับระบบการสื่อสาร UWB การมอดูเลตแบบสองเฟสทำได้โดยการกลับรูปร่างของพัลส์ โดยเป็นการมอดูเลตแบบขั้วต่างกัน ดังนี้

$$s_i = \sigma_i p(t) \tag{2.5}$$

เมื่อ σ_i เป็นน้ำหนักของพัลส์ มีค่าเท่ากับ 1 หรือ -1 สำหรับไบนารีนั้นจะมีรูปร่างพัลส์อยู่ 2 แบบ คือ s_1 และ s_2 กำหนดดังนี้

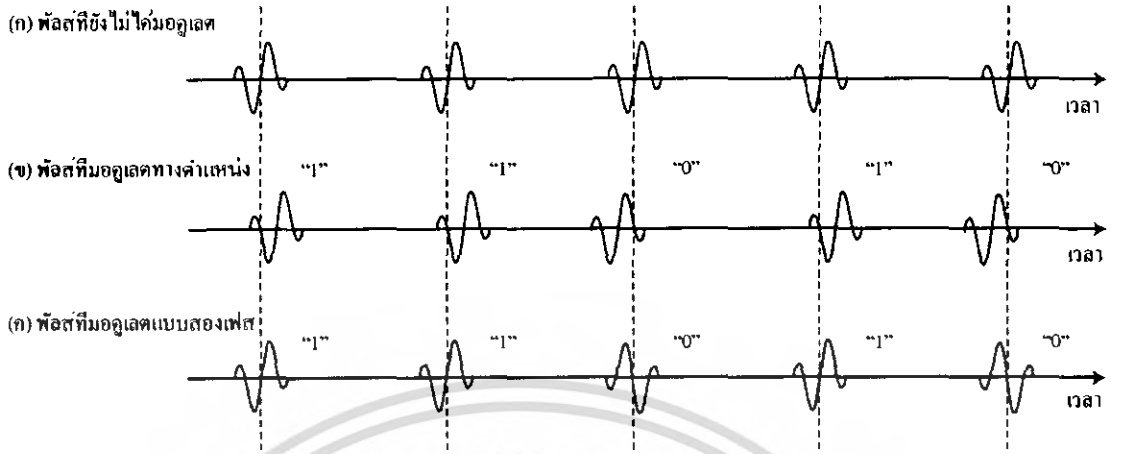
$$s_1 = p(t) \tag{2.6ก}$$

$$s_1 = -p(t) \tag{2.6ข}$$

ประสิทธิภาพในการตรวจจับ ของ BPM นั้นดีกว่า PPM คือ PPM นั้นจะต้องมีการประวิงเวลาพัลส์อยู่เสมอ ทำให้เกิดข้อจำกัดเมื่อพัลส์ถูกส่งอย่างต่อเนื่อง แต่ BPM จะใช้เพียงการกลับรูปร่างของพัลส์ให้มีขั้วต่างกัน ซึ่งวิธีนี้มีขั้นตอนที่ง่ายกว่ากระบวนการของ PPM มาก

จากรูปที่ 2.3(ก) เป็นพัลส์ที่ยังไม่ได้ทำการมอดูเลต รูปที่ 2.3(ข) เป็นตัวอย่างพัลส์แบบ PPM ที่แสดงข้อมูลเป็นบิต “1” จะถูกหน่วงเวลาไว้ไป (พัลส์เคลื่อนที่ไปทางขวา) ส่วนพัลส์ที่แสดงเป็นข้อมูลบิต “0” จะถูกส่งก่อนพัลส์ที่ยังไม่ได้มอดูเลต (พัลส์เคลื่อนที่ไปทางซ้าย) รูปที่ 2.3(ค) เป็นตัวอย่างพัลส์แบบ BPM ซึ่งเป็นพัลส์ที่ถูกกลับเฟสจากข้อมูลบิต “0” และพัลส์ที่ไม่ได้กลับเฟสจากข้อมูลบิต “1”

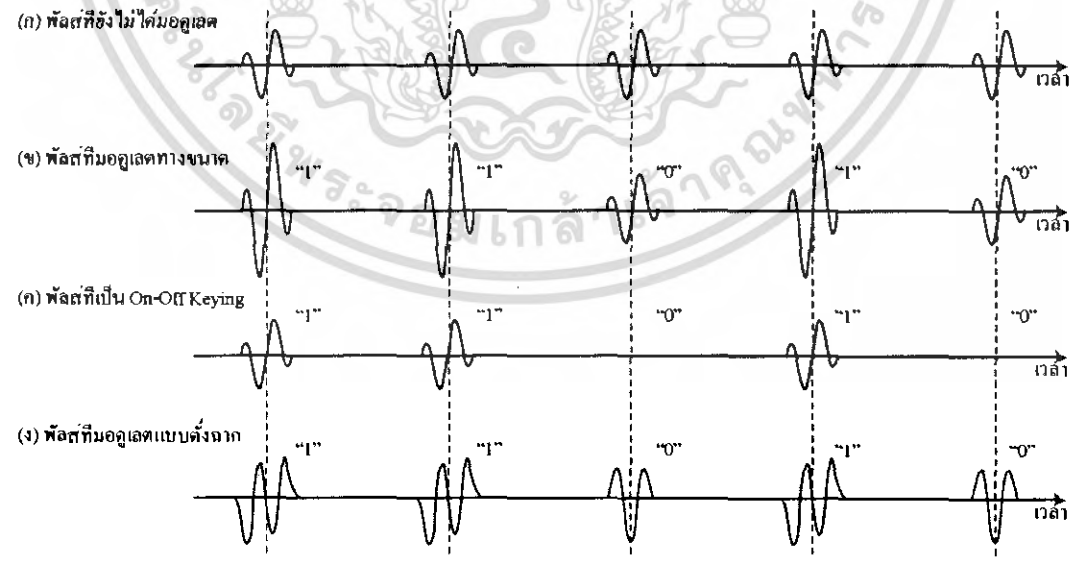
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบวิธี PPM และ BPM สำหรับการสื่อสาร UWB

2.3.3 วิธีการมอดูเลตแบบอื่นๆ

รูปที่ 2.4(ก) แสดงสัญญาณพัลส์ที่ยังไม่ได้มอดูเลต รูปที่ 2.4(ข) แสดงตัวอย่างของ PAM ซึ่งจะมีขนาดมากเมื่อส่งข้อมูลบิต "1" และมีขนาดน้อยลงเมื่อส่งข้อมูลบิต "0" ในขณะที่ 2.6(ค) แสดงตัวอย่างของ OOK โดยพัลส์จะส่งเมื่อเป็นข้อมูลบิต "1" และจะไม่ส่งข้อมูลเมื่อเป็นบิต "0" และรูปที่ 2.6(ง) แสดงตัวอย่างของ OPM โดยจะกำหนดให้ข้อมูลบิต "1" เป็นพัลส์เฮอร์มิเทียนที่ถูกแก้ไขอันดับที่ 3 และบิต "0" เป็นพัลส์เฮอร์มิเทียนที่ถูกแก้ไขอันดับที่ 2



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบของเทคนิคการมอดูเลต สำหรับการสื่อสาร UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สัญญาณส่ง UWB [1]

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้พิจารณาสัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต โดยที่ความหนาแน่นสเปกตรัมสามารถคำนวณได้จากการแปลงฟูรีเยร์ของรูปคลื่นสัญญาณส่ง UWB ในโดเมนเวลา v_t

$$V_t(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_t(t) e^{-j2\pi ft}\, dt \tag{2.8}$$

2.4.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม (Rectangular Passband Waveform) โดยแสดงเป็นรูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นแบบแถบผ่านสี่เหลี่ยม กำหนดดังนี้

$$v_t(t) = \frac{A}{f_b}\left[f_H \operatorname{sinc}(2f_H t) - f_L \operatorname{sinc}(2f_L t)\right] \tag{2.10}$$

$$V_t(f) = \begin{cases} \dfrac{A}{2f_b} & \left|\,|f| - f_c\,\right| \le \dfrac{f_b}{2} \\ 0 & \left|\,|f| - f_c\,\right| > \dfrac{f_b}{2} \end{cases} \tag{2.11}$$

เมื่อ A คือ แอมพลิจูดสูงสุด f_b คือ แบนด์วิดท์ f_c คือ ความถี่กลาง $f_L = f_c - f_b/2$ คือ ความถี่ต่ำสุด $f_H = f_c + f_b/2$ คือ ความถี่สูงสุด

รูปคลื่นนี้เป็นรูปคลื่น UWB ในอุดมคติ คือ รูปคลื่นนี้จะมีความหนาแน่นสเปกตรัมเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมทั้งในด้านความถี่บวกและความถี่ลบ โดยความหนาแน่นสเปกตรัมมีขนาดคงที่เท่ากับ $A/(2f_b)$ และอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H โดยมีเฟสเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจึงนำมาใช้พิจารณาหาขอบจำกัดสูงสุดที่เป็นไปได้ของแบนด์วิดท์มากที่สุด แอมพลิจูดมากที่สุด และกำลังมากที่สุดของรูปคลื่นสัญญาณ UWB โดยรูปคลื่นจะมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่ และส่วนประกอบกระแสตรง (DC) เท่ากับศูนย์

2.4.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต (Modulated Gaussian Waveform) แสดงเป็นรูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต กำหนดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_t(t) = Ae^{-(t/td)^2}\sin(2\pi f_c t) \tag{2.12}$$

$$V_t(f) = \frac{At_d\sqrt{\pi}}{j2}\left[e^{-\pi^2 t_d^2 (f-f_c)^2} - e^{-\pi_2 t_d^2 (f+f_c)^2}\right] \tag{2.13}$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดสูงสุดของรูปคลื่นเกาส์ f_c คือความถี่พาห์ และ $\pm t_d$ คือเวลาของรูปคลื่นเกาส์ที่มีแอมพลิจูดลดลงเป็น $1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด

เนื่องจากรูปคลื่นเกาส์นี้มีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคู่จึงใช้ฟังก์ชันไซน์ซึ่งมีความสมมาตรแบบฟังก์ชันคี่มามอดูเลตรูปคลื่นนี้เพื่อทำให้ส่วนประกอบ DC ของรูปคลื่นมีค่าเป็นศูนย์เหมือนกับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ดังนั้น รูปคลื่นนี้เป็นการมอดูเลตรูปคลื่นเกาส์ที่มีแอมพลิจูดสูงสุด A ที่เวลา $t = 0$ และมีแอมพลิจูดลดลงเป็น A/e ที่เวลา $t = \pm d$ ด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ f_c

2.4.3 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต (Modulated Rectangular Waveform) แสดงในรูปคลื่นในโดเมนเวลาและฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต กำหนดดังนี้

$$v_t(t) = \begin{cases} A\sin(2\pi f_c t) & |t| \le \frac{t_b}{2} \\ 0 & |t| > \frac{t_b}{2} \end{cases} \tag{2.14}$$

$$V_t(f) = \frac{At_b}{j2}\{\text{sinc}[t_b(f-f_c)] - \text{sinc}[t_b(f+f_c)]\} \tag{2.15}$$

2.5 ช่องสัญญาณ UWB

ช่องสัญญาณ UWB ที่จะนำมาพิจารณานั้น จะพิจารณาในเทอมของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ เพื่อที่จะสามารถพิจารณาในช่วงความถี่ได้กว้าง ดังนั้น จะกำหนดให้สายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นสายแบบไอโซทรอปิค ซึ่งมีแกนเท่ากับ 1 หรือ 0 dBi ที่ทุกช่วงความถี่

2.5.1 ช่องสัญญาณอากาศว่าง

สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟริส ที่นิยมใช้สำหรับช่องสัญญาณแถบแคบ จะพิจารณาเป็นรูปแบบจำนวนจริงในความถี่ที่กำหนด อัตราขยายอวกาศว่างของฟริสนิยามเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_f = \frac{c^2}{16\pi^2 f^2 d^2} \tag{2.16}$$

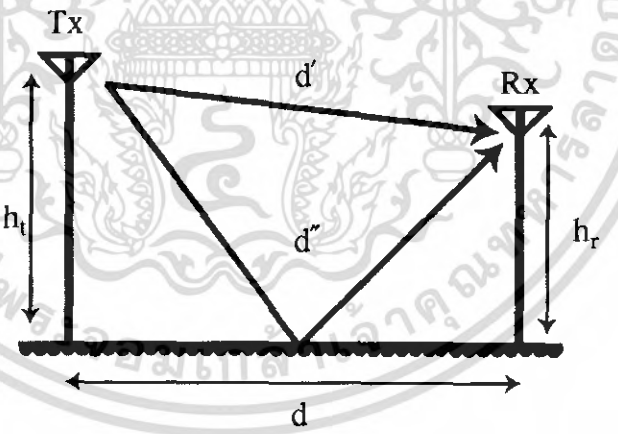
เมื่อ d เป็นระยะทาง และ c เป็นความเร็วแสง

ช่องสัญญาณอวกาศว่าง (Free Space Channel) สำหรับการสื่อสาร UWB ได้ใช้สูตรการส่งผ่านอวกาศว่างของฟริสในรูปแบบเชิงซ้อน โดยฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง H_f สามารถหาได้จาก

$$H_f(f) = \frac{c}{4\pi|f|d} e^{-j2\pi fd/c} \tag{2.17}$$

ซึ่งจะได้สมการที่มีคุณสมบัติของความสมเหตุสมผล ซึ่งจะมีค่าที่ความถี่บวกเป็นสังคยุคเชิงซ้อน (Complex conjugate) ของค่าที่ความถี่ลบ

2.5.2 ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น



รูปที่ 2.5 แบบจำลองการสะท้อนพื้น

จากรูป 2.5 เป็นแบบจำลองการสะท้อนพื้นโดยพิจารณาวิถีตรงและวิถีการสะท้อนพื้น สามารถหาระยะทางของวิถีตรงที่แทนด้วย d' และระยะทางของวิถีสะท้อนแทนด้วย d'' ดังนี้

$$d' = \sqrt{(h_t - h_r)^2 + d^2} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d'' = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + d^2} \tag{2.19}$$

เมื่อ h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ h_r เป็นความสูงของสายอากาศรับ

ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณวิถีตรง H_d และวิถีสะท้อน H_r จะพิจารณาในทำนองเดียวกับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่าง ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$H_d(f) = \frac{c}{4\pi|f|d'} e^{-j2\pi fd'/c} \tag{2.20}$$

$$H_r(f) = \Gamma \frac{c}{4\pi|f|d''} e^{-j2\pi fd''/c} \tag{2.21}$$

เมื่อ Γ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อน

สำหรับฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น H_g จะเป็นการรวมกันของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณวิถีตรงและวิถีสะท้อน เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} H_g(f) &= H_d(f) + H_r(f) \\ &= \frac{c}{4\pi|f|d_g} e^{-j\theta_g} \end{aligned} \tag{2.22}$$

เมื่อ

$$d_g = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{d'^2} + \frac{2\Gamma}{d'd''}\cos\left[\frac{2\pi f(d''-d')}{c}\right] + \frac{\Gamma^2}{d''^2}}}$$

$$\theta_g = \tan^{-1}\left[\frac{\frac{1}{d'}\sin\left(\frac{2\pi fd'}{c}\right) + \frac{\Gamma}{d''}\sin\left(\frac{2\pi fd''}{c}\right)}{\frac{1}{d'}\cos\left(\frac{2\pi fd'}{c}\right) + \frac{\Gamma}{d''}\cos\left(\frac{2\pi fd''}{c}\right)}\right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สัญญาณรับ UWB

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรับ UWB V_r สามารถหาได้จากการนำความหนาแน่นสเปกตรัมองสัญญาณส่งคูณกับฟังก์ชั่นการถ่ายโอนความถี่ของสัญญาณ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H(f) \tag{2.23}$$

รูปคลื่น ในโดเมนเวลาของสัญญาณรับ UWB หาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัม ซึ่งจะได้

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.24}$$

สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาความหนาแน่นสเปกตรัมสัญญาณส่ง UWB V_r เป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ส่วนฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ H ได้พิจารณาเป็นของช่องสัญญาณอวกาศว่าง, ช่องสัญญาณสะท้อนพื้น และช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ดังหัวข้อที่ 2.5

2.7 เครื่องรับ UWB

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ และแบบสหสัมพันธ์ที่ใช้สัญญาณแม่แบบเป็นสัญญาณส่ง โดยกำหนดให้ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับทั้งสองชนิดนี้เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตคงที่

2.7.1 เครื่องรับแบบแมตฟิลเตอร์

ในทางทฤษฎี เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์หรือเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ที่ดีที่สุดในทางทฤษฎี ซึ่งจะมีความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นสังคยุคเชิงซ้อนของ V_r โดยมีอัตราการขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ H_m สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_m(f) = \frac{\sqrt{f_b}}{\sqrt{\int_0^\infty |V_r(f)|^2 df}} V_r^*(f) \tag{2.25}$$

เมื่อ * เป็นตัวดำเนินการสังคยุคเชิงซ้อน

ผลตอบสนองอิมพัลส์หรือสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ h_m สามารถหาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$h_m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H_m(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.26}$$

ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ V_m นั้น สามารถคำนวณได้จาก

$$V_m(f) = H_m(f) \cdot V_r(f) \tag{2.27}$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาต์พุตจากเครื่องรับแมตช์ฟิลเตอร์ หาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของความหนาแน่นสเปกตรัม ซึ่งจะได้

$$v_m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_m(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.28}$$

2.7.2 เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์

ใช้สัญญาณส่ง UWB เป็นสัญญาณแม่แบบ ดังนั้น จะมีความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณแม่แบบเป็นสังคยุคเชิงซ้อนของ V_t โดยมีอัตราขยายเป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังสัญญาณรบกวนคงที่ ดังนั้น ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนความถี่ของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ H_c สามารถเขียนได้เป็น

$$H_c(f) = \frac{\sqrt{f_b}}{\sqrt{\int_0^\infty |V_t(f)|^2 df}} V_t^*(f) \tag{2.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองอิมพัลส์หรือสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ h_c สามารถหาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$h_c(t) \int_{-\infty}^{\infty} H_c(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.30}$$

ความหนาแน่นสัญญาณสเปกตรัมของสัญญาณเอาท์พุตจากเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ V_c สามารถคำนวณได้จาก

$$V_c(f) = H_c(f) \cdot V_r(f) \tag{2.31}$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาท์พุตจากเครื่องรับสหสัมพันธ์ หาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของความหนาแน่นของสเปกตรัม ซึ่งจะได้

$$v_c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_c(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.32}$$

2.7.3 เครื่องรับที่ใช้สัญญาณจากสายอากาศไอโซโทรปิคเป็นแม่แบบ

สัญญาณที่ได้จากสายอากาศไอโซโทรปิค ถือได้ว่าเป็นสัญญาณในอุดมคติ ดังนั้น ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนความถี่ H_i สามารถเขียนได้เป็น

$$H_i(f) = \frac{\sqrt{f_h}}{\sqrt{\int_0^{\infty} |V_i(f)|^2 df}} V_i^*(f) \tag{2.33}$$

ผลตอบสนองอิมพัลส์หรือสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ h_i สามารถหาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$h_i(t) \int_{-\infty}^{\infty} H_i(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.34}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณจากสายอากาศไอโซโทรปิคเป็นแม่แบบ V_i ได้ดังนี้

$$V_i(f) = V_i(f) \cdot H_f(f) \tag{2.35}$$

รูปคลื่นในโดเมนเวลาของสัญญาณเอาท์พุตจากเครื่องรับสหสัมพันธ์ หาได้จากการแปลงฟูริเยย์ย้อนกลับของความหนาแน่นของสเปกตรัม ซึ่งจะได้

$$v_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_i(f) e^{j2\pi ft} df \tag{2.36}$$

2.8 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถีระหว่างตัวรับและส่งสัญญาณ คือ อัตราส่วนของกำลังตัวส่งสัญญาณและกำลังของตัวรับสัญญาณ ซึ่งรวมไปถึง การสูญเสียเกี่ยวกับการทำปฏิกิริยาระหว่าง การแพร่กระจายคลื่น ซึ่งทั้งหมดอยู่ในการส่งสัญญาณและรับสัญญาณ ในกรณีที่ช่องสัญญาณขนาดใหญ่ก็จะเกิดการจางหายของสัญญาณ หรือการเคลื่อนที่ของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงวิธีสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$PL = 20\log\left[\frac{V_t(t)}{V_r(t)}\right] \tag{2.37}$$

โดย V_t คือ สัญญาณทางด้านส่ง และ V_r คือ สัญญาณทางด้านรับ

2.9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สามารถพิจารณาโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่รับได้กับสัญญาแม่แบบ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ C_m และแบบสหสัมพันธ์ C_c สามารถเขียนได้เป็น

$$C_m = \frac{\max\left|r_{v_r h_m}(\tau)\right|}{\sqrt{\max\left|r_{v_r}(\tau)\right| \cdot \max\left|r_{h_m}(\tau)\right|}} \tag{2.38}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_c = \frac{\max\left|r_{v,h_c}(\tau)\right|}{\sqrt{\max\left|r_{v_r}(\tau)\right| \cdot \max\left|r_{h_c}(\tau)\right|}} \tag{2.39}$$

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

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

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

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะเป็นพารามิเตอร์แสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องรับในการตรวจจับสัญญาณ UWB ซึ่งจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเหมือนกับสัญญาณรับ UWB และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อสัญญาณแม่แบบของเครื่องรับเป็นออโทโกนอลกับสัญญาณรับ UWB ดังนั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ซึ่งมีสัญญาณแม่แบบเหมือนกับสัญญาณรับ UWB จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งเป็นเครื่องรับในอุดมคติที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเครื่องรับ UWB

83240
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้าง GUI โดย MATLAB

3.1 บทนำ

MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพได้ง่ายและชัดเจน โดยมีลักษณะเด่นที่ง่ายต่อการใช้งานคือ มีฟังค์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย ตลอดจนเราสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เองในสาขาที่ต้องการ อัลกอลิธึมพัฒนาได้ไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ได้ง่ายและรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ มีโครงสร้างแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็นแพ็กเก็ตที่สามารถนำไปสร้าง บล็อกไดอะแกรม เพื่อใช้ทดสอบและประเมินผลระบบไดนามิคต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว นำไปใช้งานทางด้านกราฟิกได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพตั้งแต่สองมิติและสามมิติ ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะเป็นภาพเคลื่อนไหวได้ สามารถประยุกต์ใช้งานในรูปแบบ GUI ได้ โดยการเลือกใช้วัตถุ (Object) และเมนูต่างๆ โดยที่โปรแกรม MATLAB จะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ และปุ่มกดต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังสามารถทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นๆได้ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น mex ไฟล์ และสุดท้าย โปรแกรม MATLAB เป็นระบบ อินเตอร์แรก-ทีฟ (interactive) ซึ่งส่วนของข้อมูลพื้นฐานเป็นอาร์เรย์ที่ไม่ต้องการมิติ ทำให้สามารถแก้ปัญหาทางเทคนิคต่างๆได้มาก โดยใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และดีกว่าโปรแกรมภาษา C และ Fortran

ในอดีตการใช้งานแอพลิเคชันในส่วนของ GUI นั้น จะเป็นในลักษณะพิมพ์คำสั่งลงไปเพื่อให้โปรแกรมประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ ซึ่งเกิดความไม่สะดวกกับผู้ใช้ที่ไม่ชำนาญในตัวแอพลิเคชัน ต่อมาได้มีการพัฒนา GUI เพื่อใช้เป็นส่วนติดต่อระหว่างผู้ใช้กับแอพลิเคชัน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน และสามารถเข้าใจวิธีการใช้ได้โดยง่าย โดยมีลักษณะเป็นวัตถุทางกราฟิก เช่น ปุ่มเมนู สไลด์ เป็นต้น วัตถุเหล่านี้จะเป็นที่คุ้นเคยสำหรับผู้ใช้ ทำให้สามารถเข้าใจและเกิดความรวดเร็วในการใช้งาน โดยเมื่อตัวผู้ใช้ใส่อินพุตหรือกดปุ่มวัตถุนั้น แอพลิเคชันจะทำงานตามที่ผู้สร้างได้ระบุเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสร้าง GUI ด้วย GUIDE [2],[3]

MATLAB จะสร้าง GUI บนหน้าต่างรูปภาพ (figure window) ซึ่งภายในจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น unicontrol เป็นต้น ซึ่ง MATLAB นั้นได้สร้าง GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) เพื่อช่วยให้สามารถสร้าง บันทึก และแก้ไข GUI ได้อย่างสะดวก โดย GUIDE จะมีหน้าที่ในการวางส่วนประกอบที่เราต้องการลงใน GUI จากนั้น GUIDE จะสร้าง M-file ที่บรรจุส่วนถือครองของวัตถุ (handle object) ทั้งหมดที่สร้างขึ้นรวมถึงคำสั่งให้ GUI ทำงาน และยังใช้ในการเขียนฟังก์ชันการทำงานของวัตถุนั้นๆ เรียกว่า callback

การสร้าง GUI มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดการวางส่วนประกอบต่างๆลงบน GUI
2. การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดการทำงานของส่วนประกอบต่างๆใน GUI

3.3 ส่วนประกอบของ GUI ใน MATLAB

หลังจากกำหนดและวางส่วนประกอบลงบน GUI แล้ว GUIDE จะสร้างไฟล์ขึ้งมา 2 ไฟล์ เพื่อเก็บและนำ GUI มาใช้ต่อไปซึ่งจะ ประกอบด้วย

1. FIG-file ซึ่งจะบรรจุรายละเอียดของวัตถุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในหน้าต่างรูปภาพที่เป็น GUI

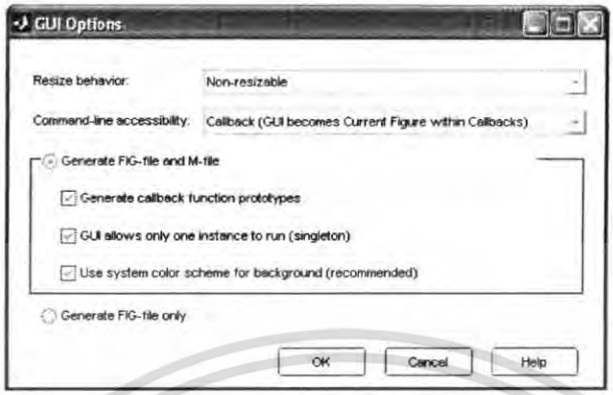
2. M-file ที่จะบรรจุฟังก์ชันที่กำหนดการทำงานของ GUI รวมถึง callback ทั้งหมด ซึ่ง callback เหล่านี้ จะบรรจุเป็นฟังก์ชันย่อยๆ อยู่ใน M-file และจะเรียก M-file ที่ควบคุม การทำงานของ GUI นี้ว่าแอพลิเคชัน M-file

3.4 การสร้างแอพลิเคชัน M-file ของ GUIDE

เมื่อสร้าง GUI โดย GUIDE และเลือกให้ GUIDE สร้าง FIG-file และ M-file เมื่อเลือกตัวเลือกนี้ จะมีให้เลือกเพิ่มขึ้นได้อีก 3 ตัวเลือกเพื่อกำหนดลักษณะของแอพลิเคชัน M-file ซึ่งมีตัวเลือกต่างๆ ดังนี้

1. Generate callback function prototypes
2. Application allows only one instance to run
3. Use system color scheme for background

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 หน้าต่าง GUIDE Application Options

3.4.1 การสร้างต้นแบบของแอพลิเคชัน M-file

เมื่อเลือกตัวเลือก Generate Callback Function Prototype ในการเลือกตัวของ GUIDE Option ก็จะทำให้ GUIDE เพิ่มฟังก์ชันย่อยให้กับแอพลิเคชัน M-file สำหรับทุกวัตถุที่สร้างขึ้นใน GUI (ยกเว้น frame และ Static text) อย่างไรก็ตาม GUIDE จะสร้างเฉพาะฟังก์ชันย่อยที่เป็นต้นแบบไว้เท่านั้น ส่วนคำสั่งต่างๆนั้นต้องเป็นผู้เขียนเอง นอกเหนือจากนั้น GUIDE ยังจะเพิ่มฟังก์ชันย่อยทุกครั้งเมื่อมีการแก้ไข callback เช่น ถ้าวางปุ่มกดที่เรากำหนด Tag เป็น pushbutton1 จะทำให้ GUIDE สร้างฟังก์ชันย่อยในแอพลิเคชันดังนี้

```
function pushbutton1_Callback(h,evendata,handles)
```

โดยที่ h เป็นการส่วนถือครองของวัตถุที่เรียก callback นี้ eventdata เป็นที่ว่างสำรองเก็บไว้ใช้ในอนาคต handles เป็นตัวแปรแบบโครงสร้างที่บรรจุส่วนถือครองของวัตถุที่อยู่ใน GUI โดยชื่อของ file จะเป็นชื่อ Tag ของวัตถุนั้น สามารถใช้ตัวแปรนี้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับส่วนถือครองของวัตถุต่างๆ ใน GUI ไปที่ callback ตัวอื่นหรือโปรแกรมตัวอื่น ๆ ใน MATLAB ได้

3.4.2 ใช้สีพื้นที่กำหนดด้วยระบบที่ MATLAB ทำงานอยู่

สีที่ใช้ในระบบและส่วนประกอบของ GUI จะเปลี่ยนไปตามระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ ตัวเลือกนี้ ยอมให้ใช้สีพื้นของ uicontrol เป็นสีเดียวกับสีพื้นของ figure ซึ่งจะทำให้ GUI ดูมีความกลมกลืนเข้ากับสีพื้น แต่สามารถปรับเปลี่ยนสีพื้นได้ โดยจะมีคำสั่งคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
set(fig,'color',get(0,'Default UIcontrol Background Color'));
```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การตั้งชื่อไฟล์และ Tag

GUIDE จะกำหนดค่าคุณสมบัติ Tag (หรือกำหนดชื่อของวัตถุนั้น) ให้กับวัตถุทุกแบบที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติ เช่น pushbutton1 และใช้ string นี้ จะนำไปใช้เป็นชื่อฟังก์ชันย่อยของ callback เช่น pushbutton1_callback การกำหนด คุณสมบัติ Tag และควรจะทำก่อนที่จะ save GUI ด้วยการใช้ save as จะทำให้ GUIDE ได้สร้างแอพลิเคชัน M-file ขึ้นมาใหม่ และปรับค่าคุณสมบัติ callback ให้เหมาะสมกับ callbacks ที่มีอยู่ด้วยที่เลือกจะต้องเป็นตัวแปรที่ใช้ได้ตามข้อกำหนดของ MATLAB ถ้าเดิมในแอพลิเคชัน M-file ถ้าเราเปลี่ยน Tag จาก Listbox1 เป็น graph จะต้องเปลี่ยนคำสั่งใหม่เป็น

```
x = get(handles,graph,'string')
```

3.4.4 การสร้างวัตถุด้วยเครื่องมือ (GUI Layout Tool)

MATLAB จะมีเครื่องมือในการช่วยสร้าง GUI อยู่หลายส่วนโดยจะเริ่มต้นจาก GUI Layout tools ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในการสร้าง GUI เพราะจะเป็นการกำหนดว่าใน GUI นี้จะมี uicontrol และชื่ออะไร อยู่ใน GUI อะไรบ้าง และแต่ละตัวจะมีตำแหน่งอยู่ที่ใด ขนาดเท่าไร รูปแบบ สี เป็นอย่างไรซึ่งเครื่องมือนี้จะประกอบด้วย

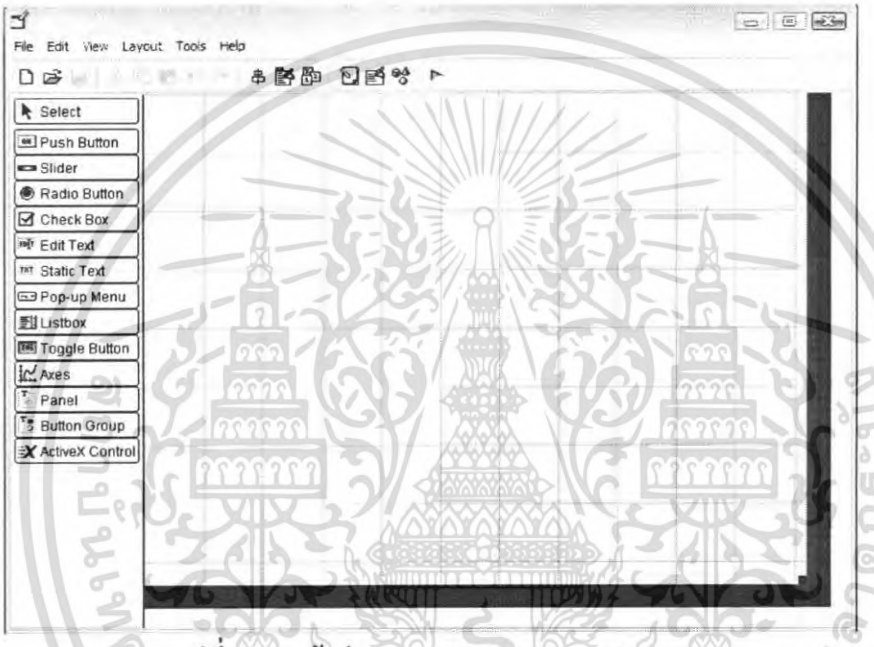
1. Layout Editor เพิ่มและจัดวัตถุต่าง ๆ ใน GUI
2. Alignment Tool จัดวางวัตถุเทียบกับวัตถุอื่น ๆ ใน GUI ให้เป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น
3. Property Inspector ตรวจสอบและตั้งค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัตถุแต่ละอัน
4. Object Browser ตรวจสอบและแสดงลำดับขั้นของวัตถุที่มี handle ใน MATLABขณะนั้น
5. Menu Editor สร้างเมนูของหน้าต่าง และ context menu

โดยจะสามารถเข้าสู่เครื่องมือต่างๆ นี้ได้โดยผ่านเข้าทาง GUIDE Layout Editor ในการเริ่มการทำงานของLayout Editor ให้ใช้คำสั่ง »**guide** ซึ่ง MATLAB จะแสดง GUI ใหม่ขึ้นมาโดยยังไม่มีวัตถุวางอยู่ใน GUI นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 วิธีการเปิด GUIDE (ก) กดปุ่ม (ข) พิมพ์ guide ลงบน Command Window



รูปที่ 3.3 หน้าต่างของ GUIDE Layout Editor

3.4.5 การวางส่วนประกอบต่างๆ ลงใน GUI โดย Layout Editor

การใช้ Layout Editor จะช่วยให้สามารถกำหนดส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งก็จะมี uicontrol และ axes จะเหมือนการใช้โปรแกรมวาดรูปทั่ว ๆ ไป มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. เลือก uicontrol หรือ axes ที่ต้องการจะเพิ่มไปใน GUI จาก component palette

2. เลื่อนเมาส์เข้ามาในบริเวณพื้นที่ของ GUI ลักษณะลูกศรจะเปลี่ยนเป็นรูปกากบาท (+) ซึ่งสามารถ ใช้กำหนดตำแหน่ง มุมซ้ายบน ของวัตถุนั้นได้ โดยการกดเมาส์ปุ่มซ้ายที่ตำแหน่งที่ต้องการแล้วลากเมาส์ขณะกดปุ่มเมาส์ด้านซ้ายอยู่ เพื่อกำหนดตำแหน่งด้านขวาล่างของวัตถุเมื่อได้ตำแหน่งและขนาดที่ต้องการให้ปล่อยปุ่มเมาส์

3. สามารถปรับปรุงขนาดและเลื่อนตำแหน่งของวัตถุนั้นได้หลังจากนั้น โดยใช้เมาส์เลือกวัตถุ แล้วเลื่อน หรือปรับขนาดตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 การสร้างการทำงาน (Run)

สามารถสร้างการทำงานของ GUI ได้โดยสั่ง Run ตัว GUI ที่ได้ออกแบบมาแล้วโดยการกดปุ่มแสดงผลบนกล่องเครื่องมือ ซึ่งเมื่อกดแล้ว GUIDE จะทำการบันทึกไฟล์ทั้ง M-file และ Fig-file เป็นอันดับแรก ถ้าไฟล์ทั้งสองไม่เคยถูกบันทึกมาก่อน ก็จะมี Dialog box SAVE AS เกิดขึ้น เพื่อถามชื่อไฟล์ที่เราต้องการ แต่เพื่อประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานได้อย่างสะดวก เราควรตั้งชื่อ Tag ของวัตถุต่างๆ ใน GUI ให้เรียบร้อยก่อนจะมีการ Activate Figure เพราะการแก้ไขชื่อนี้ภายหลังจะมีปัญหาตามมาได้

รูปที่ 3.4 ปุ่ม Run ที่ใช้ในการสร้างการทำงาน

3.4.7 Layout Editor ของเมนู Context

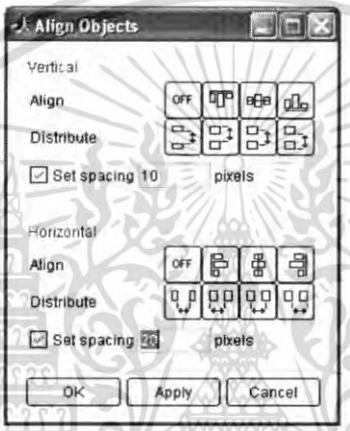
การทำงานภายใต้ Layout Editor นั้นสามารถเลือกวัตถุนั้นด้วยเมาส์ปุ่มซ้าย และเมื่อกดเมาส์ปุ่มขวาเหนือวัตถุนั้น ก็จะปรากฏเมนู context ขึ้น นอกเหนือจากที่จะใช้เมนูที่ปรากฏอยู่ด้านบนของหน้าต่าง ซึ่งสามารถใช้เมนู context นี้ สร้างฟังก์ชันย่อยให้กับแอพลิเคชัน M-file ได้ สำหรับทุกวัตถุชนิดที่มี callback ในรูปข้างล่างนี้แสดงเมนู Context ของ List box

รูปที่ 3.5 เมนู Context menu ของ List box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 การจัดเรียงส่วนประกอบ

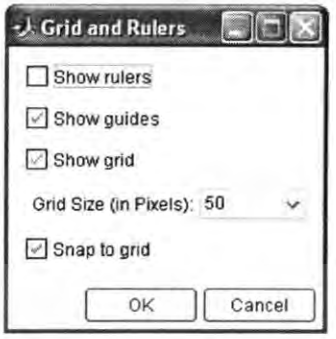
ในการจัดเรียงส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ แม้ว่าสามารถที่จะใช้เมาส์เลื่อนวัตถุต่างๆ ได้อยู่แล้วแต่การจัดเรียงส่วนประกอบต่างๆ ให้วางอยู่ในแนวเดียวกัน มีระยะห่างเท่าๆ กันนั้น จะมีความสะดวกขึ้นหากใช้ Alignment Tool สามารถเลือก Alignment Tool ได้โดยเลือก Alignment Tool จากปุ่มบนเมนูซึ่ง Alignment Tool จะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.6 Alignment Tool ที่ใช้ในการจัดเรียงกลุ่มวัตถุ

ก่อนที่จะใช้ Alignment Tool ต้องเลือกกลุ่มวัตถุที่จะจัดเรียงเสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยเลือกลูกศร (select) จาก component palette แล้ว กำหนดพื้นที่กรอบสี่เหลี่ยมที่บรรจุวัตถุทั้งหมดที่ต้องการ Align เมื่อปล่อยเมาส์ วัตถุเหล่านั้นจะถูกเลือก หรือใช้วิธีเลือกวัตถุทีละอัน โดยกดปุ่ม Ctrl บนแป้นพิมพ์ค้างไว้ แล้วเลือกวัตถุที่ต้องการไปเรื่อยๆเมื่อเลือกครบแล้วจึงปล่อยแป้นพิมพ์หลังจากที่เลือกวัตถุครบถ้วนแล้วจึงเลือกวิธีการจัดเรียงวัตถุเหล่านั้น ว่าต้องการให้จัดเรียงอย่างไร ทั้งในแนวแกนนอนและแกนตั้ง เมื่อเลือกลักษณะการจัดเรียงเรียบร้อยแล้วจึงกดปุ่ม Apply เพื่อจัดแนวและตั้งระยะห่างวัตถุ ให้เป็นไปตามที่ต้องการ นอกเหนือจากการใช้ Alignment Tool เพื่อจัดเรียงวัตถุนั้นแล้วยัง สามารถใช้ Grids และ Rulers เพื่อช่วยในการจัดเรียงโดย grid ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถปรับปรุงได้ โดยเรียก Grid and Rulers ภายใต้เมนู Tools

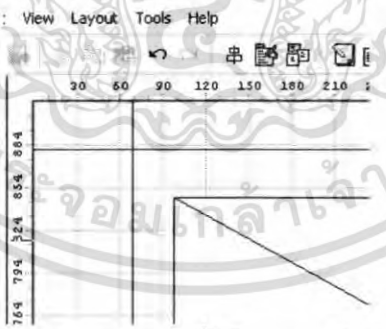
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เมนู Grids และ Rulers

โดยสามารถกำหนด Grid sizeได้โดยค่า 50 เป็น default นอกจากนี้ยังมีตัวเลือก Snap-to-grid เพื่อกำหนดให้วัตถุที่มีการเคลื่อนที่หรือปรับขนาดที่อยู่ในระยะ 9 pixels ของเส้น grid จะเคลื่อนที่เข้าหาเส้น grids การเลือก snap-to-grid นี้จะทำงานทั้งแสดงหรือไม่แสดงเส้น grid บน Layout Editor

นอกเหนือจากนั้นยังสามารถสร้าง guide line ขึ้นมาเพื่อสะดวกในการกำหนดตำแหน่ง การสร้าง guide line นี้ทำได้โดยใช้เมาส์ปุ่มซ้ายกดที่ ruler ด้านบนหรือด้านซ้ายมือ จากนั้นดึงเส้นเข้ามาภายในพื้นที่ของ GUI จะมีเส้นตรงตามเมาส์เข้ามาได้ เมื่อเราปล่อยเมาส์ เส้นตรงใหม่ก็จะกลายเป็นเส้น grid เส้นใหม่แต่แสดงสีที่แตกต่างออกไป



รูปที่ 3.8 ตัวอย่าง guide line ที่ได้จากการดึงเส้นจาก ruler

การสร้าง grid แสดงในรูปและการจัดเรียงวัตถุใน GUI ที่จะกล่าวถึง เป็นแบบสุดท้ายในที่นี้คือการจัดเรียงลำดับการวางทับกันบน GUI ซึ่งปกติวัตถุที่สร้างที่หลังจะวางอยู่ด้านบนวัตถุที่สร้างก่อน แต่สามารถปรับลำดับได้โดยกดเมาส์ปุ่มขวาเมื่อเลือก context menu แล้วเลือก Bring to Front, Send to back, Bring Forward หรือ send Backward ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

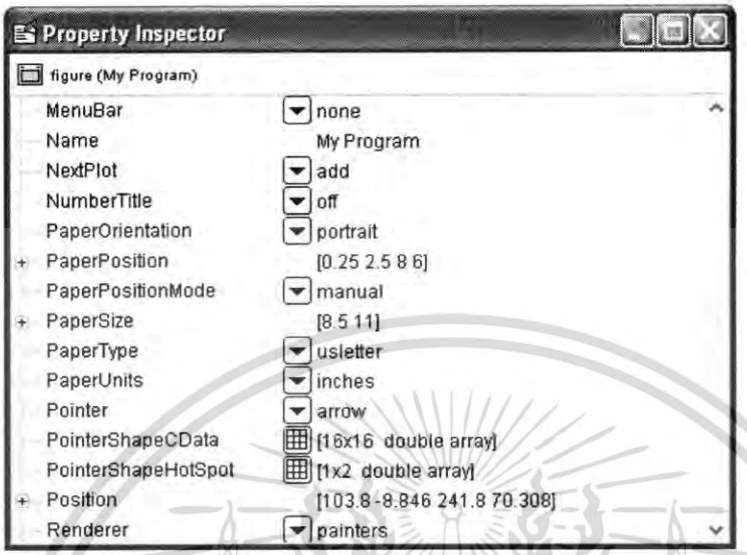
รูปที่ 3.9 เครื่องมือในการปรับลำดับของวัตถุ

3.5 การกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ

สามารถที่จะกำหนดค่าคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆสามารถใช้ Property Inspector ซึ่งจะให้รายการคุณสมบัติทั้งหมดของวัตถุที่เลือกและแสดงค่าปัจจุบันของคุณสมบัติเหล่านั้น สำหรับคุณสมบัติแต่และตัวในรายการนั้น จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการแก้ไขคุณสมบัติแต่ละตัวไว้ด้วย การที่จะให้ Property Inspector ปรากฏขึ้นสามารถทำได้หลายวิธีคือ กดเมาส์ปุ่มซ้ายสองครั้ง ส่วนประกอบที่ต้องการแสดงคุณสมบัติ เลือก Property Inspector ภายใต้เมนู Tools เลือก Inspect property ภายในเมนู Edit กดเมาส์ปุ่มขวาบนวัตถุนั้น แล้วเลือก Inspect Properties จากเมนู context และ กดเมาส์ปุ่มซ้ายที่ Property Inspector ที่ Toolbar

Property Inspector จะแสดงคุณสมบัติของวัตถุที่เลือกบน Layout Editor เมื่อเปลี่ยนวัตถุที่เลือกไป Property ที่แสดงก็จะเปลี่ยนไปตามวัตถุนั้นด้วย เมื่อตรวจคุณสมบัติเหล่านั้น ก็สามารถจะปรับแก้คุณสมบัติต่างๆ ได้ตามต้องการ สำหรับคุณสมบัติที่มีเครื่องหมายอยู่ด้านหน้าชื่อคุณสมบัติหมายความว่าสามารถขยายคุณสมบัติเหล่านั้นได้ เพื่อปรับแก้คุณสมบัติย่อยแต่ละตัวอย่างอิสระ ในกรณีที่เลือกวัตถุหลายวัตถุพร้อมกัน Property Inspector จะแสดงคุณสมบัติที่วัตถุนั้นมีร่วมกัน ส่วนค่าที่แสดงนั้นหากวัตถุแต่ละชิ้นมีค่าไม่เท่ากัน ค่าที่แสดงจะปรากฏเป็น Mixed ขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในการกำหนด ขนาด สี แบบตัวอักษรของวัตถุหลายๆชนิด ที่ต้องการให้มีคุณสมบัติบางอย่างเหมือนกัน ในการกำหนดครั้งเดียวแทนที่จะปรับแก้ทีละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รายการของคุณสมบัติของวัตถุ ที่บรรจุอยู่ใน Property Inspector

3.6 ตัวควบคุมส่วนติดต่อกับผู้ใช้

สำหรับตัวควบคุมส่วนติดต่อกับผู้ใช้นั้นจะประกอบด้วย Check Boxes, Editable Text, Frames List boxes, Push Buttons, Radio Buttons, Sliders, Static Text, Toggle Buttons ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

3.6.1 Check boxes

จะมีการทำงานเมื่อเราเลือกให้ค่าในกล่อง โดยอุปกรณ์นี้มีประโยชน์เพื่อให้ผู้ใช้เลือกหัวข้อการทำงานของโปรแกรมแบบต่างๆได้อย่างอิสระ คือเลือกได้มากกว่า 1 กล่อง การที่จะให้ check box ทำงานเราจะใช้เมาส์กดไปที่บริเวณกล่องนั้น สภาวะการเลือกหรือไม่เลือกค่าตามที่กำหนดจะแสดงขึ้น

3.6.2 Editable text boxes

เป็นลักษณะของกล่องที่ผู้ใช้สามารถที่จะแก้ไขตัวอักษรที่บรรจุอยู่ภายในได้ ซึ่งเราจะใช้ ก็ต่อเมื่อเราต้องการให้ผู้ใช้กำหนดค่าตัวอักษรเป็นอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 Frames

เป็นรูปแบบของพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งจะแบ่งเป็นกรอบที่ทำให้ผู้ใช้สามารถแบ่งส่วนต่างๆของหน้าต่างออกได้ง่ายขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไม่เกิดความสับสนในกรณีที่มี *uicontrol* ที่ต้องกำหนดค่าหลายๆ อันบนหน้าต่างเดียว เพราะสามารถนำ uicontrol ที่มีหน้าที่การทำงานในส่วนเดียวกันรวมกลุ่มไว้ด้วยกัน Frames จะไม่มี callback และจะมีเฉพาะ uicontrols เท่านั้นที่สามารถบรรจุอยู่ใน frames ได้

โดยทั่วไป Frames จะทึบแสง ดังนั้นในการเลือกใช้ frame กับ uicontrols เราจำเป็นต้องเรียงลำดับวัตถุเหล่านั้นให้ถูกต้อง และต้องพิจารณาว่า uicontrols นั้นบรรจุอยู่ใน frame หรือถูก frame ทับอยู่บางส่วน สำหรับวัตถุที่ได้รับการกำหนดขึ้นมาก่อนจะวางลงไปก่อน ส่วนวัตถุที่สร้างขึ้นที่หลังจะวางทับวัตถุที่สร้างขึ้นก่อนหน้านั้น

3.6.4 List boxes

เป็นการแสดงรายการที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนดขึ้น ซึ่งจะกำหนดโดยคุณสมบัติ String และจะยอมให้ผู้ใช้สามารถที่จะเลือกรายการนั้นได้ทีละหนึ่งรายการหรือมากกว่าได้ซึ่งค่าคุณสมบัติ Min และ Max จะเป็นตัวกำหนดจำนวนรายการที่เลือก ส่วนค่าคุณสมบัติ Value จะแสดงถึงหมายเลขลำดับของรายการที่ผู้ใช้เลือก MATLAB จะสั่งให้คำสั่งตาม callback ของ list box ทำงานภายหลังจากได้มีการปล่อยปุ่มเมาส์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของคุณสมบัติ Value ดังนั้นในกรณีที่เรากำหนดให้ผู้ใช้เลือกค่าได้หลายค่าพร้อมกันเราอาจจำเป็นต้องเพิ่มปุ่มกด "Done" ลงใน GUI ของเราเพื่อให้การทำงานของ callback ช้าลงทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกค่าที่ต้องการได้หมดเสียก่อน

3.6.5 Pop-up menus

เป็นการเปิดรายการของตัวเลือกขึ้นหลังจากที่มีการกดเมาส์บริเวณเมนู เพื่อให้ผู้ใช้ได้เลือกรายการใดรายการหนึ่ง ซึ่งรายการของตัวเลือกจะกำหนดด้วยคุณสมบัติ String ถ้าหากว่าเมนูนี้ไม่ได้ถูกเปิดขึ้น ค่าในเมนูจะแสดงค่าคุณสมบัติปัจจุบัน โดยวัตถุประเภทนี้จะมีประโยชน์ในการที่จะให้ผู้ใช้ได้เลือกตัวเลือกตามที่ต้องการ แต่ไม่ต้องการให้เปลืองเนื้อที่บนหน้าต่างรูปภาพ

3.6.6 Push buttons

จะทำให้เกิดมีคำสั่งอื่นๆตามมาหลังจากที่ผู้ใช้เลือกกดปุ่มนี้ โดยทั่วไปผู้ใช้จะใช้เมาส์ในการกดปุ่ม *Push buttons*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.7 Radio buttons

จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ check boxes แต่ข้อแตกต่างสำคัญก็คือโดยทั่วไปแล้ว การใช้ Radio button นี้เราจะจัดให้เป็นกลุ่มของตัวเลือก และในกลุ่มของ Radio button นั้นจะมีตัวเลือกที่สามารถถูกเลือกได้เพียงครั้งละตัวเดียว ในการที่จะให้ radio button ทำงานเราจะใช้เมาส์กดไปที่วัตถุนั้น จากนั้นสภาพของอุปกรณ์จะเปลี่ยนไปตามสภาพที่เราเลือก ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเป็นผู้กำหนดพฤติกรรมหลังจากที่มีการกดเมาส์ลงไปในวัตถุนี้

3.6.8 Sliders

เป็นการป้อนค่าตัวเลขโดยอาศัยแถบเลื่อนนี้ ค่าที่ป้อนสูงสุดและต่ำสุดจะถูกกำหนดโดยผู้เขียนโปรแกรมและผู้ใช้จะทำการกำหนดค่าโดยการใช้เมาส์กดแล้วเลื่อนแถบบน slider หรือใช้เมาส์กดบริเวณลูกศรเพื่อให้แถบค่อยๆเลื่อนไปเป็นลำดับ ตำแหน่งของตัวเลื่อนบนแท่งจะเป็นค่าตัวเลขตามสัดส่วนของระยะบนแท่งเลื่อนนี้ และค่าจะได้รับการคำนวณหลังจากที่เราปล่อยปุ่มเมาส์

3.6.9 Static text boxes

หมายถึงตัวหนังสือที่ผู้ใช้ไม่สามารถที่จะแก้ไขได้ แต่ผู้เขียนโปรแกรมอาจแก้ไขได้ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงใช้ในการเขียนตัวหนังสือเพื่อบอกถึงชื่อของส่วนต่างๆ หรืออาจเป็นการบอกค่าของอุปกรณ์ควบคุมบางอย่าง หรือบอกถึงสภาวะการทำงานของโปรแกรมรวมถึงการบอกวิธีการใช้ GUI อย่างคร่าวๆ เป็นต้น และเมื่อผู้ใช้ไม่สามารถเปลี่ยนตัวอักษรใน static text ได้อย่าง interactive ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะเรียก callback ของ statie textมาใช้ได้

3.6.10 Toggle buttons

เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ไฟนั้นคือจะมีค่าเป็น on หรือ off และเมื่อผู้ใช้เปลี่ยนค่ามันโดยการกดเมาส์ลงไปในบริเวณของวัตถุนี้ จะเป็นการเรียก callback ให้ทำงานไปพร้อมกัน

ใน GUIDE ของ MATLAB นี้มีการสร้างฟังก์ชันย่อยของ Callbaek ให้กับวัตถุต่างๆเหล่านี้ (ยกเว้น frame และ Static text) โดยอัตโนมัติซึ่งต้องใช้ชื่อ Tag เป็นองค์ประกอบในชื่อฟังก์ชันย่อยนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

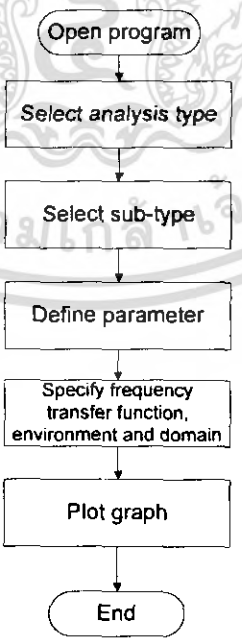
การออกแบบ GUI

4.1 บทนำ

ในที่นี้ได้ทำการออกแบบ GUI ให้สามารถใช้งานในการแสดงผลของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต อีกทั้งรูปแบบของช่องสัญญาณ ซึ่งได้แก่ช่องสัญญาณอากาศว่าง ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณที่รับโดยผ่านช่องสัญญาณแบบต่างๆ และสามารถดูสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับชนิดต่างๆ พร้อมทั้งแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งผู้ใช้จะสามารถเลือกรูปแบบต่างๆได้ เพียงแค่ใช้หน้าต่างเดียวและกดปุ่มเพียงไม่กี่ปุ่ม ซึ่งถือเป็นการเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก

4.2 การออกแบบ

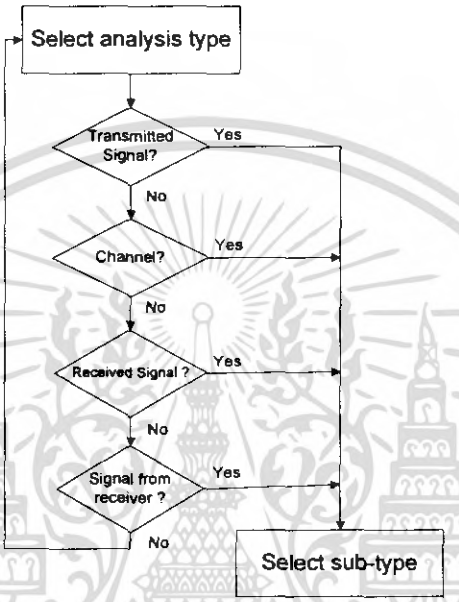
เพื่อให้เกิดความง่ายขึ้นในกระบวนการออกแบบ จำเป็นต้องสร้างแบบแผนรูปภาพเพื่อแสดงกระบวนการทำงานของแอพลิเคชัน ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นภาพได้ดีขึ้น โดยโครงสร้างการทำงานเป็นไปดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพการทำงานของแอพลิเคชั่นที่ได้ทำการออกแบบ

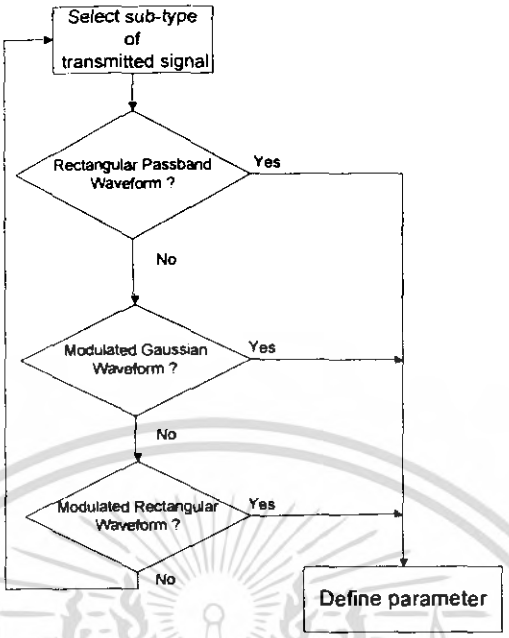
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ทำการเปิดแอพลิเคชันแล้ว จะต้องเลือกว่าต้องการจะวิเคราะห์ในส่วนใดของการสื่อสาร UWB โดยมี 4 ตัวเลือกดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงแผนภาพกระบวนการทำงานการเลือกประเภทการวิเคราะห์การสื่อสาร UWB และถ้ามีการเลือกไปที่การวิเคราะห์สัญญาณส่ง กระบวนการทำงานก็จะเป็นดังรูปที่ 4.3



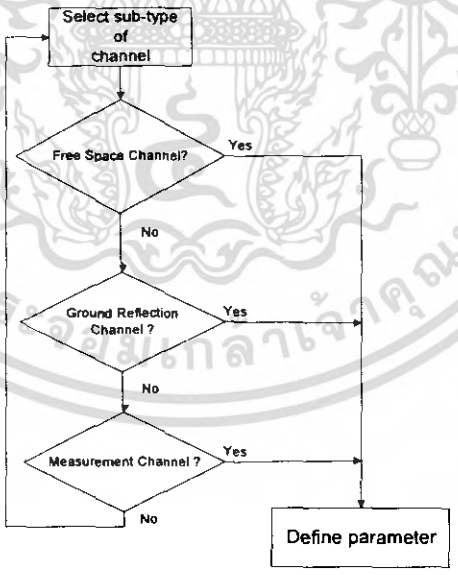
รูปที่ 4.2 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกประเภทการวิเคราะห์การสื่อสาร UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกรูปแบบสัญญาณส่ง UWB

และถ้าต้องการวิเคราะห์ช่องสัญญาณ UWB จะต้องทำการเลือกชนิดของช่องสัญญาณ โดยการทำงานก็จะเป็นดังรูปที่ 4.4

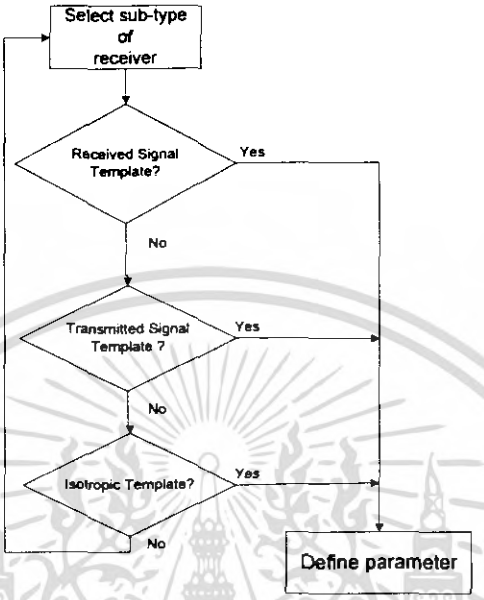


รูปที่ 4.4 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกประเภทช่องสัญญาณ UWB

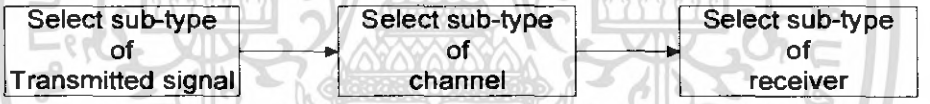
ถ้าต้องการวิเคราะห์สัญญาณที่รับได้ จะต้องทำการเลือกรูปแบบของสัญญาณส่งและเลือกประเภทของช่องสัญญาณ ดังรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 หรือถ้าต้องการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับ จะต้องทำการเลือกทั้งรูปแบบสัญญาณส่ง, ประเภทของช่องสัญญาณ และชนิดของเครื่องรับ UWB แสดงการทำงานดังรูปที่ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ



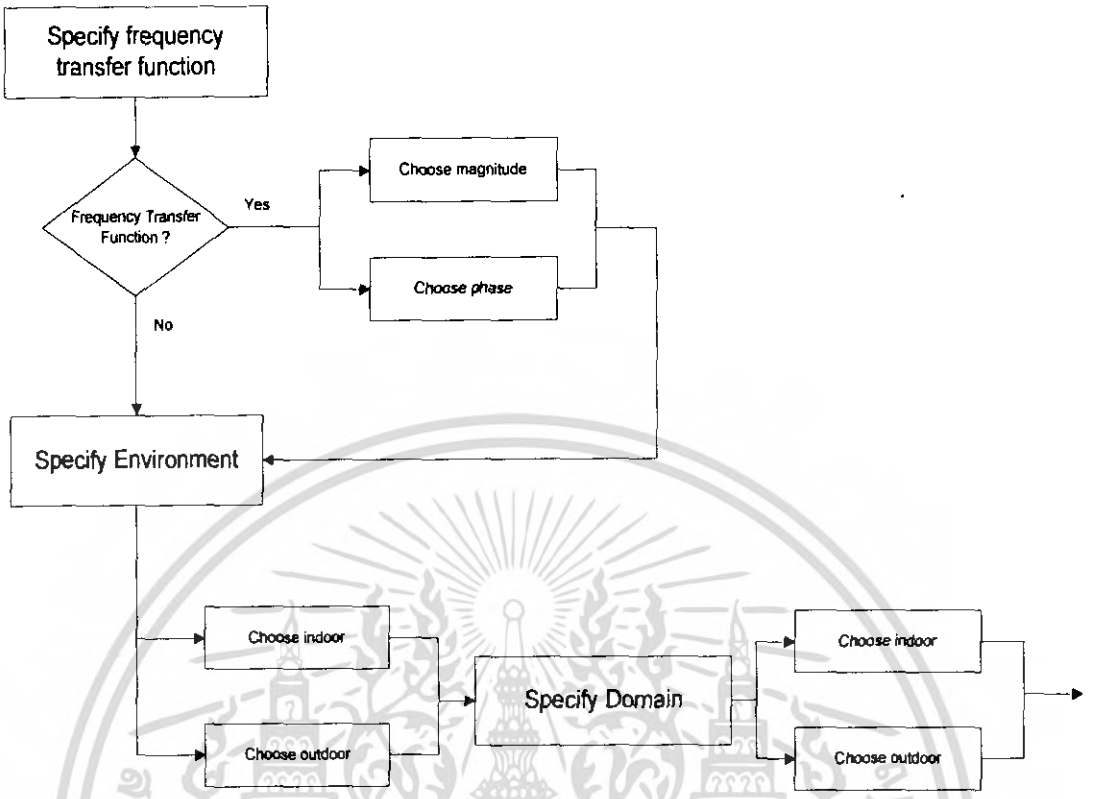
รูปที่ 4.5 แผนภาพกระบวนการทำการเลือกชนิดของเครื่องรับสัญญาณ UWB



รูปที่ 4.6 แผนภาพขั้นตอนการเลือกประเภทย่อย เมื่อต้องการเลือกวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับจากเครื่องรับ UWB

เมื่อทำการเลือกรูปแบบย่อยแล้วก็จะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับบางตัว อย่างเช่น ช่องสัญญาณ ซึ่งจะต้องใส่ข้อมูลบางค่า จึงจะได้กราฟตามที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการระบุฟังก์ชันการโอนถ่ายความถี่ สภาพแวดล้อม และโดเมน ที่ต้องการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แผนภาพขั้นตอนการระบุรูปแบบฟังก์ชันการโอนถ่ายความถี่, สภาพแวดล้อม และโดเมน ที่ต้องการวิเคราะห์

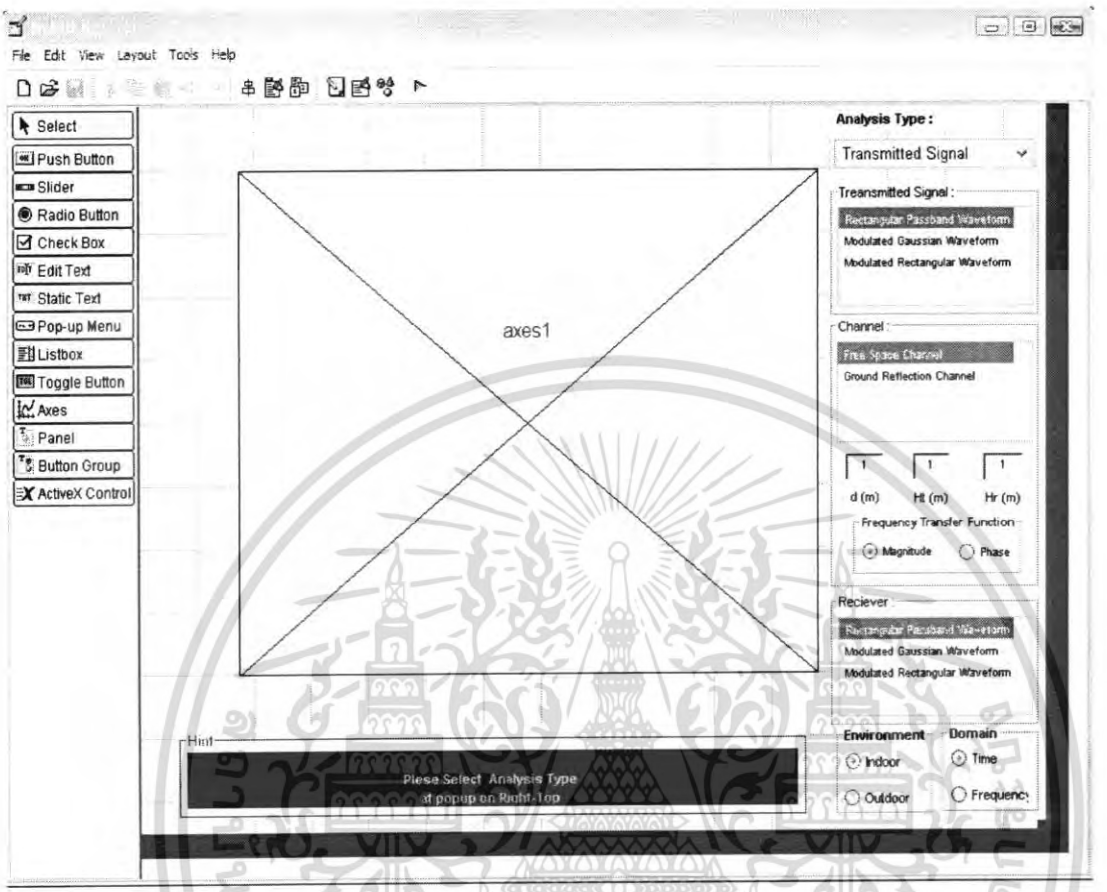
4.3 การสร้างแอพลิเคชัน

ในปริญญานิพนธ์นี้ ได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB 7.1 โดยได้มีขั้นตอนในการออกแบบเป็นดังนี้

1. เปิดโปรแกรม MATLAB 7.1 จากนั้นให้ทำการเปิด *GUIDE* เมื่อปรากฏหน้าต่างขึ้นมา ให้เลือกไปที่ *Create New GUI* แล้วดูที่ GUIDE Templates จากนั้นเลือก Blank GUI (Default) จะได้หน้าต่างที่ชื่อ Untitled.fig ขึ้นมา 1 หน้าต่าง พร้อมกับอุปกรณ์ในการสร้าง GUI

2. จัดวางรูปแบบดังรูป โดยใช้อุปกรณ์จัดแต่งทางด้านซ้ายมือตามหัวข้อที่ต้องการวิเคราะห์ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งจะได้องค์ประกอบออกมาเป็นดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

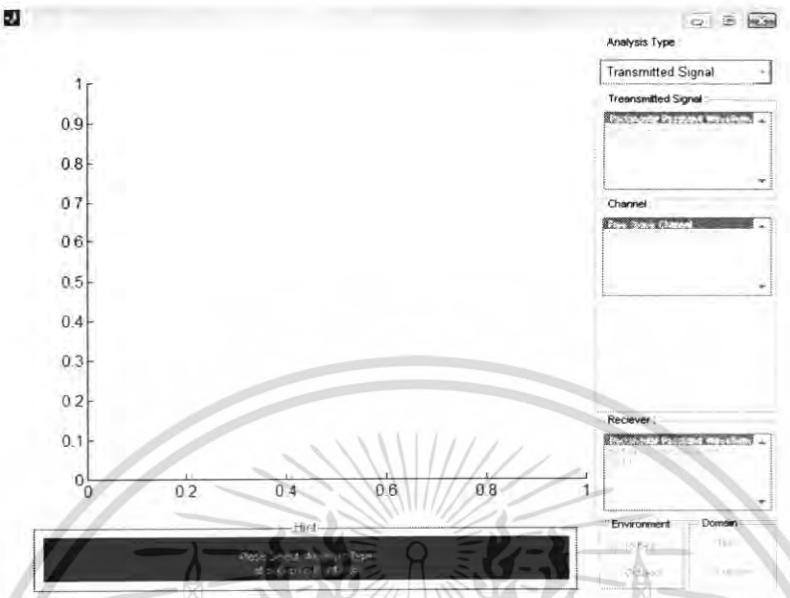


รูปที่ 4.8 รูปแบบของ GUI ที่ต้องการออกแบบ

3. กำหนดคุณสมบัติให้กับวัตถุต่างๆ โดยเข้าไปที่ Property Inspector

4. ทำการบันทึกโดยชื่อที่ใช้จะต้องขึ้นต้นด้วยตัวอักษร ในที่นี้ใช้ MyGUI ซึ่งจะได้ M-file ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการควบคุมวัตถุต่างๆและ FIG-file จากนั้นเมื่อทดลอง กดปุ่ม Run เพื่อสร้างการทำงาน ก็จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลที่ได้หลังจากกดปุ่ม Run

5 ทำการแก้ไข callback ของแต่ละวัตถุ ให้ทำงานตามที่ต้องการโดยมี M-file ที่ต้องมีการเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ทำการสร้างฟังก์ชันที่จะนำมาใช้ในการควบคุมวัตถุส่วนใหญ่ โดยในที่นี้จะตั้งชื่อฟังก์ชันว่า "manager" โดยจะให้มีเงื่อนไขคือ

1. เมื่อเปิดหน้าต่างมา โดยยังไม่มีการเลือกหรือกดปุ่มอะไรจากผู้ใช้ ให้ทุกวัตถุไม่สามารถใช้งานใดๆได้ นอกจาก pop-up ที่ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์ และให้ขึ้นคำแนะนำว่า "Please Select Analysis Type at popup on Right-Top"

2. เมื่อมีการกดเลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น "Transmitted Signal" ให้ list Box ของ "Transmitted Signal" และ radio button ของ "Domain" และ "Environment" สามารถใช้งานได้ และเมื่อผู้ใช้กดเลือกชนิดสัญญาณส่งแบบใด ก็ให้รูปคลื่นแสดงออกมาที่ axes ทางด้านซ้ายมือ และให้ขึ้นคำแนะนำว่า "Please Select Type of Waveform Environment and Domain"

3. หากชนิดของการวิเคราะห์ถูกเลือกเป็น "Channel" ให้ list Box ของ "Channel" สามารถใช้งานได้ และให้ editable text box และ radio button ของ "Frequency Transfer function" ที่ได้ตั้งค่าให้ซ่อนเอาไว้ในตอนแรก แสดงออกมา โดยวัตถุอื่นๆนอกเหนือจากนี้จะถูกปิดการใช้งาน และให้ผู้ใช้ใส่ค่าที่ต้องการลงใน editable text box โดยให้ค่าเริ่มต้นอยู่ที่ "Free Space Channel" และ "d" เริ่มต้นมีค่าเป็น "1" ซึ่งจะให้พบ editable text box เพียง

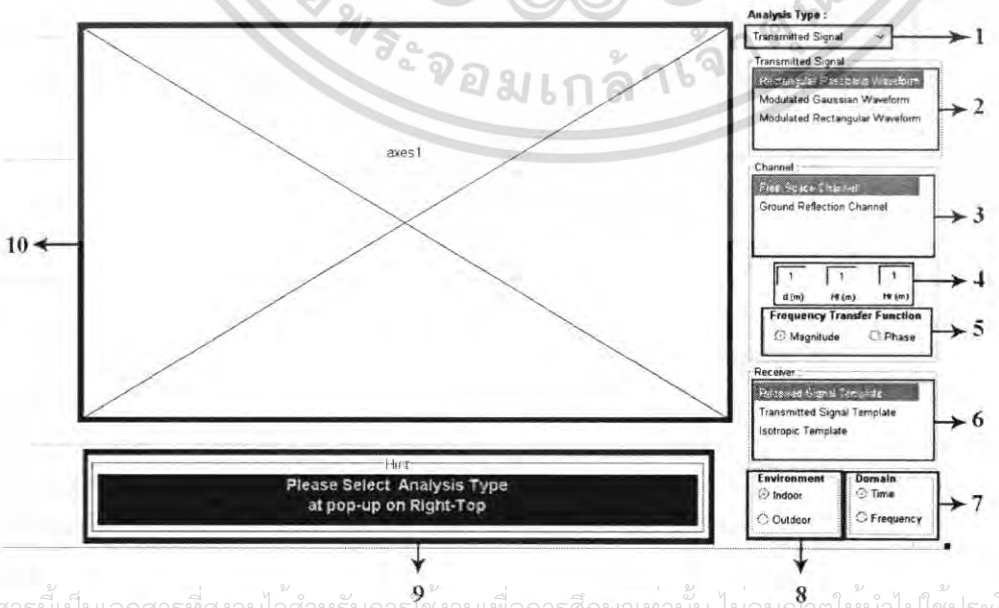
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แค่ช่องเดียว คือช่องของ “d” และให้มีคำแนะนำขึ้นมาว่า “Please Select Type of Channel, Frequency Transfer Function and Insert value of d (0.1-10 m)” และเมื่อเปลี่ยนไปที่ Ground Reflection Channel ก็ให้ปรากฏ editable text box ขึ้นมา 3 ช่องคือ “d” “ht” และ “hr” ตามลำดับ โดย “ht” และ “hr” ก็มีค่าเริ่มต้นเป็น “1” เช่นกัน และให้มีคำแนะนำขึ้นมาว่า “Please Select Type of Channel, Frequency Transfer Function and Insert value of d(0.1-10 m), ht(0.1-5 m) and hr(0.1-5 m)”

ขั้นที่ 2 ทำการสร้างฟังก์ชันที่ชื่อว่า Turn_Off เพื่อที่จะนำไปใส่ไว้ใน Radio Button ว่า เมื่อมีการกดอีกปุ่มหนึ่ง ให้ปุ่มอื่นๆมีค่าสถานะเป็น 0 ซึ่งก็คือไม่ทำงาน แล้วให้ปุ่มที่ถูกเลือกมีค่าเป็น 1

ขั้นที่ 3 ทำการกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดให้แก่ editable text box ทั้ง 3 ช่องที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ได้แก่ ค่า d กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.1-10 m ค่า h_t และ h_r อยู่ในช่วง 0.1-5 m และเมื่อผู้ใช้ มีการใส่ค่าที่ต่ำกว่าที่เรากำหนด เราจะให้ค่าเปลี่ยนเป็นค่าต่ำสุดของเรา และถ้าผู้ใช้ใส่ค่าที่มากกว่าที่เรากำหนด ก็ให้ใช้ค่าที่เป็นค่าสูงสุด โดยหากไม่ได้ใส่เป็นตัวเลข เราจะให้ตั้งค่าเป็น 1 โดยอัตโนมัติ

4.4 องค์ประกอบของ GUI ที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 4.10 ส่วนประกอบต่างๆของ GUI ที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เป็น pop-up ที่ทำการบรรจุชนิดของการวิเคราะห์ว่าเราต้องการที่จะวิเคราะห์อะไร โดยในการใช้งาน เราจะต้องเลือกที่ช่องนี้เป็นอันดับแรกซึ่งมีตัวเลือกคือ "Transmitted Signal", "Channel", "Received Signal" และ "Signal from Receiver"

2. เป็น list box ที่ใช้เก็บค่าของสัญญาณส่ง เป็น list box ที่ใช้เก็บค่าของ "Rectangular Passband Waveform", "Modulated Gaussian Waveform" และ "Modulated Rectangular Waveform"

3. เป็น list box ที่ใช้เก็บค่าของช่องสัญญาณ ซึ่งมีตัวเลือกคือ "Free Space Channel" "Ground Reflection Channel" และ "Measurement Channel" ซึ่งจะถูกเปิดใช้เมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น "Channel"

4. เป็น editable text box ที่ให้ผู้ใช้สามารถใส่ข้อมูลเพื่อดูกราฟของช่องสัญญาณได้ โดยที่ค่า "d" , "h_t" และ "h_r" จะถูกทำให้มองเห็นได้ เมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น "Channel" โดยที่ เมื่อเลือก List Box ที่ใช้เก็บค่าของช่องสัญญาณ เป็น "Free Space Channel" จะมีช่องที่สามารถมองเห็นแค่ช่องเดียวคือ "d" แต่ถ้าเป็น "Ground Reflection Channel" จะสามารถมองเห็นได้ทั้ง 3 ช่อง โดยค่าเริ่มต้นของทั้ง 3 จะมีค่าเท่ากับ "1" และถ้าทำการเลือกไปที่ "Measurement Channel" จะมีช่อง editable text box ที่มีคำว่า SampleFile.bin บรรจุอยู่ภายในและมีปุ่ม Browse ปรากฏขึ้นด้านข้าง ใช้สำหรับกดเลือกไฟล์ *.bin ที่มีอยู่ทั้งหมด สำหรับในที่นี้อาจมองไม่เห็นเพราะลักษณะของการสร้างจะมีการทับเล็กน้อย แต่เนื่องจากมีการใช้งานไม่พร้อมกันจึงไม่เกิดปัญหา

5. เป็น radio button ที่มีค่าให้เลือกระหว่าง "Magnitude" และ "Phase" ใน "Frequency Transfer function" โดยจะสามารถมองเห็นได้ก็ต่อเมื่อ เมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น "Channel"

6. เป็น list box ที่ใช้เก็บค่าของชนิดตัวรับซึ่งมีตัวเลือกคือ "Received Signal Template", "Transmitted Signal Template" และ "Isotropic Template" ซึ่งจะถูกเปิดใช้เมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น "Signal from Receiver"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เป็น radio button ที่ใช้เลือกระหว่าง “Time Domain” และ “Frequency Domain” ซึ่งจะถูกเปิดใช้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น “Transmitted Signal”, “Received Signal” และ “Signal From Receiver”

8. เป็น radio button ที่ใช้เลือกระหว่างสภาพแวดล้อมแบบ “Indoor” และ “Outdoor” ซึ่งจะถูกเปิดใช้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้เลือกชนิดของการวิเคราะห์เป็น “Transmitted Signal”, “Received Signal” และ “Signal From Receiver”

9. เป็น static text ที่จะมีค่าภายในปรากฏ เมื่อเริ่มต้นการทำงานของ GUI นี้ เป็นค่าพารามิเตอร์ของรูปคลื่นชนิด “Rectangular Passband Waveform” ที่โดเมนเวลาสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร และค่าจะเปลี่ยนไปเมื่อผู้ใช้เริ่มทำการเลือกชนิดของการวิเคราะห์ ได้แก่ เมื่อผู้ใช้เลือก “Transmitted Signal” ค่าที่ปรากฏก็จะเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับค่าความถี่ต่างๆที่ใช้ในสมการ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ความกว้างพัลส์ หรืออื่นๆที่ต้องใช้ในสมการ และเมื่อผู้ใช้เลือกชนิดการวิเคราะห์ที่เป็น “Channel” ซึ่งจะมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ “Free Space Channel” ค่าก็จะเปลี่ยนเป็นแนะนำวิธีการใช้คือ “Please Select Type of Channel, Frequency Transfer Function and Insert value of d (0.1-10 m)” และเมื่อเปลี่ยนไปที่ “Ground Reflection Channel” ก็จะเปลี่ยนเป็น “Please Select Type of Channel, Frequency Transfer Function and Insert value of d (0.1-10 m), ht (0.1-5 m) and hr (0.1-5 m)” และถ้าเป็น “Measurement Channel” ก็จะเป็น “Please Browse Your File with “Browse” button” ทั้งหมดนี้ เพื่อเป็นการชี้แนวทางวิธีการใช้และบอกค่าต่างๆที่ควรทราบเพื่อให้ผู้ใช้ได้เข้าใจอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ส่วนถ้าเลือกเป็น “Received Signal” ก็จะบอกถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถี อัตราขยายสัมพัทธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้จากช่องสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้จากช่องสัญญาณกับสัญญาณที่ได้จากช่องสัญญาณอวกาศว่าง และ” Signal From Receiver” จะบอกถึงค่าการสูญเสียเชิงวิถี และอัตราขยายสัมพัทธ์

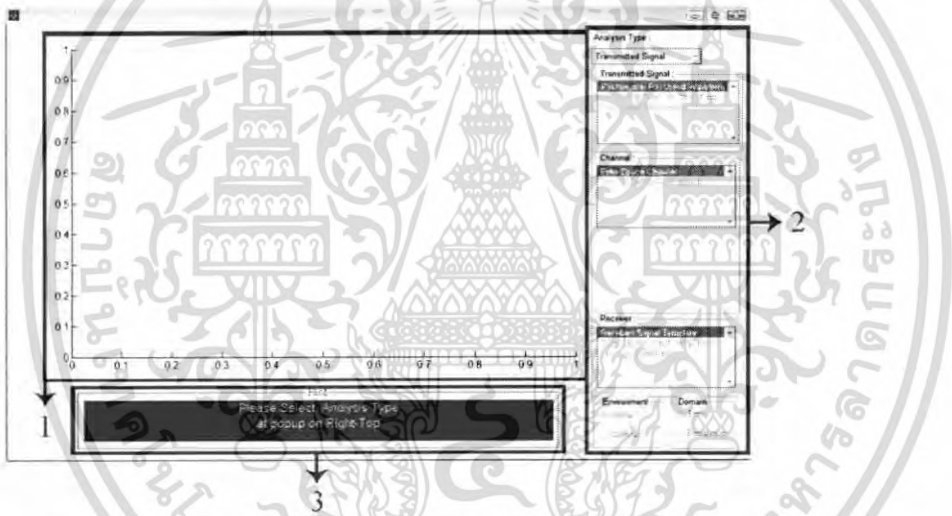
10. เป็น axes ที่ใช้ในการแสดงผล ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามรายละเอียดของการเลือกที่ได้กล่าวมาด้านบน โดยจะมีค่าบอกที่แกน X และ Y ว่าแกนนั้นๆเป็นค่าใด และมีชื่อกราฟบอกที่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

โครงงานนี้ได้สร้างแอพลิเคชันที่ใช้สำหรับศึกษาการสื่อสาร UWB โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในส่วนของการคำนวณ และในส่วนของ GUI เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและการศึกษา สำหรับแอพลิเคชันที่ได้สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วยอินเทอร์เฟส 3 ส่วน คือ 1. ส่วนแสดงผล 2. ส่วนตัวเลือกและการกำหนด 3. ส่วนแนะนำการใช้งาน ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แอพลิเคชันที่สร้างขึ้นประกอบด้วยอินเทอร์เฟส 3 ส่วน1. ส่วนแสดงผล 2. ส่วนตัวเลือกและการกำหนด 3. ส่วนแนะนำการใช้งาน

5.2 การทดลองและผลการทดลอง

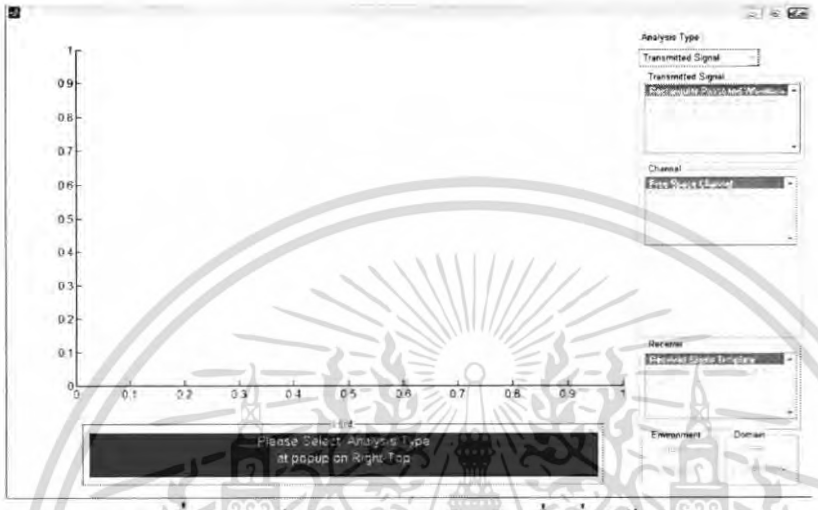
การทดลองใช้แอพลิเคชัน จะเป็นการทดลองว่าเมื่อกำหนดและสั่งดำเนินการแอพลิเคชันแล้วนั้น แอพลิเคชันสามารถตอบสนองและดำเนินการให้ได้ผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องหรือไม่

5.2.1 เริ่มใช้งาน

เมื่อสั่งให้แอพลิเคชันเริ่มทำงาน หน้าต่างของแอพลิเคชันจะถูกเปิดขึ้น โดยอินเทอร์เฟสในส่วนตัวเลือกและการกำหนด จะถูกปิดการใช้งานไว้ไม่สามารถใช้งานได้ จนกว่าจะทำการเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการวิเคราะห์ที่ตัว popup ก่อน และอินเทอร์เฟสในส่วนแนะนำการใช้งานจะแสดงข้อความว่า "Please Select Analysis Type at Pop-Up on Right-Top" ดังรูปที่ 5.2

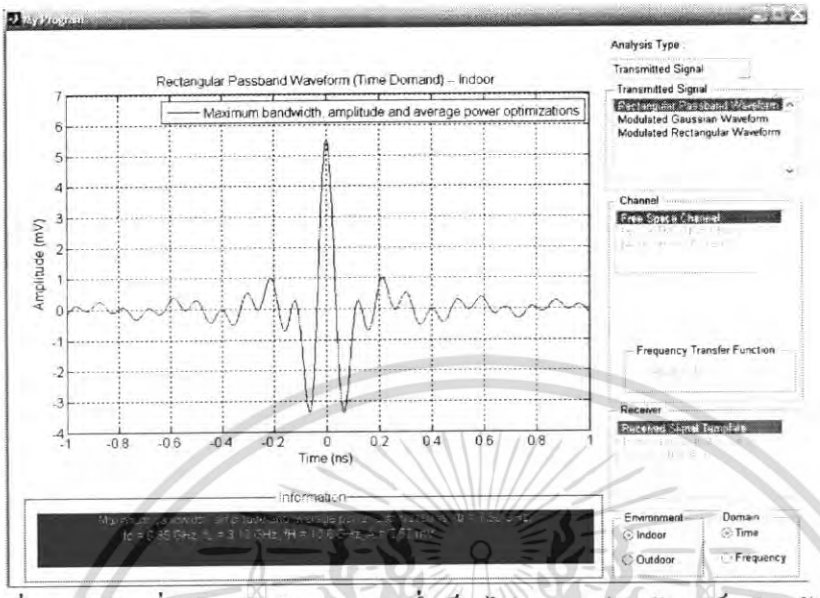


รูปที่ 5.2 หน้าต่างของแอพลิเคชันเมื่อเริ่มใช้งาน

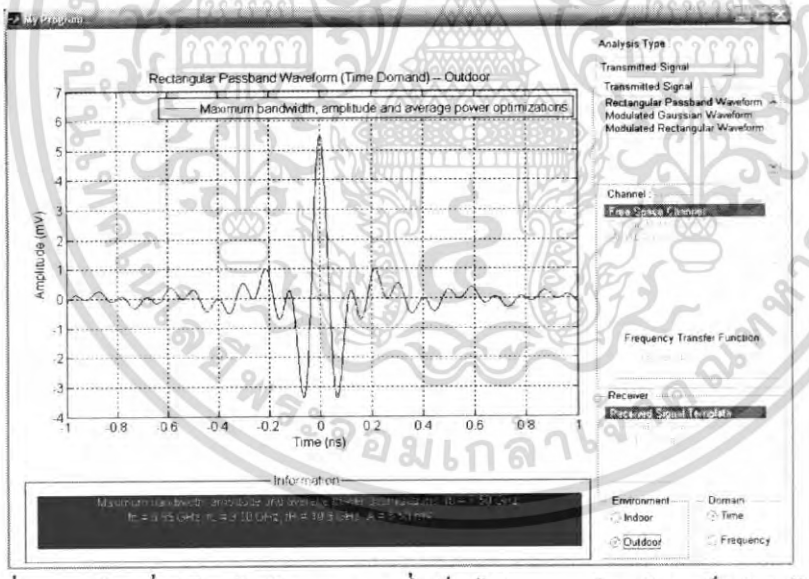
5.2.2 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม

ทำการเลือกลักษณะการวิเคราะห์ไปที่ "Transmitted Signal" จากนั้นในกรอบหน้าต่างของ Transmitted Signal จะเปิดให้ใช้งาน อินเทอร์เฟสในส่วนแนะนำการใช้งานจะแสดงข้อความว่า "Please Select Type of Waveform Environment and Domain" โดยเลือกไปที่ "Rectangular Passband Waveform" รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาหาได้จากสมการที่ (2.8) และรูปคลื่นในโดเมนความถี่ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถหาได้จากสมการที่ (2.9) ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารภายใต้เงื่อนไขที่ทำให้สัญญาณมีแบนด์วิดท์กว้างสุด แอมพลิจูดสูงสุด และกำลังเฉลี่ยมากสุดจะมีพารามิเตอร์ที่เท่ากัน นั่นคือ f_b = 7.50 GHz, f_c = 6.85 GHz, f_L = 3.10 GHz, f_H = 10.60 GHz และ A = 5.50 mV รูปคลื่นจะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.5 GHz มีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -59.54 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลา และในโดเมนความถี่สำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคารแสดงในรูป 5.3, 5.4, 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

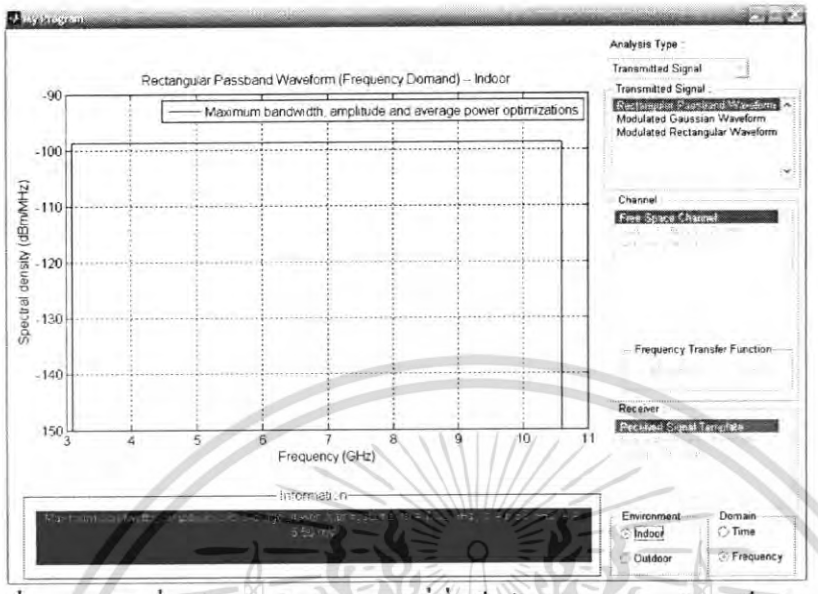


รูปที่ 5.3 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

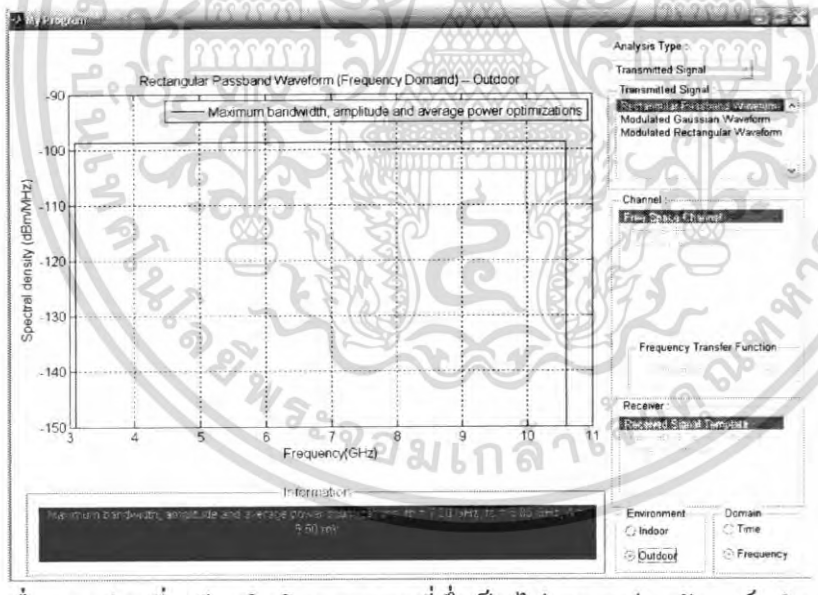


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับขอจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



รูปที่ 5.6 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

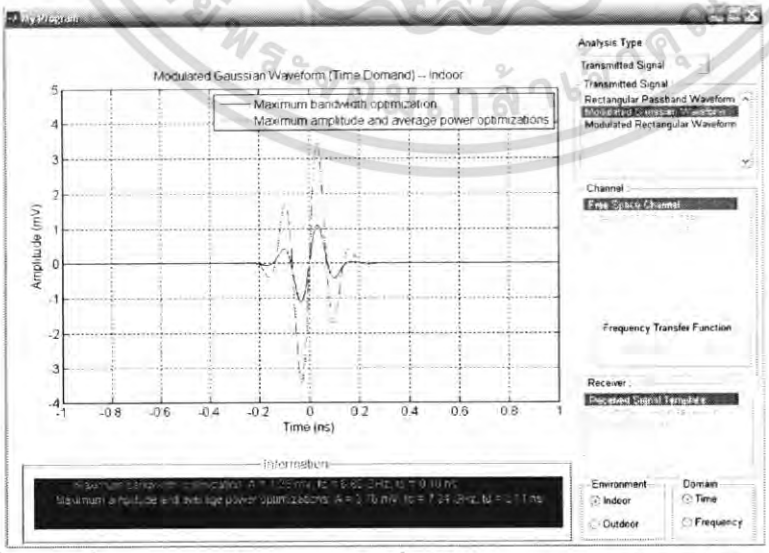
5.2.3 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต

ที่หน้าต่าง Transmitted Signal ทำการเลือก “Modulated Gaussian Waveform” รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลา หาได้จากสมการที่ (2.10) และรูปคลื่นในโดเมนความถี่ของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมสามารถหาได้จากสมการที่ (2.11) ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

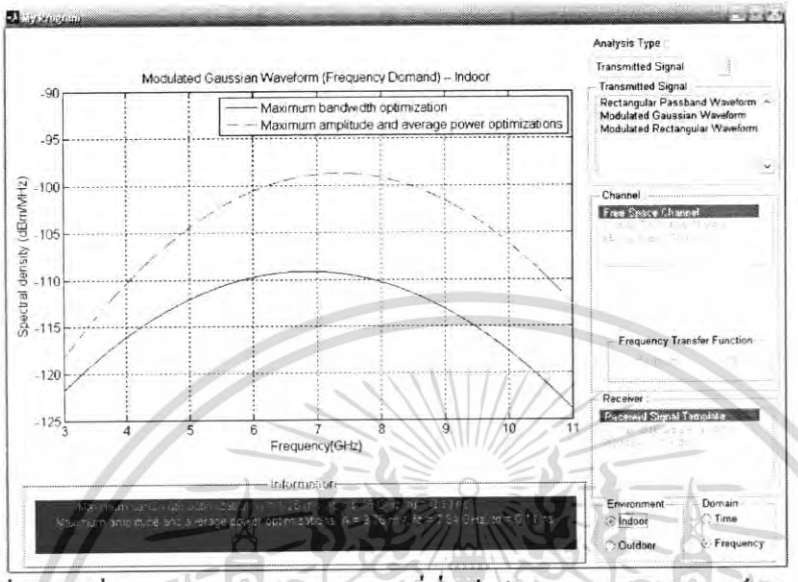
และสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์-วิดท์กว้างที่สุด คือ t_d = 0.10 ns, f_c =6.85 GHz, และ A = 1.25 mV รูปคลื่นที่ได้นั้นจะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.21 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมีค่ามากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ t_d = 0.11 ns, f_c = 7.34 GHz, และ A = 3.76 mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 3.43 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.84 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.20 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.75 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 ตามลำดับ

รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารจะมีพารามิเตอร์ ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด คือt_d = 0.10 ns, f_c = 6.85 GHz, และ A = 1.25 mV โดยรูปคลื่นมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 1.10 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.00 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.82 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -72.71 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากัน คือ t_d = 0.13 ns, f_c = 6.85 GHz และ A = 3.18 mV โดยรูปคลื่นที่ได้มีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 2.95 mV มีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.77 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 5.24 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -63.43 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ของรูปคลื่นที่ได้เปรียบเทียบ กับสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่5.9 และ 5.10 ตามลำดับ

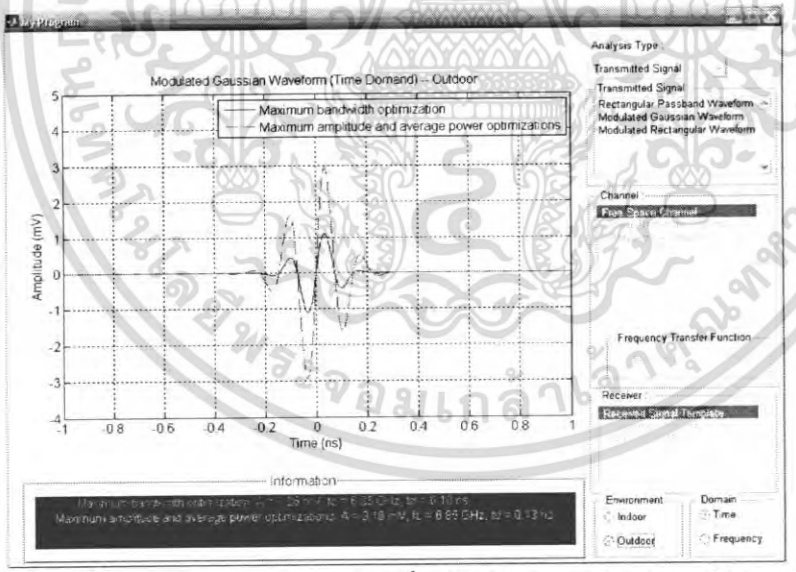


รูปที่ 5.7 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

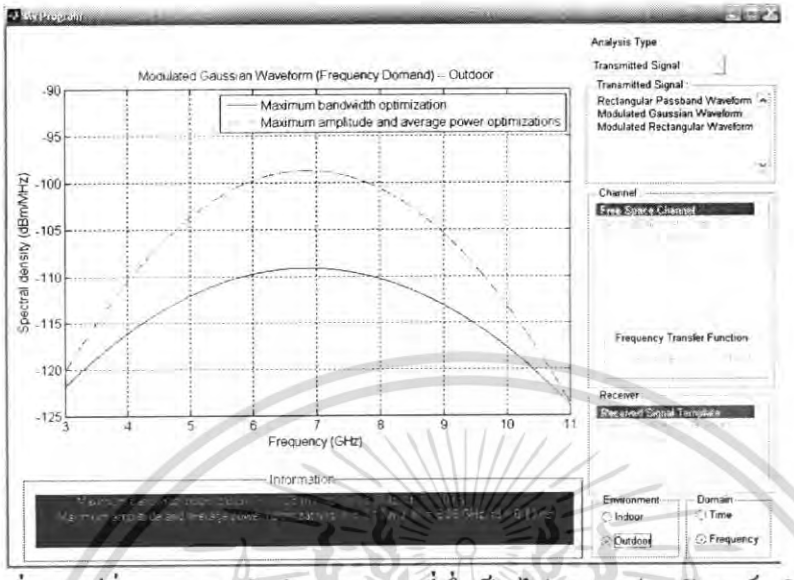


รูปที่ 5.8 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



รูปที่ 5.9 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

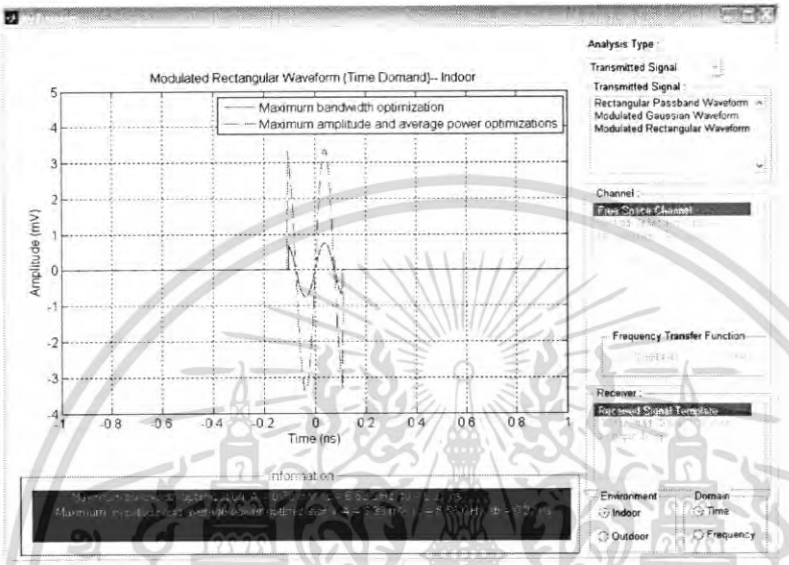
5.2.4 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณส่งของรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต

รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาหาได้จากสมการที่ (2.12) และรูปคลื่นในโดเมนความถี่ของรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตสามารถหาได้จากสมการที่ (2.13) ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณUWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารจะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด คือ t_b = 0.21, f_c = 6.62 GHz, และ A = 0.76 mV รูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.09 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 7.42 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -75.44 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดสูงที่สุดและกำลังเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากันคือ t_b = 0.22 ns, f_c = 6.58 GHz และ A = 3.39 mV โดยรูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.98 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.72 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -62.24 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและรูปคลื่นในโดเมนความถี่ สำหรับข้อจำกัดภายในอาคารแสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ

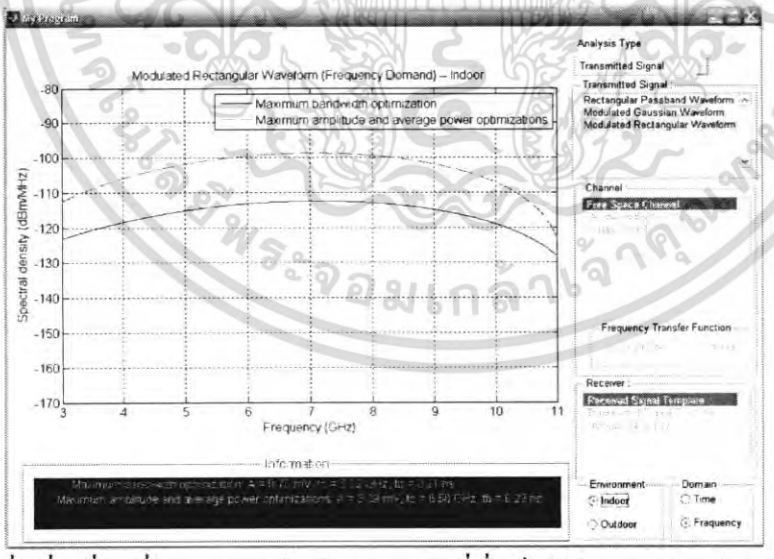
รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต ซึ่งเป็นไปตามนิยามของสัญญาณ UWB และสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร จะมีพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบนด์วิดท์กว้างที่สุด คือ t_b = 0.21 ns, f_c = 6.62 GHz, และ A = 0.76 mV รูปคลื่นที่ได้จะมีแบนด์วิดเชิงเศษส่วนเท่ากับ 1.03 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 6.87 GHz และมีกำลังเฉลี่ยเท่ากับ -71.32 dBm ส่วนพารามิเตอร์ที่เป็นไปตามเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยมากที่สุด คือ t_b = 0.96 ns, f_c = 6.72 GHz และ A = 0.76 mV รูปคลื่นที่ได้มีแบนด์วิดท์เท่ากับเชิงเศษส่วนเท่ากับ 0.23 มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 1.54 GHz และมีกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยเท่ากับ -68.22 dBm สำหรับรูปคลื่นในโดเมนเวลาและ โดเมนความถี่สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารแสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ

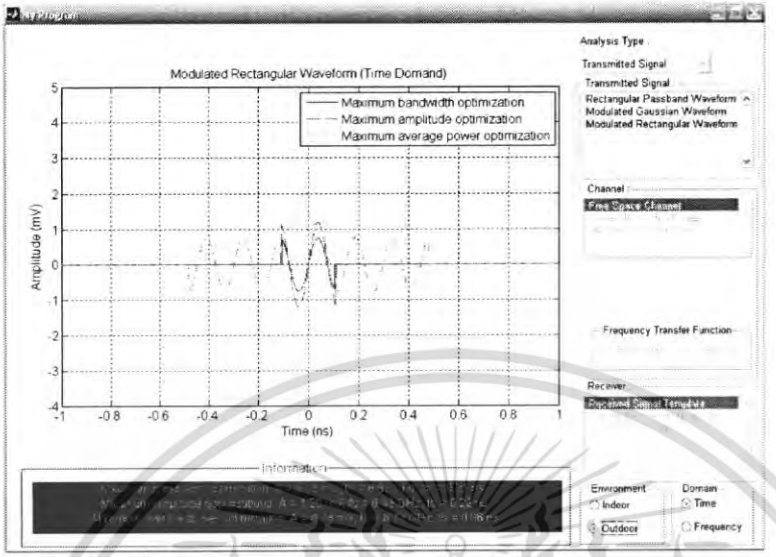


รูปที่ 5.11 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

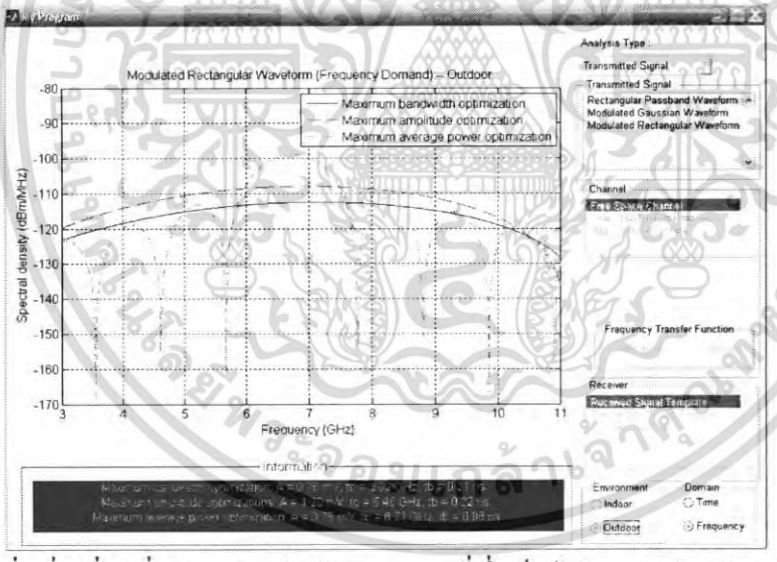


รูปที่ 5.12 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



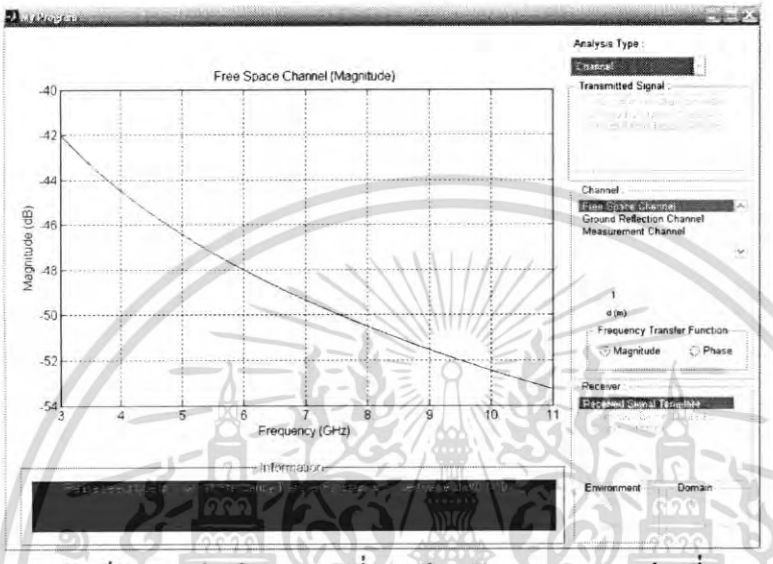
รูปที่ 5.14 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

5.2.5 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณอากาศว่าง

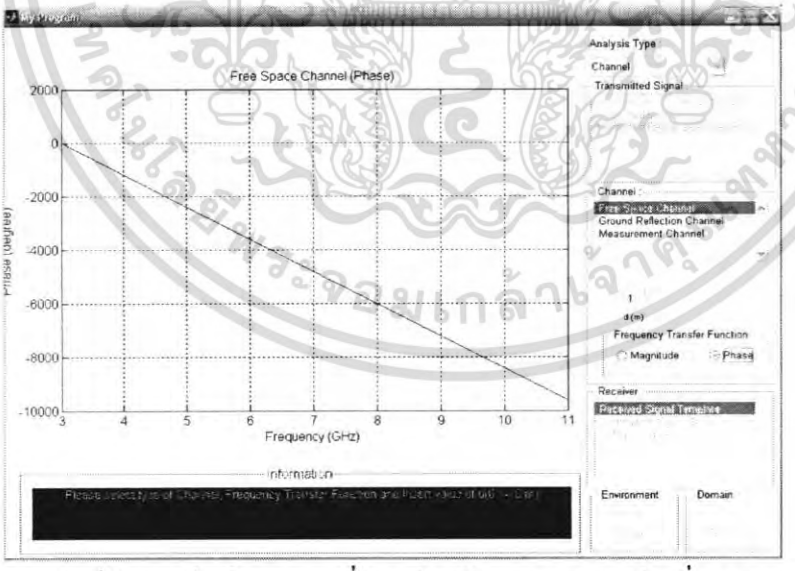
ทำการเลือกลักษณะการวิเคราะห์เป็น “Channel” จากนั้นหน้าต่าง Channel จะเปิดออกให้ใช้งาน ให้เลือก “Free Space Channel” และจะมีช่องอินพุตสำหรับให้ใส่ระยะทาง (d) โดยได้ทดลองกำหนดค่า d = 1 m ช่องสัญญาณอวกาศว่างที่นำมาวิเคราะห์ได้ใช้สูตรการส่งผ่านของฟริส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขยายมาเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ในรูปแบบเชิงซ้อน (2.17) ซึ่งได้แสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ที่ระยะทาง 1 m ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และ 5.16



รูปที่ 5.15 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ระยะทาง 1 m ในช่วง ความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz

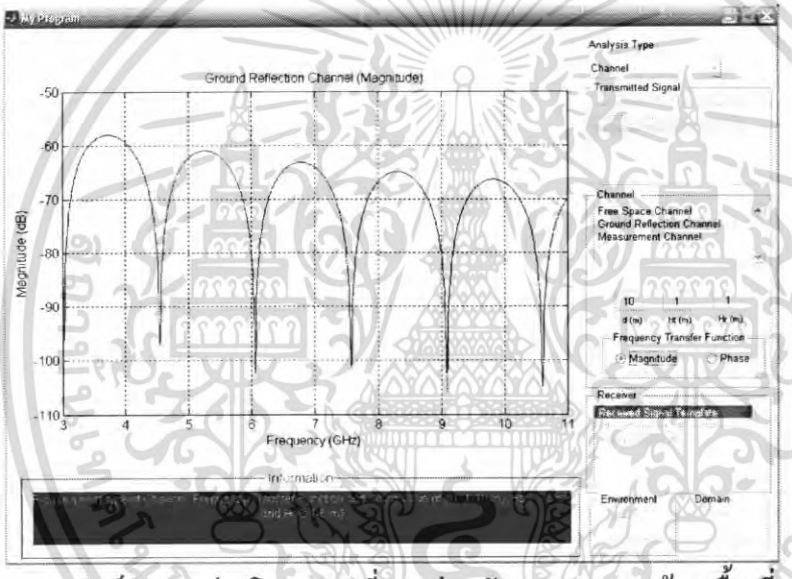


รูปที่ 5.16 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณอวกาศว่างที่ระยะทาง 1 m ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 GHz ถึง 11 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

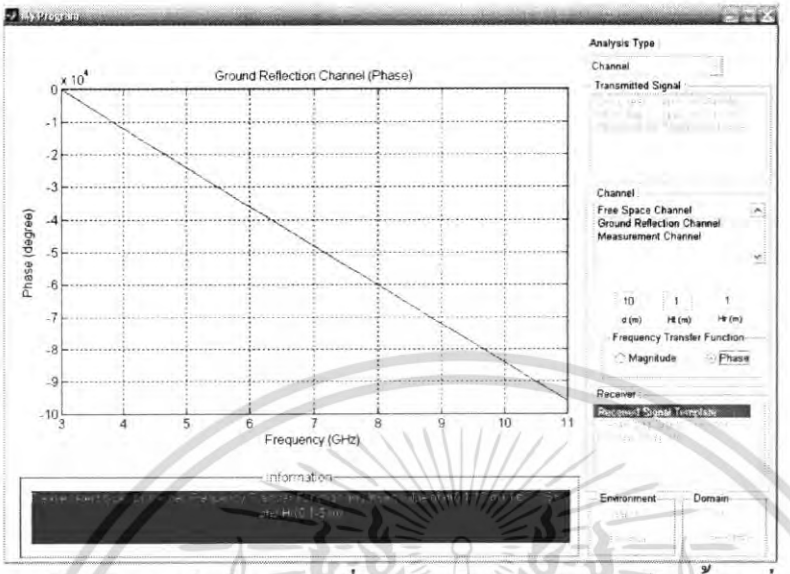
5.2.6 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น

ที่หน้าต่าง Channel เลือกเป็น "Ground Reflection Channel" จากนั้นจะปรากฏช่องใส่อินพุต 3 ช่อง คือค่าของ ระยะทาง(d) ความสูงของสายส่งสัญญาณ(H_t) และความสูงของสายรับสัญญาณ (H_r) สำหรับช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นใช้สมการ(2.22)โดยการทดลองนี้ได้กำหนดให้ d = 10 m, H_t = 1 m, H_r = 1 m ขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ที่มีความสูงของสายอากาศส่งและรับเป็น 1 m แสดงในรูปที่ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ



รูปที่ 5.17 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ที่ระยะทาง 10 m ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็น 1 m ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz

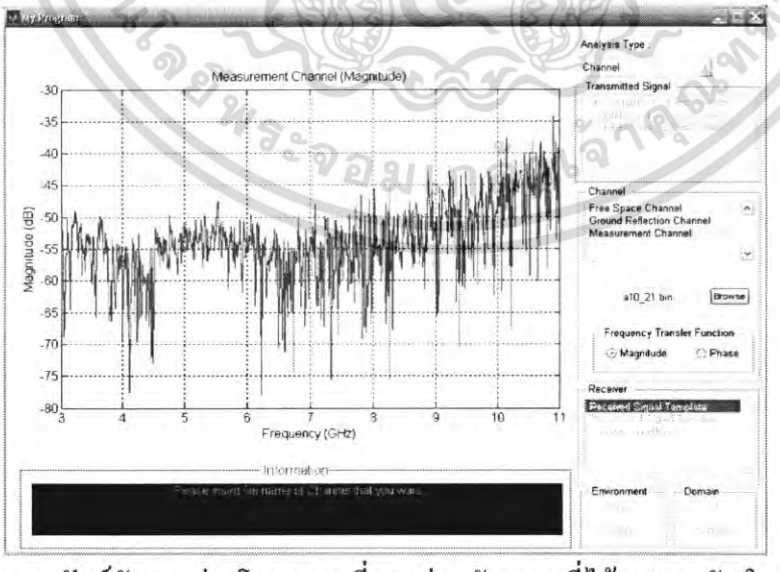
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ที่ระยะทาง 10 m ความสูงของสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็น 1 m ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz

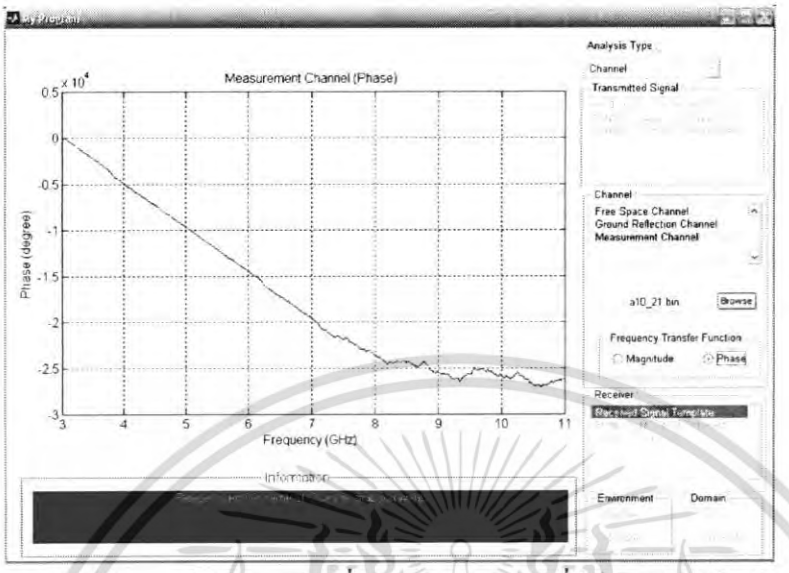
5.2.7 ทดลองทางคุณสมบัติช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด

แอพลิเคชันที่ได้สร้างขึ้นนี้ สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดช่องสัญญาณจริงนำมาพล็อตกราฟ โดยข้อมูลที่ได้จากการใช้อุปกรณ์วัดสัญญาณ UWB นั้นจะอยู่ในรูปของไฟล์ในสกุล .bin เมื่อผู้ใช้ทำการเรียกดูไฟล์ แอพลิเคชันจะทำการพล็อตกราฟ ดังแสดงใน รูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.19 ขนาดของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz

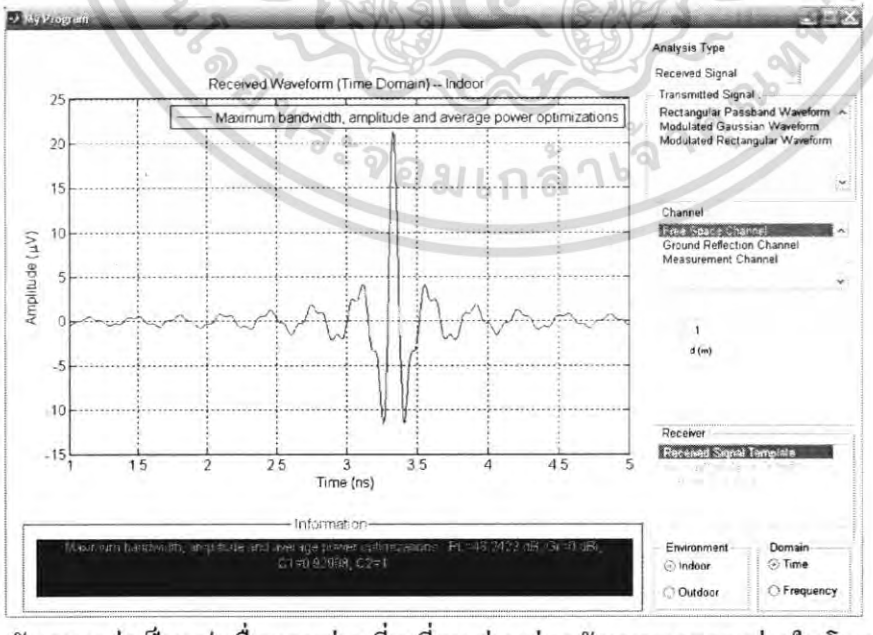
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 เฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3 ถึง 11 GHz

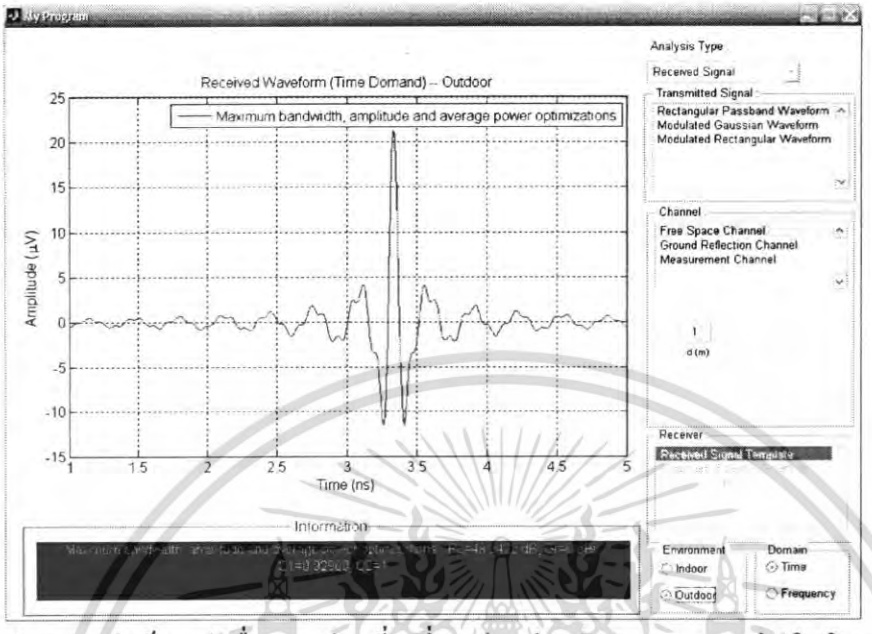
5.2.8 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณที่รับได้

การวิเคราะห์ในเรื่องนี้ ผู้ใช้จะต้องเลือกสัญญาณส่ง และช่องสัญญาณ UWB เพื่อใช้ในการคำนวณ หลังจากนั้นจะทำการเลือกสภาพแวดล้อมและโดเมน ซึ่งได้ทำการทดลองตัวอย่าง โดยใช้สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม จะได้ผลดังรูปที่ 5.21 ถึงรูปที่ 5.31

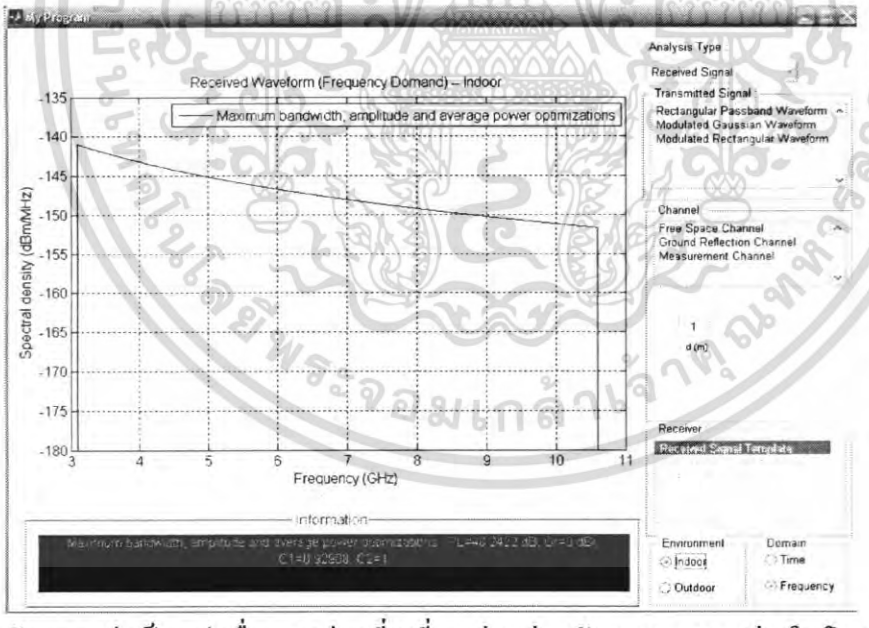


รูปที่ 5.21 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมนเวลา ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นสื่อที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

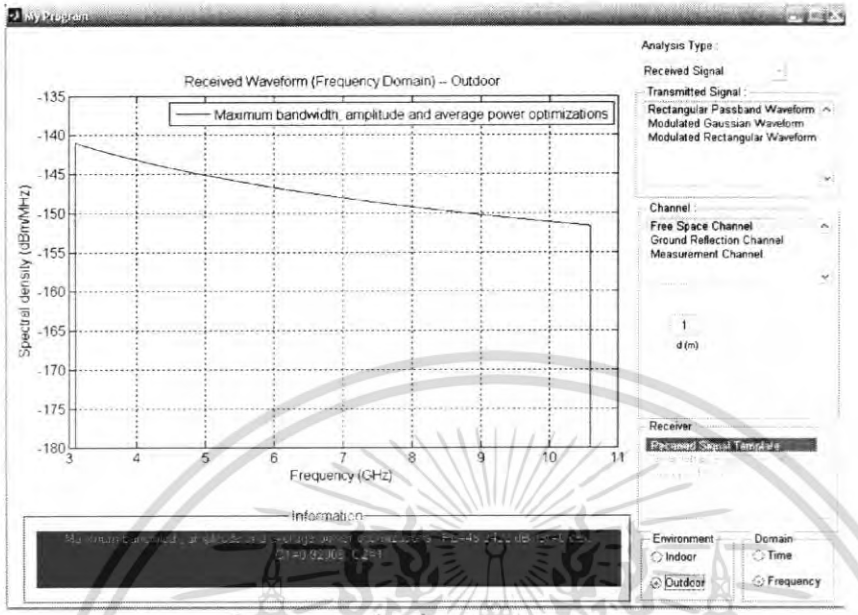


รูปที่ 5.22 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมนเวลา ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

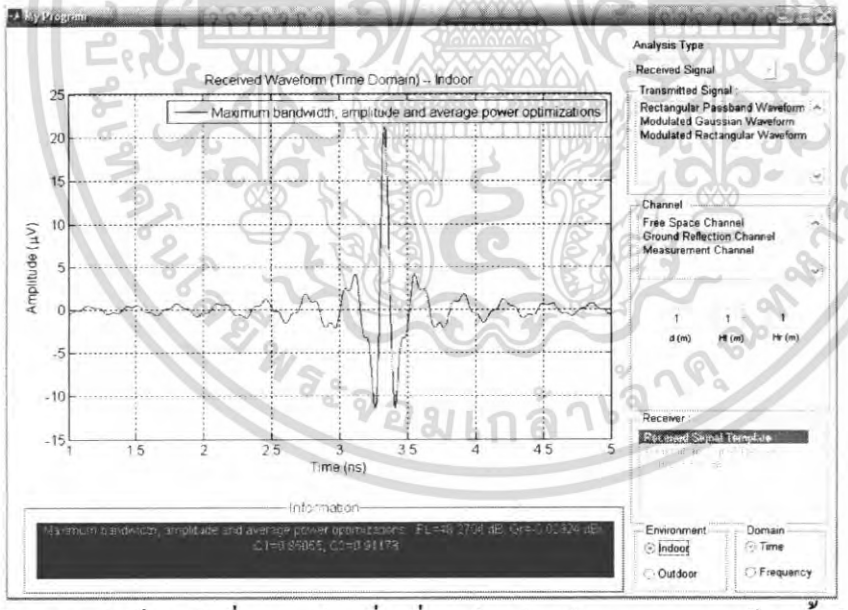


รูปที่ 5.23 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

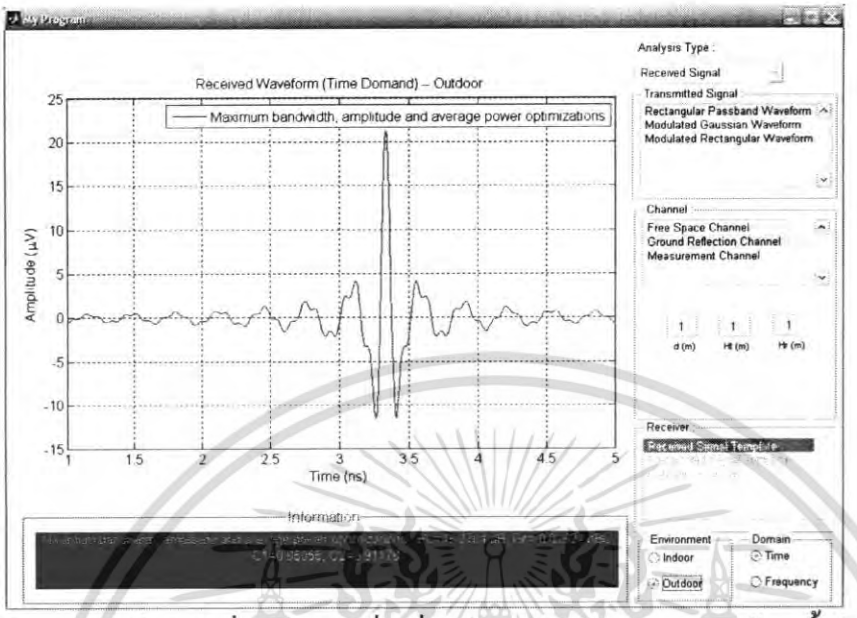


รูปที่ 5.24 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

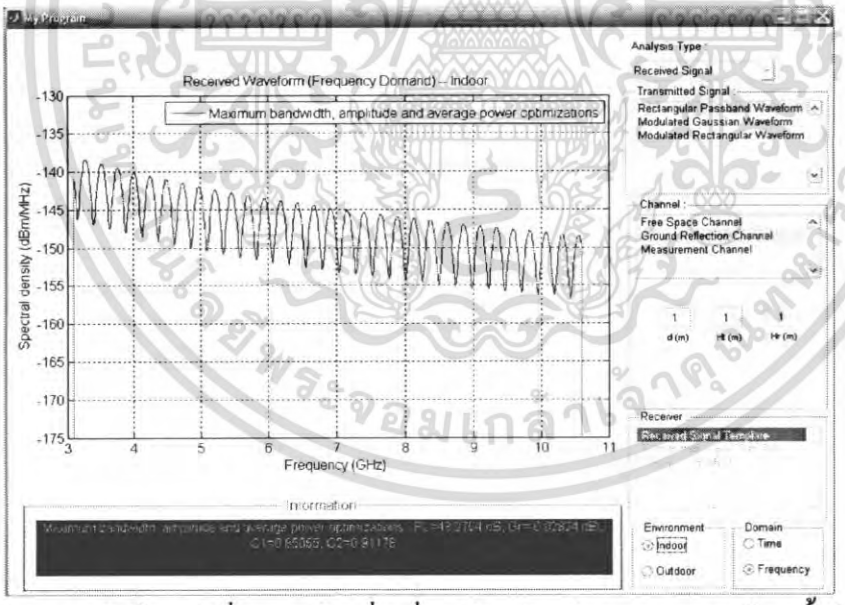


รูปที่ 5.25 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

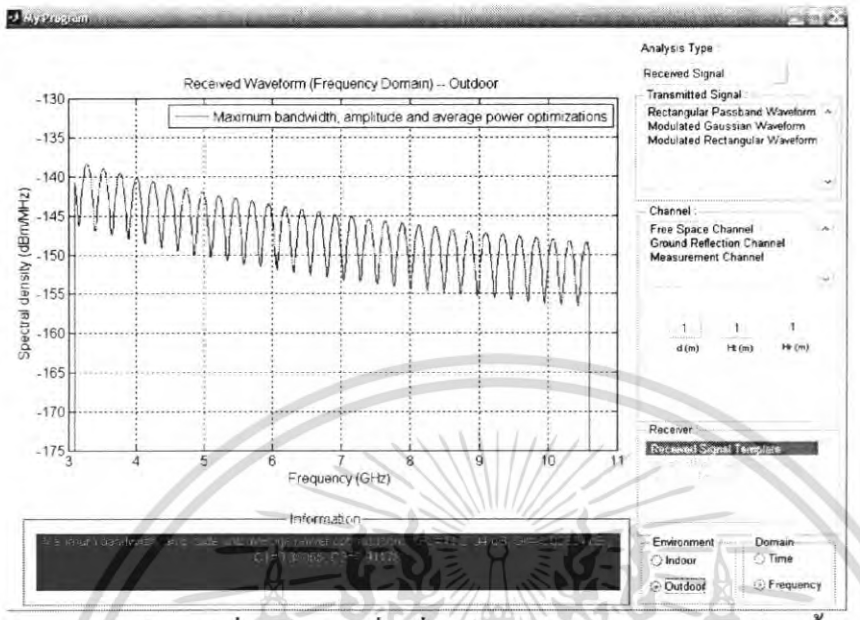


รูปที่ 5.26 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

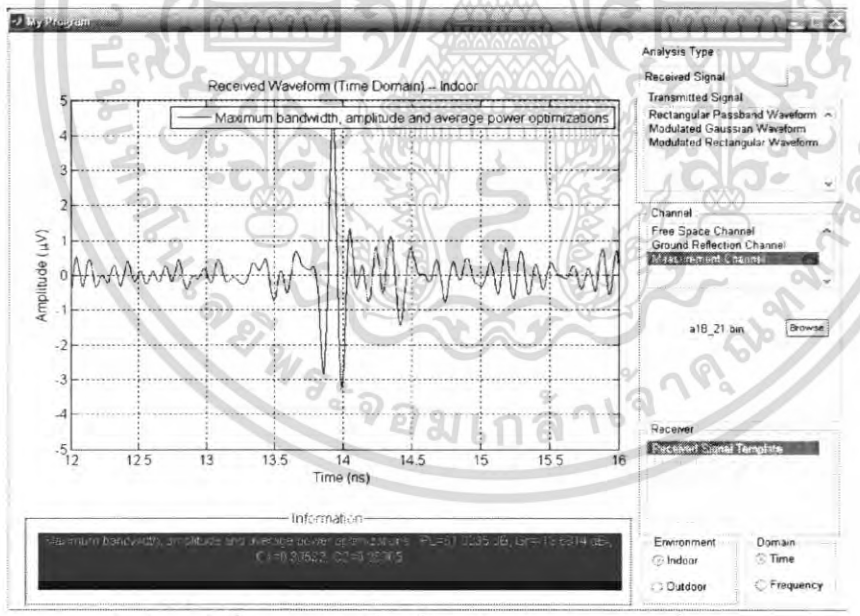


รูปที่ 5.27 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

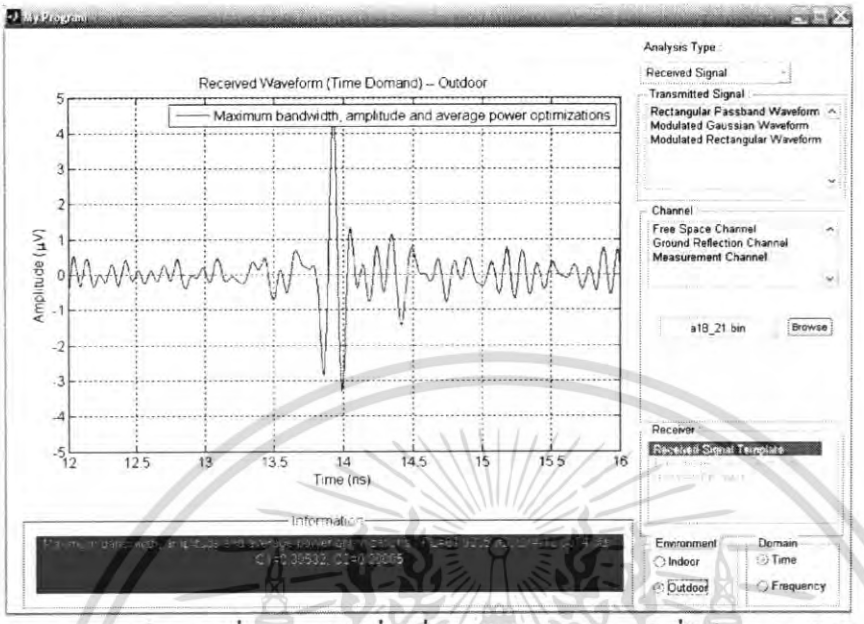


รูปที่ 5.28 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

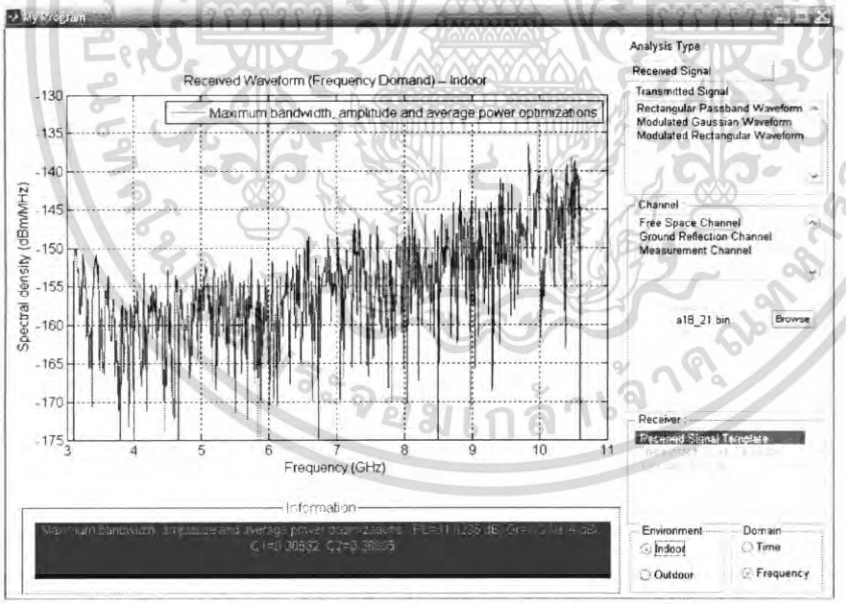


รูปที่ 5.29 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

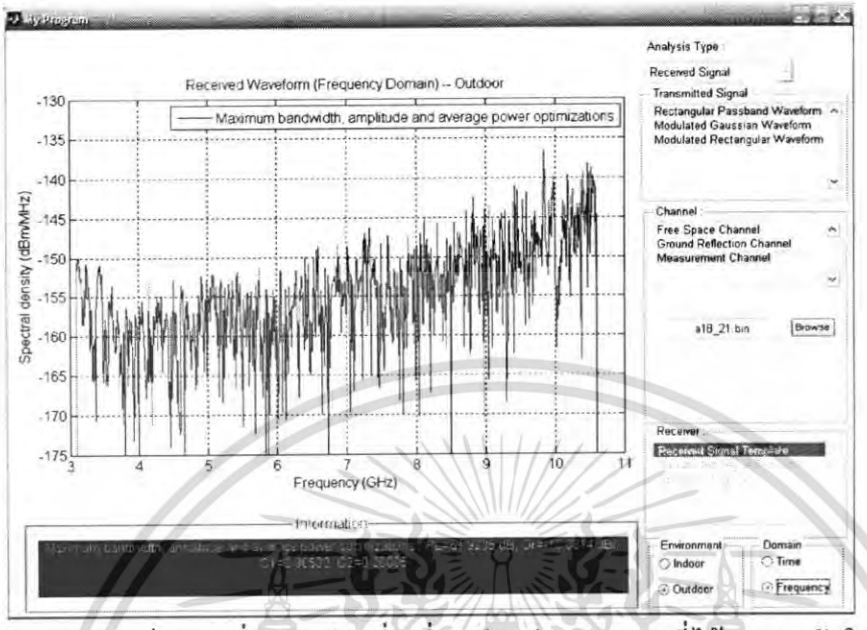


รูปที่ 5.30 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนเวลาซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร



รูปที่ 5.31 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.32 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เมื่อทำการทดลองโดยการเปลี่ยนสัญญาณส่ง UWB เป็นรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และพิจารณาช่องสัญญาณต่างๆ คือ ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ในกรณีต่างๆจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี, อัตราขยายสัมพัทธ์ และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 5.1 รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและภายนอกอาคาร

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.2422	0	0.92908	1
Ground Reflection Channel	48.2704	-0.02824	0.85055	0.91178
Measurement Channel	53.0152	-4.773	0.66123	0.58771

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่เป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร มีแบนด์วิดท์กว้างที่สุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.9199	0	0.95213	1
Ground Reflection Channel	48.9215	-0.0015332	0.86888	0.91299
Measurement Channel	53.0268	-4.1068	0.73603	0.68939

ตารางที่ 5.3 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	49.4638	0	0.96014	1
Ground Reflection Channel	48.4574	0.0063763	0.87638	0.9129
Measurement Channel	52.7894	-3.3256	0.71655	0.67651

ตารางที่ 5.4 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.67	0	0.96887	1
Ground Reflection Channel	48.6706	-0.00059908	0.8844	0.91288
Measurement Channel	52.7435	-4.0735	0.77233	0.73775

ตารางที่ 5.5 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ โดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.5122	0	0.90472	1
Ground Reflection Channel	48.5128	-0.0006271	0.8255	0.91306
Measurement Channel	52.4896	-3.9774	0.68927	0.66793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.2248	0	0.91158	1
Ground Reflection Channel	48.2245	0.0002894	0.83195	0.91297
Measurement Channel	52.2132	-3.9889	0.70742	0.6913

ตารางที่ 5.7 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.1913	0	0.090901	1
Ground Reflection Channel	48.1902	0.0010665	0.82951	0.91302
Measurement Channel	52.3908	-4.1996	0.7127	0.69567

ตารางที่ 5.8 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด

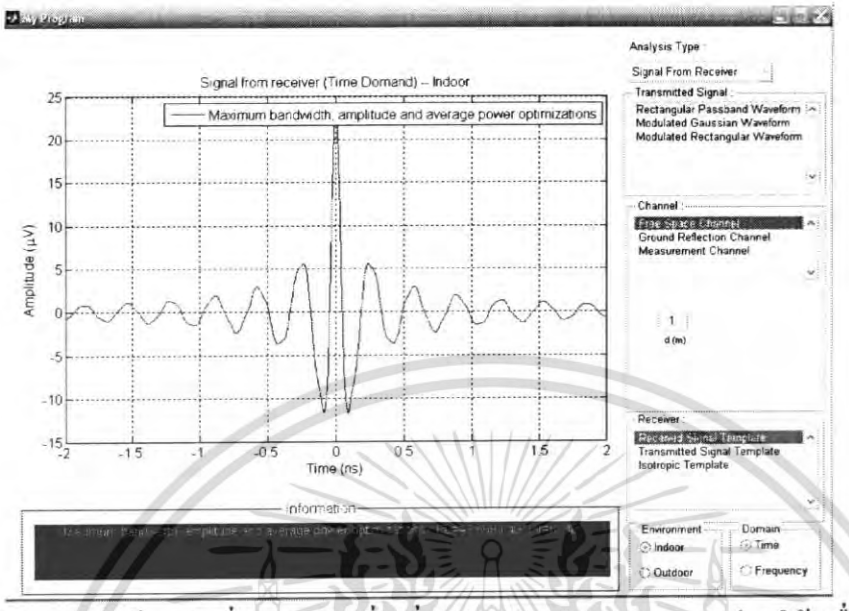
Channel	PL (dB)	Gr(dBi)	C1	C2
Free Space Channel	48.2974	0	0.97098	1
Ground Reflection Channel	48.287	0.010411	0.8863	0.91291
Measurement Channel	51.9834	-3.686	0.77227	0.77695

จากตารางที่ 5.1 ถึง 5.8 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี, อัตราขยายสัมพัทธ์ และค่าประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยสัญญาณส่ง และช่องสัญญาณที่ต่างกัน

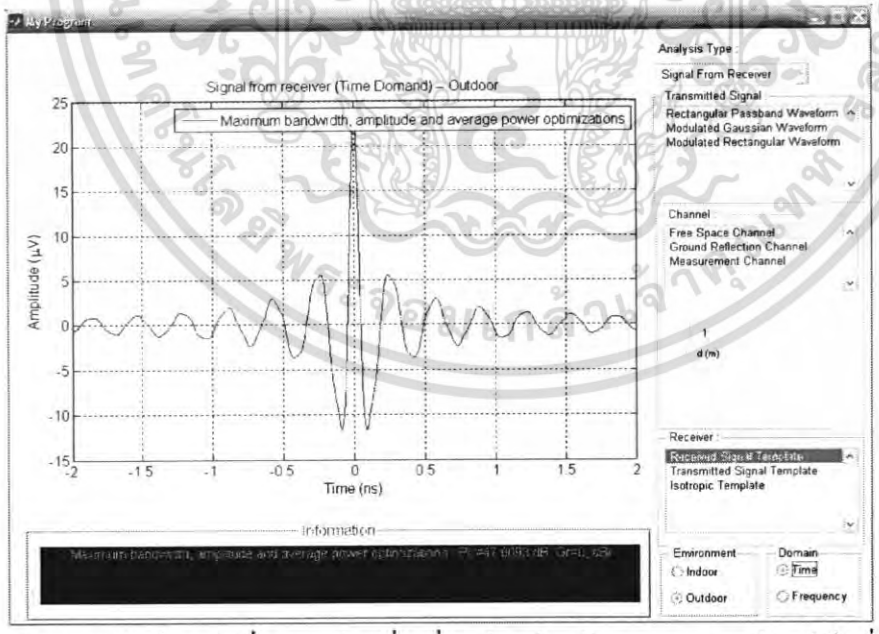
5.2.9 ทดลองทางคุณสมบัติสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับ

จะต้องทำการเลือกสัญญาณส่ง UWB, ช่องสัญญาณ และเครื่องรับสัญญาณ UWB จากนั้นจะทำการเลือกสภาพแวดล้อมและโดเมน ซึ่งได้ทำการทดลองตัวอย่าง โดยใช้สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง จะได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

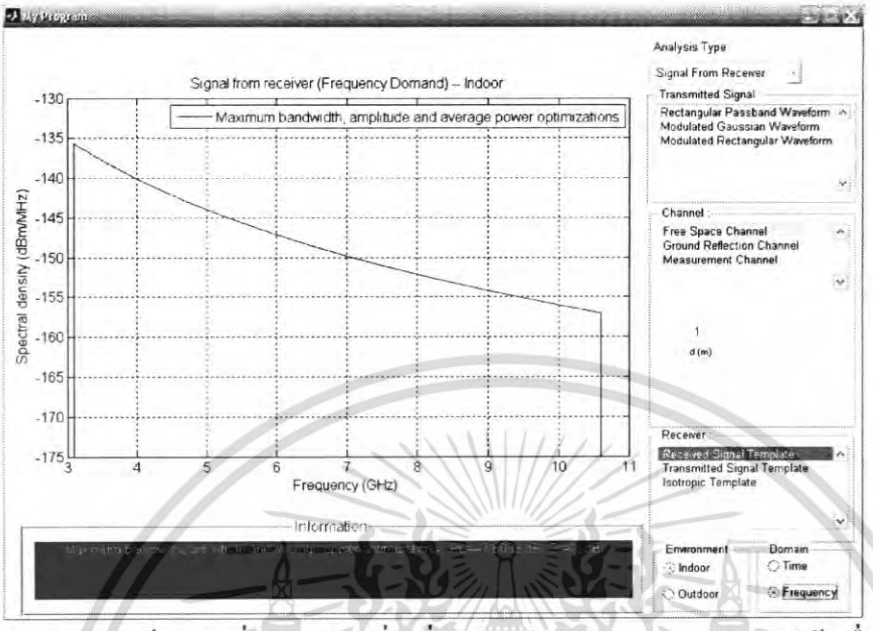


รูปที่ 5.33 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนเวลาตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

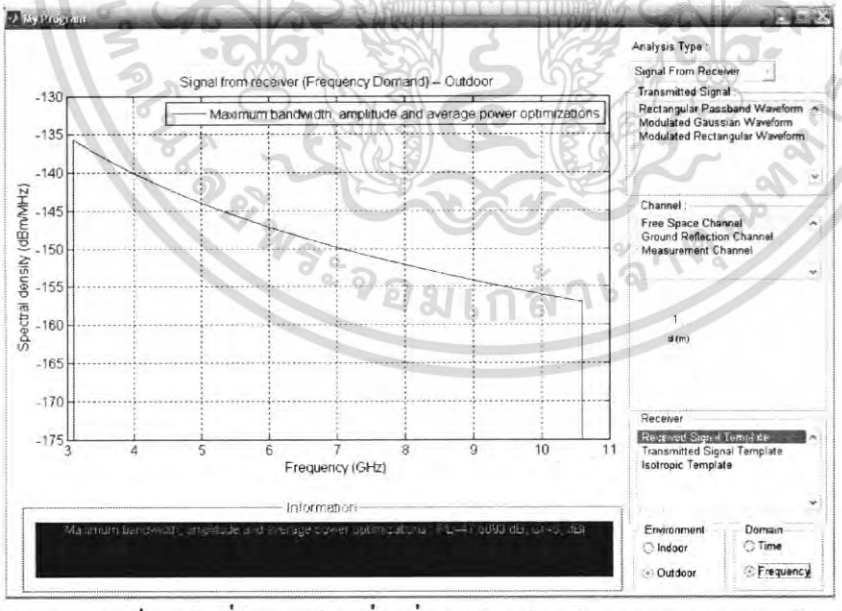


รูปที่ 5.34 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนเวลาตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

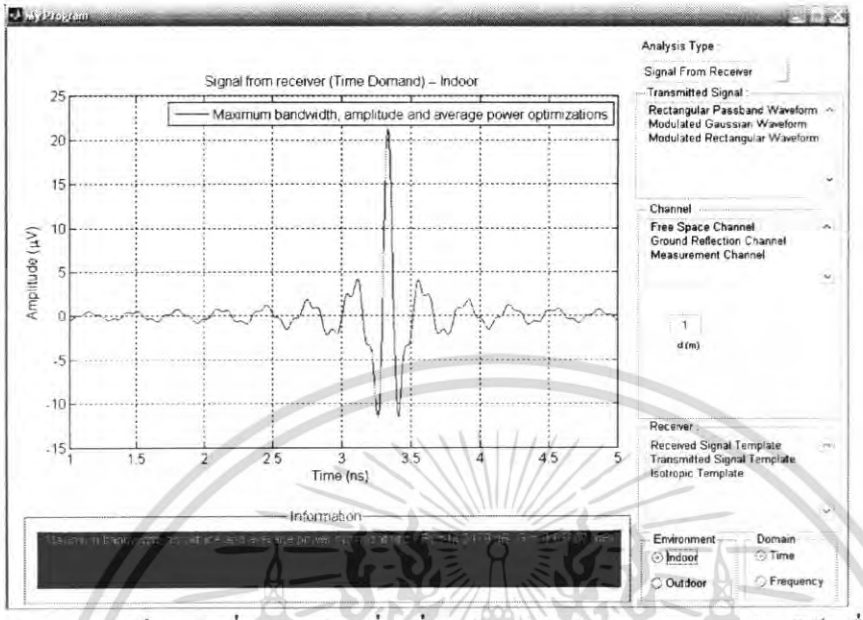


รูปที่ 5.35 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

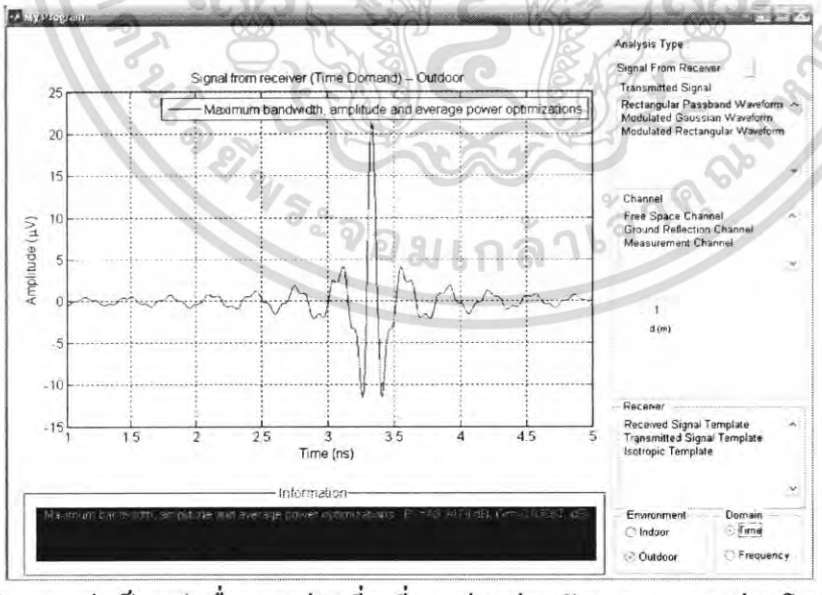


รูปที่ 5.36 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

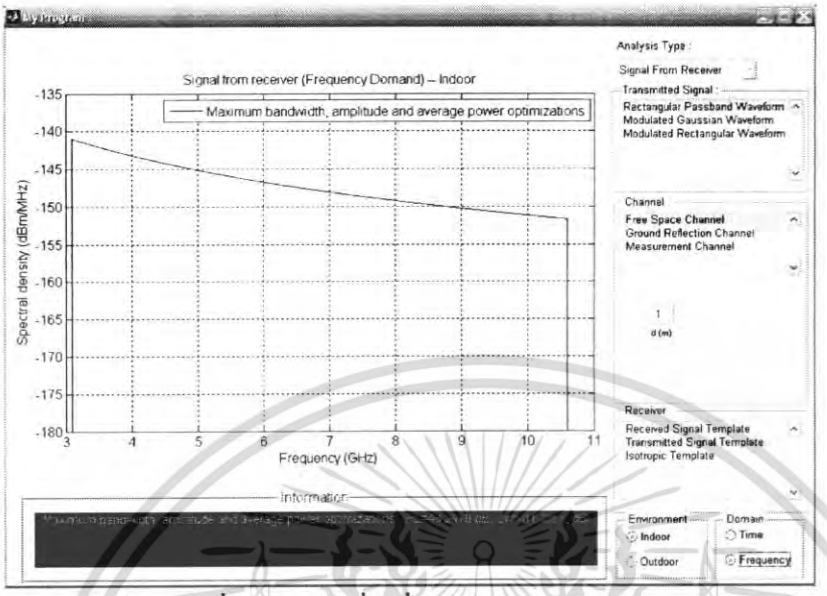


รูปที่ 5.37 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

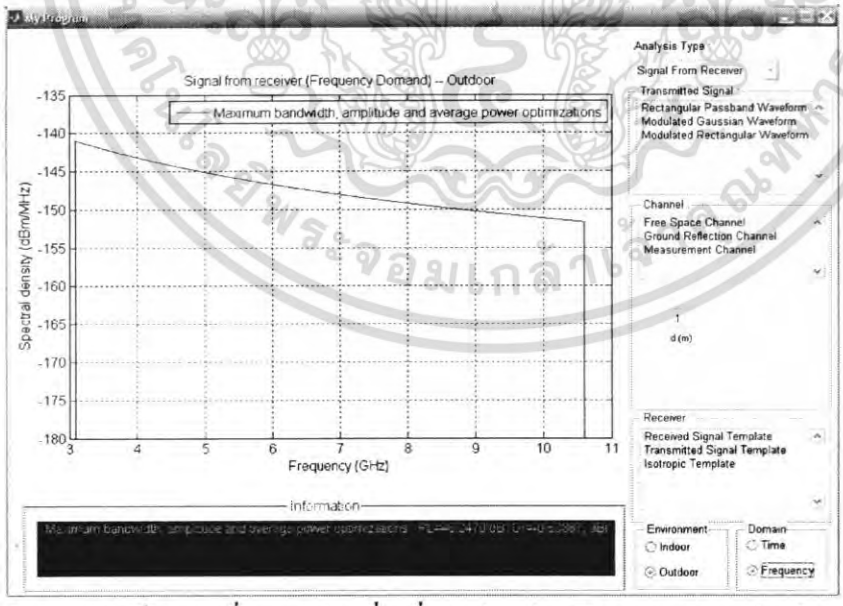


รูปที่ 5.38 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ในโดเมนเวลา ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

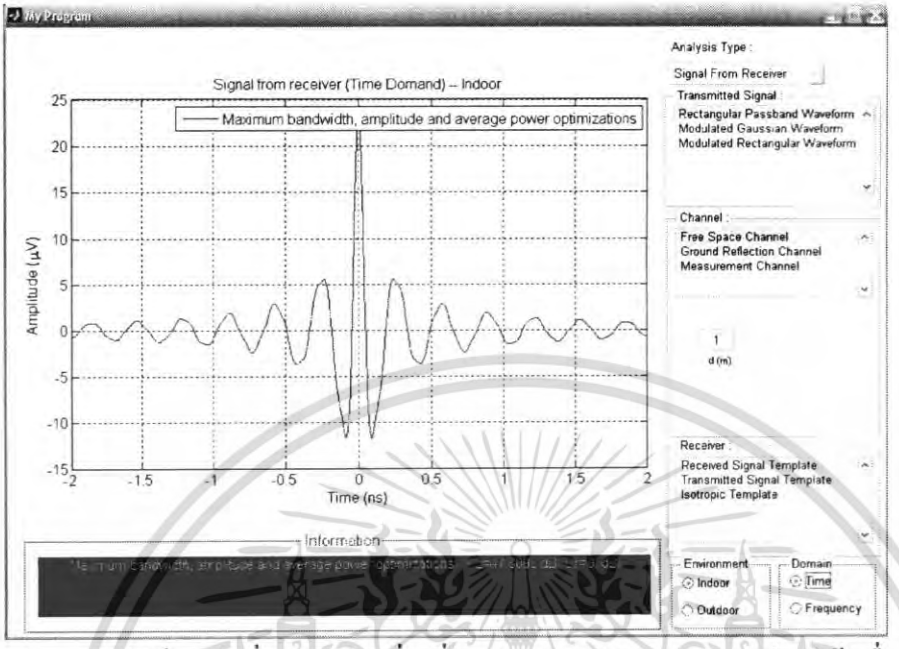


รูปที่ 5.39 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

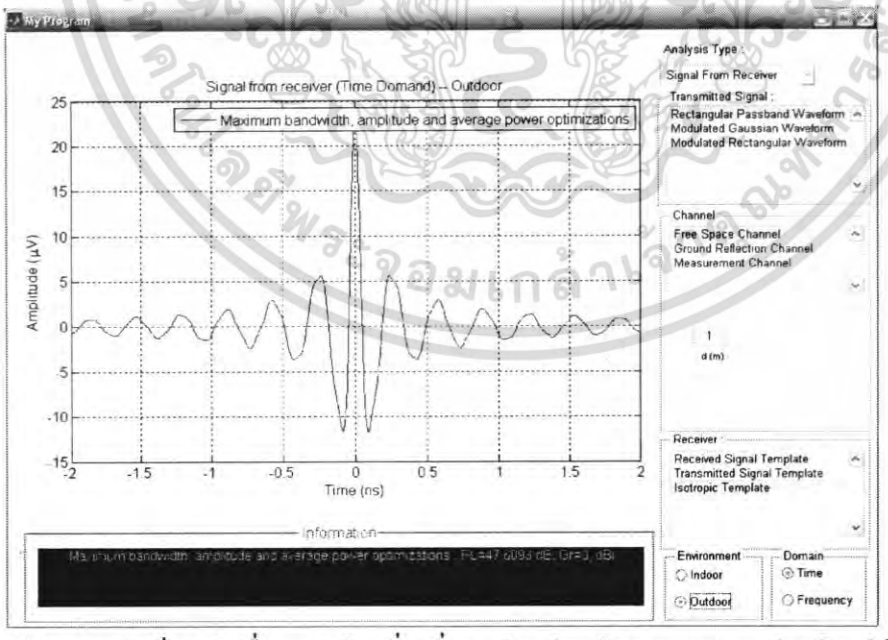


รูปที่ 5.40 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

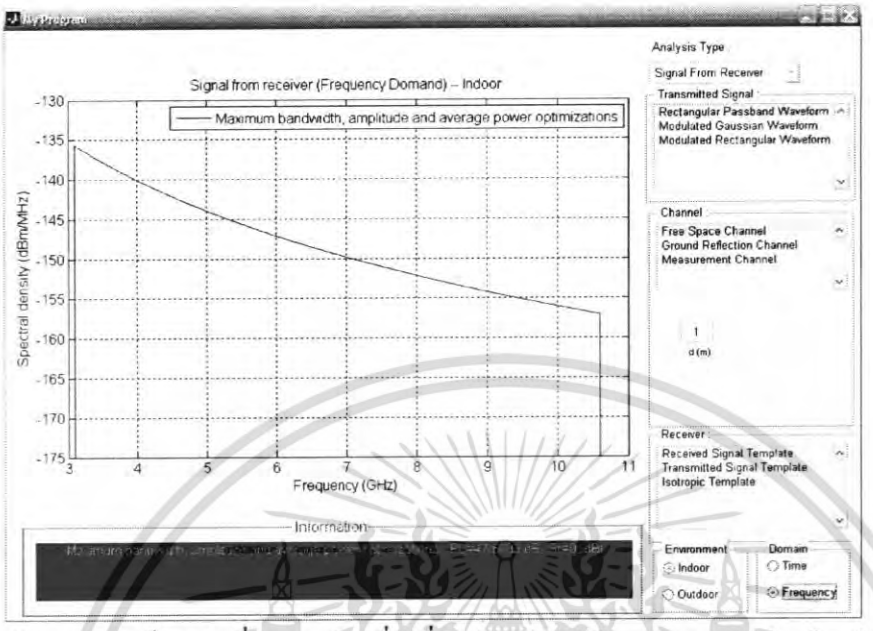


รูปที่ 5.41 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง ใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร

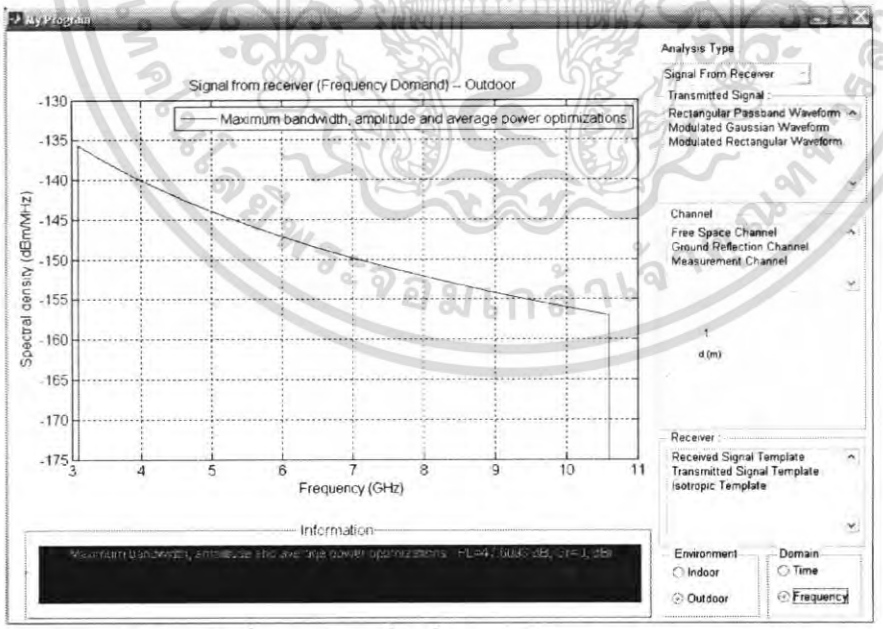


รูปที่ 5.42 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนเวลา ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอก อาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร



รูปที่ 5.44 สัญญาณส่งเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยม ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง โดยใช้เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ ในโดเมนความถี่ตามข้อกำหนดสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองโดยการเปลี่ยนสัญญาณส่ง UWB เป็นรูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลต และรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลต และพิจารณาช่องสัญญาณต่างๆ คือ ช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับได้แก่ เครื่องรับแบบแมตช์ฟิลเตอร์, เครื่องรับแบบสหสัมพันธ์ และเครื่องรับที่ใช้สัญญาณจากสายอากาศไอโซโทรปิค ในกรณีต่างๆจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี, อัตราขยายสัมพัทธ์ และ สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ แสดงในตาราง สำหรับช่องสัญญาณอวกาศว่างให้ $d(m)=1$ และสำหรับช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น ให้ $d(m)=1$, $H_r(m)=1$ และ $H_r(m)=1$ ดังนี้

กำหนดให้ Transmitted S: Transmitted Signal

ตารางที่ 5.9 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Rectangular Passband Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.6093	0
		Transmitted Signal Template	48.2479	0.63867
		Isotropic Template	47.6093	0

ตารางที่ 5.10 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Rectangular Passband Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.8704	0.73889
		Transmitted Signal Template	48.2762	-0.66691
		Isotropic Template	47.6726	-0.063348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Rectangular Passband Waveform	Measurement	Received Signal Template	49.4288	-1.8195
		Transmitted Signal Template	53.021	-5.4117
		Isotropic Template	54.0436	-6.4343

ตารางที่ 5.12 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Free Space	Received Signal Template	48.0349	0
		Transmitted Signal Template	48.461	0.42607
		Isotropic Template	48.0349	0

ตารางที่ 5.13 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Free Space	Received Signal Template	49.0872	0
		Transmitted Signal Template	49.4405	0.35327
		Isotropic Template	49.0872	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่างและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Free Space	Received Signal Template	48.5812	0
		Transmitted Signal Template	48.8559	0.27471
		Isotropic Template	48.5812	0

ตารางที่ 5.15 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	47.2372	0.79769
		Transmitted Signal Template	48.4581	-0.42315
		Isotropic Template	48.0279	0.0070521

ตารางที่ 5.16 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในอาคาร โดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	48.2942	0.79297
		Transmitted Signal Template	49.4904	-0.35322
		Isotropic Template	49.0858	0.0013919

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	47.7883	0.79286
		Transmitted Signal Template	48.8554	0.27421
		Isotropic Template	48.5799	0.001253

ตารางที่ 5.18 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Measurement	Received Signal Template	49.8381	-1.8032
		Transmitted Signal Template	52.5003	-4.4653
		Isotropic Template	53.0686	-5.0337

ตารางที่ 5.19 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Measurement	Received Signal Template	49.623	-0.53582
		Transmitted Signal Template	52.5181	-3.4309
		Isotropic Template	53.0174	-3.9302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 รูปคลื่นเกาส์ที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Gaussian Waveform	Measurement	Received Signal Template	50.5626	-1.9816
		Transmitted Signal Template	52.8067	-4.2255
		Isotropic Template	53.2045	-4.6234

ตารางที่ 5.21 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.3539	0
		Transmitted Signal Template	48.2237	0
		Isotropic Template	47.3539	0

ตารางที่ 5.22 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.4245	0
		Transmitted Signal Template	48.2286	0.8041
		Isotropic Template	47.4245	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.23 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.3539	0
		Transmitted Signal Template	48.2237	0.86974
		Isotropic Template	47.3539	0

ตารางที่ 5.24 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.2377	0
		Transmitted Signal Template	48.0663	0.82864
		Isotropic Template	47.2377	0

ตารางที่ 5.25 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณอวกาศว่าง และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Free Space	Received Signal Template	47.4347	0
		Transmitted Signal Template	47.6904	0.25576
		Isotropic Template	47.4347	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.26 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้นและเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.5533	0.80059
		Transmitted Signal Template	48.219	-0.8651
		Isotropic Template	47.3434	0.010543

ตารางที่ 5.27 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.628	0.79651
		Transmitted Signal Template	48.2261	-0.80157
		Isotropic Template	47.4189	0.0056355

ตารางที่ 5.28 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.5533	0.80059
		Transmitted Signal Template	48.219	-0.8651
		Isotropic Template	47.3434	0.010543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคาร โดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.4388	0.79889
		Transmitted Signal Template	48.0623	-0.82466
		Isotropic Template	47.2292	0.0084934

ตารางที่ 5.30 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณการสะท้อนพื้น และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคาร โดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Ground Reflection	Received Signal Template	46.6411	0.79355
		Transmitted Signal Template	47.6895	-0.25486
		Isotropic Template	47.4326	0.0020827

ตารางที่ 5.31 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่วัดได้ และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคาร โดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Measurement	Received Signal Template	48.8489	-1.495
		Transmitted Signal Template	52.081	-4.7271
		Isotropic Template	52.3541	-5.0002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.32 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์คสำหรับข้อจำกัดภายในและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดและกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Measurement	Received Signal Template	49.0522	-1.6277
		Transmitted Signal Template	52.0587	-4.6342
		Isotropic Template	52.2588	-4.8343

ตารางที่ 5.33 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแบนด์วิดท์สูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Measurement	Received Signal Template	48.8489	-I.495
		Transmitted Signal Template	52.081	-4.7271
		Isotropic Template	52.3541	-5.0002

ตารางที่ 5.34 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีแอมพลิจูดสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Measurement	Received Signal Template	49.2118	-1.9742
		Transmitted Signal Template	52.1537	4.916
		Isotropic Template	52.3637	-5.126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ถูกมอดูเลตที่ผ่านช่องสัญญาณที่ได้จากการวัด และเครื่องรับต่างๆ ในโดเมนเวลาและความถี่ซึ่งเป็นไปตามสเปกตรัมมาร์ค สำหรับข้อจำกัดภายนอกและนอกอาคารโดยมีกำลังเฉลี่ยสูงสุด

Transmitted S	Channel	Receiver	PL (dB)	Gr(dBi)
Modulated Rectangular Waveform	Measurement	Received Signal Template	50.2557	-2.821
		Transmitted Signal Template	52.5003	-5.0656
		Isotropic Template	52.4478	-5.0131

จากตารางที่ 5.9 ถึง ตารางที่ 5.35 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี และอัตราขยายสัมพัทธ์ ตามแต่ละกรณีเมื่อทำการเลือกสัญญาณส่ง, ช่องสัญญาณ และเครื่องรับชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

6.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาทฤษฎีต่างๆของ UWB เช่น นิยามและข้อกำหนดของการสื่อสาร UWB ทฤษฎีของสัญญาณส่ง ช่องสัญญาณ สัญญาณรับและเครื่องรับชนิดต่างๆ รวมถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น การมอดูเลต เป็นต้น ทำให้ได้เข้าใจถึงประสิทธิภาพและประโยชน์ของการสื่อสาร UWB เห็นความแตกต่างข้อดีและข้อเสียของการสื่อสารแบบต่างๆ ทั้งยังทำให้เข้าใจกระบวนการสื่อสารของเทคโนโลยีการสื่อสารซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อมนุษย์ในปัจจุบัน แต่ถึงแม้จะช่วยให้เข้าใจหลักการมากขึ้น แต่ยังไม่อาจทำให้สามารถมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจน

โครงงานนี้จึงได้มีการสร้างแอพลิเคชันทาง MATLAB เพื่อสนับสนุนในการศึกษาการสื่อสาร UWB โดยจะมีลักษณะเป็น GUI ซึ่งแอพลิเคชันนี้สามารถที่จะเลือกแต่ละขั้นตอนของกระบวนการสื่อสารที่ผู้ใช้ให้ความสนใจ ได้แก่ สัญญาณส่ง และช่องสัญญาณ ทั้งยังสามารถเลือกรูปแบบการส่ง และช่องสัญญาณได้ ในส่วนของผลลัพธ์ก็ได้มาจากการคำนวณตามทฤษฎี และจะถูกแสดงผลในรูปของกราฟเพื่อแสดงรูปคลื่นของสัญญาณในลักษณะต่างๆ

ประโยชน์ที่ผู้ใช้ (User) จะได้รับ

1. รูปลักษณ์สวยงาม น่าใช้
2. ใช้งานง่าย และสะดวก
3. แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ที่ควรทราบไว้อย่างชัดเจน
4. คำนวณหาและแสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถี อัตราขยายสัมพัทธ์ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้จากช่องสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สัญญาณที่รับได้จากช่องสัญญาณชนิดต่างๆ กับสัญญาณที่ได้จากช่องสัญญาณอวกาศว่าง
5. สามารถนำค่าของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดจริงมาทดสอบกับสัญญาณและเครื่องรับชนิดต่างๆที่มีอยู่ได้

เนื่องด้วยประโยชน์ดังกล่าว ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันไปในแต่ละรูปคลื่นได้อย่างง่ายดาย ตัวแปรที่บอกค่าไว้ในกรณีที่เป็นสัญญาณส่งได้แก่ ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน ค่าความถี่สูงสุด ความถี่กลาง ความถี่ต่ำสุด ค่าความกว้างของพัลส์ ค่าความถี่ของคลื่นพาห์ และค่าเวลาของรูปคลื่นเกาส์ที่มีแอมพลิจูดลดลงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$1/e$ เท่าของแอมพลิจูดสูงสุด ค่าเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการสร้างรูปคลื่นทั้งสิ้น แต่ในสัญญาณหนึ่งๆ ก็อาจไม่ได้มีค่าทุกค่าบ่งบอกไว้ เพราะแต่ละสัญญาณจะมีการใช้ตัวแปรแตกต่างกันออกไป

อีกทั้งในการทำแอพลิเคชันครั้งนี้ นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้จัดทำโครงงาน ในด้านการทำให้เข้าใจถึงวิธีการใช้ MATLAB โดยเฉพาะในส่วนการสร้าง GUI ดียิ่งขึ้น โดยจะต้องมีการออกแบบเพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน จึงต้องเรียนรู้คำสั่งและหลักการทำงาน MATLAB โดยได้นำมาใช้ในการคำนวณตามทฤษฎีและข้อกำหนดในการสื่อสาร UWB ให้ใช้งานร่วมกันได้เป็นอย่างดี

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ในการทำโครงงานในครั้งนี้ ปัญหาสำคัญที่พบคือ

1. เวอร์ชันของตัว MATLAB ที่เปลี่ยนไปนั้น อาจทำให้บางคำสั่งที่ได้ผ่านการศึกษาแล้วสามารถใช้งานได้ ไม่สามารถใช้ได้กับเวอร์ชันนี้ คือ เมื่อทำการสร้างการแสดงผลแล้วจะเกิดการ error ขึ้นที่หน้าของ Command Windows ซึ่งเราจะสามารถแก้ปัญหาได้โดยการปรับเปลี่ยนและประยุกต์ค่าต่างๆให้เข้ากับโปรแกรม MATLAB ที่เป็นเวอร์ชันของผู้จัดทำเอง เพราะโดยพื้นฐานของตัวคำสั่งเองจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ต่างกันเพียงรายละเอียดเล็กๆน้อยๆเท่านั้น

2. ปรับปรุงเพิ่มตัวเลือกสำหรับชนิดการวิเคราะห์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ชนิดของสัญญาณส่ง ชนิดของช่องสัญญาณ และชนิดของเครื่องรับแบบต่างๆ ซึ่งจะทำให้เราสามารถขยายการศึกษาออกไปได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

3. ปรับปรุงเพิ่มการวิเคราะห์ทางเฟส ในกรณีที่เป็นสัญญาณรับและสัญญาณที่ได้จากเครื่องรับ เพื่อเพิ่มตัวเลือกให้กับผู้ใช้งาน เพราะในโครงงานนี้ ได้คิดเพียงการวิเคราะห์ทางขนาดสำหรับการวิเคราะห์ทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวข้างต้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

[2] โศรฎา แข็งการ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. การใช้ MATLAB สำหรับงานทางวิศวกรรม. ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2

[3] มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. 2543. คู่มือโปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้