

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำลองการวัดภายในอาคารของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง
สำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย

INDOOR MEASUREMENT AND MODELING OF UWB
TRANSMISSION LOSS FOR HOME NETWORKS



T117471



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการวัดภายในอาคารของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง
สำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย

INDOOR MEASUREMENT AND MODELING OF UWB
TRANSMISSION LOSS FOR HOME NETWORKS



โดย
นายณัฐพัฒน์ วินิจนัยกุล 49010267
นางสาวณัฏฐา ธรรมภาวันท์ 49010286
นางสาวธนพร ภัตตรแก้ว 49010339

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สถาพร พรหมวงศ์
ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ
(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

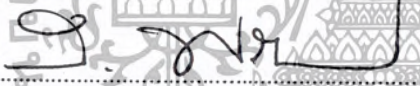
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

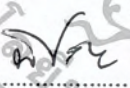
เรื่อง การจำลองการวัดภายในอาคารของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับ
โครงข่ายบ้านพักอาศัย

INDOOR MEASUREMENT AND MODELING OF UWB TRANSMISSION LOSS
FOR HOME NETWORKS

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐพัฒน์ วินิจชัยกุล 49010267
2. นางสาวณัฐา ธรรมากิวันท์ 49010286
3. นางสาวธนพร นีตรแก้ว 49010339


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. สถาพร พรหมวงศ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. พิชญ สุพรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้นเป็นผลสำเร็จได้ เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์และได้รับคำปรึกษาด้วยดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สถาพร พรหมวงศ์และ ผศ. พิชญ์ สุพรรณกุลที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นที่คิดตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ คอยให้ข้อคิดเห็นมาตลอด ขอขอบคุณปริญญานิพนธ์ต่างๆที่เป็นพื้นฐานอ้างอิงในการออกแบบ และการประยุกต์ที่เกี่ยวกับผลงานชิ้นนี้ และที่สำคัญขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ท้ายสุดขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงแนวทางการคิด และแนวทางการปฏิบัติให้แก่ผู้จัดทำ จนทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จผลตามเป้าหมาย

นายณัฐพัฒน์

นางสาวณัฐา

นางสาวธนพร

วินิจฉัยกุล

ธรรมาภินันท์

ฉัตรแก้ว

ผู้จัดทำ

การจำลองการวัดภายในอาคารของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง
สำหรับโครงข่ายบ้านพักอาศัย

INDOOR MEASUREMENT AND MODELING OF UWB TRANSMISSION LOSS
FOR HOME NETWORKS

นายณัฐพัฒน์	วินิจชัยกุล	49010267
นางสาวณัฐา	ธรรมากิวันท์	49010286
นางสาวชนพร	ฉัตรแก้ว	49010399

อาจารย์ที่ปรึกษา คร. สถาพร พรหมวงศ์
ผศ. พิเชฐ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งจึงสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นและมีความเหมาะสมในหลายๆด้าน ดังเช่น มีแบนด์วิดท์กว้างทำให้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็วสูง สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ในจำนวนมาก และใช้กำลังงานในการส่งต่ำ ซึ่งระบบแบบแถบกว้างยิ่งจะถูกกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โครงการนี้จึงได้ศึกษาและออกแบบจำลองการวัดภายในอาคารของการสูญเสียในการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัยเพื่อนำมาใช้กับระบบการสื่อสารระยะสั้นภายในบ้านพัก ดังนั้นสถานะแวดล้อมภายในบ้านพักอาศัยและภายในอาคารสำนักงาน จึงต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพของสัญญาณ การส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง โดยในการทดลองวัดได้ใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์และได้ใช้สายอากาศแบบแถบกว้างที่ได้สร้างขึ้นจริง และนำผลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและคำนวณหาการสูญเสียในการส่งผ่านของสายอากาศแบบแถบกว้าง โดยใช้ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ของฟรีสในการประเมินผล

ABSTRACT

The UWB (Ultra wideband) technology could be response versus require of user, due to The UWB has the feature properties and adapted in the aspects such high bandwidth so that it has a very high speed data transmission, could be supported for many users and low power consumption potential which the FCC Specified for the ultra wideband signal. This project is studied for and designed indoor measurement and modeling of USB transmission Loss for home networks to use UWB home network system for environment in home network and indoor environment and the performance of signal which is transmission to the ultra wideband. The experiment was measured by using VNA (Vector Network Analyzer) and use wideband antennas which created real and using Friis transmission formula.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII

บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง	4
	2.2 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง	5
	2.3 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง	7
	2.4 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง	11
	2.5 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง	14
	2.6 การสูญเสียเชิงวิถี	16
	2.7 แบบจำลองรีเรสชันเชิงเส้น	18
	2.8 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของฟรีส	20
	2.9 ค่าการสูญเสียกำลังงาน	21
	2.10 การกระจายทางเวลา	22
	2.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	24
	2.12 อัตราความผิดพลาดบิต	25
	2.13 อัตราขยายของแถบกว้างยิ่ง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 ภาพหน้าตัดข้างประวิงกำลังงาน	26
2.15 การนำเอาระบบแถบกว้างยิ่งไปใช้งาน	27
2.16 ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ	31
2.17 สายอากาศแบบหูกระต่าย (Bow tie Antenna)	42
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	43
3.1 การออกแบบ	44
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	53
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	57
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	58
4.1 ผลการทดลองการวัดแบบจำลองแบบที่ 1	58
4.2 ผลการทดลองการวัดแบบจำลองแบบที่ 2	63
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผล	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆและแถบกว้างยิ่ง	6
2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี และ อีทีเอสไอ ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร	10
2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี และ อีทีเอสไอ ของระบบแถบกว้างยิ่งภายนอกอาคาร	11
2.4 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันกรส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	12
2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น	12
2.6 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบใน โดเมนความถี่	13
2.7 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบใน โดเมนเวลา	14
2.8 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร	15
2.9 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง	18
2.10 ตัวอย่างการทำแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น	19
2.11 ตัวอย่างภาพหน้าตัดชี้การประวิงกำลังงาน	27
2.12 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานการติดต่อสื่อสาร	28
2.13 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง	30
3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ	44
3.2 แบบจำลองการออกแบบสายอากาศจากโปรแกรม CST	45
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่า S11(dB) ที่ได้จากการคำนวณผลในโปรแกรม CST	46
3.4 ค่า VSWR จากการจำลองผ่านโปรแกรม CST	46
3.5 รูปแบบและขนาดของสายอากาศแบบหูกกระด้าย	47
3.6 สายอากาศแบบหูกกระด้ายที่สร้างขึ้น	47
3.7 ระหว่างความถี่ (F) กับค่า S11 (DB) ที่ได้จากสายอากาศที่สร้างขึ้น	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการหาค่าสัญญาณ	49
3.9 แบบจำลองของการวัดแบบที่1 โดยปราศจากสิ่งบดบัง	50
3.10 แบบจำลองของการวัดแบบที่1 โดยมีแลปท็อปกอมพิวเตอร์เป็นสิ่งบดบัง	51
3.11 แบบจำลองของการวัดแบบที่2 โดยปราศจากสิ่งบดบัง	52
3.12 แบบจำลองของการวัดแบบที่1 โดยมีแลปท็อปกอมพิวเตอร์เป็นสิ่งบดบัง	52
3.13 พื้นที่สำหรับการวัดช่องสัญญาณ	53
3.14 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์	54
3.15 ขนาดและรูปทรงของสายอากาศแบบหูกกระด้าง	55
3.16 สายอากาศแบบปากแตร	56
3.17 แลปท็อปกอมพิวเตอร์	57
4.1 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่ไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	59
4.2 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	59
4.3 อัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแถวกรณีไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	60
4.4 อัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแถวกรณีมีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	61
4.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานกรณีไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์แบบสามมิติ	62
4.6 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานกรณีไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์แบบสามมิติ	62
4.7 การสูญเสียเชิงวิถีในกรณีไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	63
4.8 การสูญเสียเชิงวิถีในกรณีที่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	64
4.9 ค่าการประวิงเวลาในกรณีที่ไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	65
4.10 ค่าการประวิงเวลาในกรณีที่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	66
4.11 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีไม่มีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	67
4.12 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีมีแลปท็อปกอมพิวเตอร์	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยเอฟซีซี สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้ง ภายในและภายนอกอาคาร	9
2.2	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย อีทีเอสไอ สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้ง ภายในและภายนอกอาคาร	10
3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่ง (Ultrawideband) ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสะดวกในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์สื่อสารหรือระหว่างเครือข่ายด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (WPAN) เครือข่ายพื้นที่เฉพาะแห่งไร้สาย (WLAN) เครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน และเครือข่ายในที่สาธารณะ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ จำนวนข้อมูลที่สามารถส่งได้ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล จำนวนของผู้ใช้ในระบบ ระยะทางที่สามารถส่งได้ และความสามารถในการทำงานร่วมกัน ในปัจจุบันนี้ระบบการสื่อสารไร้สายแบบหลายสื่อได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระบบการสื่อสารแบบนี้มีความต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงและมีความต้องการการส่งข้อมูลในปริมาณที่มาก เทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งจึงได้กลายมาเป็นหัวข้อสำคัญในการวิจัย เนื่องจากระบบวิทยุแถบกว้างยิ่งมีราคาถูก และมีคุณสมบัติการใช้พลังงานที่ต่ำ โดยการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้นมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารความถี่วิทยุ (Radio Frequency) อื่นๆ อยู่ 2 ประการหลักๆ ประการแรกนั้นคือได้กำหนดให้การสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งมีช่วงสเปกตรัมความถี่จาก 3.1 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ และมีแบนด์วิดท์เชิงเศษส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 หรือแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับ 500 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ซึ่งมากกว่าแบนด์วิดท์ของเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุในปัจจุบันอย่างมาก และประการที่สองคือการส่งสัญญาณของการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งจะส่งเป็นพัลส์ของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง (PSD) ที่ช่วงเวลาแถบมากๆ โดยมีความถี่อยู่ในช่วงสเปกตรัมของความถี่ที่กว้างมาก แทนการใช้วิธีมอดูเลตสัญญาณส่งกับคลื่นพาห์เหมือนกับเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุ เนื่องจากมีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง ที่น้อยกว่าระดับของสัญญาณรบกวน ดังนั้นสัญญาณวิทยุแถบกว้างยิ่งจึงสามารถใช้ความถี่ร่วมกับระบบวิทยุอื่นๆ ได้ เนื่องจากไม่เกิดการแทรกสอดต่อระบบวิทยุอื่นๆ

ระบบการสื่อสารต่างๆ รวมทั้งการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่ง ประสิทธิภาพของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าหรือการบริการใดๆ ได้ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าหรือการบริการใดๆ จะถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของเครื่องรับที่ใช้ในระบบการสื่อสาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาประสิทธิภาพอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) และอัตราความผิดพลาดบิต (Bit Error Rate) ของการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีวิทยุอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับระบบการสื่อสารระยะใกล้
- 2) ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งบนพื้นฐานการส่งผ่านของฟรีส
- 3) ออกแบบจำลองและทำการวัดหรือทดสอบประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมแบบภายในบ้านพักอาศัย
- 4) ศึกษาและสร้างสายอากาศแบบหูกะด้ายสำหรับการใช้วัดทดสอบการเชื่อมโยงแถบกว้างยิ่ง
- 5) ทำการประเมินผลการทดลองวัดตามแบบแผนที่ได้กำหนดไว้
- 6) แสดงผลการสูญเสียในการส่งผ่านแบบหลายวิถีและประสิทธิภาพของการส่งผ่านระยะแถบกว้างยิ่ง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีวิทยุแบบอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลแบบไร้สายบนมาตรฐาน IEEE 802.15.3a
- 2) ศึกษาทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการส่งผ่านวิทยุแบบอิมพัลส์แบบแถบกว้างยิ่ง
- 3) ศึกษาการนำเทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งไปใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้น
- 4) ออกแบบจำลอง ทำการวัดและทดสอบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับอุปกรณ์บ้านพักอาศัย
- 5) ทำการประเมินผลที่ได้จากการวัดและทดสอบการส่งผ่านแบบแถบกว้างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Short Range Wireless Communications) ได้มีบทบาทมากมาย และมีความจำเป็นต้องมีความเร็วสูงอีกทั้งมีความจุมากด้วย ดังนั้นต้องพิจารณาถึงการสื่อสารที่มีแถบกว้าง (Wideband) ด้วย มาตรฐาน IEEE 802.15 ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นที่ส่วนบุคคล แบบไร้สาย (Wireless Personal Area Network : WPAN) ด้วยคุณสมบัติที่เด่นของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบแถบกว้างระยะสั้นไร้สายภายในอาคาร สำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย ซึ่งมีความเหมาะสมหลายด้าน เช่น กำลังงานส่งต่ำ ส่งข้อมูลได้สูง และราคาถูก เพื่อให้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องศึกษาคุณลักษณะการแพร่ การกระจายคลื่นและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งผ่านสัญญาณของระบบการสื่อสารระยะสั้นแบบแถบกว้าง

โครงการจะได้ศึกษาและประเมินผลประสิทธิภาพของการส่งผ่านแบบแถบกว้างสำหรับการสื่อสารไร้สายระยะสั้น บนพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการทดสอบจริง และได้ใช้ทฤษฎีและหลักการส่งผ่านของฟรีส (Friis's) ในโครงการนี้จะนำผลที่ได้จากการทดสอบไปประเมินผลเพื่อหาประสิทธิภาพ และพารามิเตอร์ที่สำคัญตามทฤษฎีการวิเคราะห์ โดยการวัดและบันทึกจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และใช้สายอากาศแบบแถบกว้างทั้งด้านรับและด้านส่ง ในสถานะแวดล้อมภายในอาคารจริง และทำการทดสอบอุปกรณ์ใช้งานจริงที่ส่งผ่านด้านคอมพิวเตอร์ด้วยจาก โครงการที่ได้ศึกษานี้จะมีประโยชน์มากสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ประวัติและความเป็นมาของระบบแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่งนั้น ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาในปี ค.ศ. 1962 โดยใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโดเมนทางเวลา และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณในเครือข่ายไมโครเวฟในปี ค.ศ. 1963-1966 ซึ่งมีการแนวทางในการพัฒนาว่าต้องมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยใช้คุณลักษณะของการตอบสนองความถี่ เช่น ขนาดของสัญญาณ และเฟส ซึ่งระบบจะทำงานวิเคราะห์ความแตกต่างของผลตอบสนองของสัญญาณจากฟังก์ชันในการส่งผ่านสัญญาณ $h(t)$ ในส่วนของสัญญาณเอาต์พุตจะถูกแทนด้วย $y(t)$ และกำหนดให้สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าเป็น $x(t)$ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณได้

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นเราได้ใช้เครื่อง ออสซิลอสโคปในการสุ่มค่าของสัญญาณ เพื่อมาทำการวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายในระบบไมโครเวฟ และรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน โดยการวิเคราะห์และการวัด

เทคนิคในการวัดค่าสัญญาณนั้นแรกเริ่มได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแถบความถี่กว้างในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาสัญญาณที่มีขนาดแถบได้อย่างรวดเร็ว และได้ถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อสื่อสารแบบ เรดาร์ ในปี ค.ศ. 1972 และในปีถัดมาเครื่องออสซิลอสโคปที่ใช้การวิเคราะห์ ความถี่ที่สูงขึ้นก็ได้ถูกสร้างขึ้น จึงทำให้มีการกำหนดแถบความถี่กว้างยิ่งในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาในปี ค.ศ. 1980 นั้นก็ได้มีการกำหนดให้ เทคโนโลยี แถบความถี่กว้างยิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คลื่นพาหะ (Radio Frequency, RF) ในการส่งสัญญาณเหมือนอย่างแถบความถี่กว้างอีกต่อไป และเป็นจุดที่แตกต่างจากการส่งคลื่นวิทยุแบบอื่นที่มีมาก่อนหน้านั้น และต่อมาได้ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาต่อในปี ค.ศ. 1989

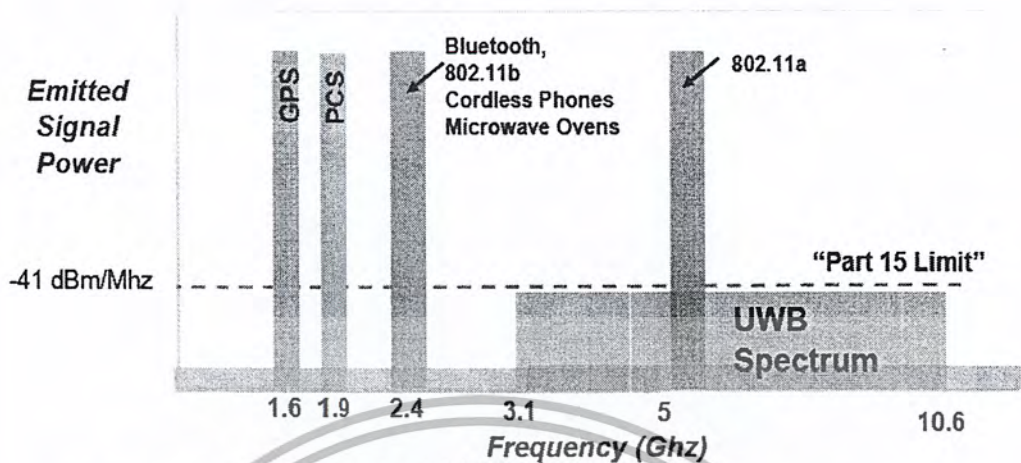
ในช่วงเวลาเกือบ 30 ปี ทฤษฎีของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาทั้งด้านเทคนิคและอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น ในปี ค.ศ. 1989 สเปอร์รีได้จดสิทธิบัตรมากกว่า 50 ชิ้น เกี่ยวกับการสร้างสัญญาณแถบความถี่กว้างยิ่งและวิธีในการรับส่งสัญญาณ และการนำแถบความถี่กว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ เช่น ในการติดต่อสื่อสารในระบบเรดาร์การป้องกันการชน

กันของคลื่นมือถือ, ระบบบอกพิกัด และตรวจวัดระดับของเหลว โดยใช้คุณลักษณะของแถบความถี่กว้างยิ่ง

โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 เทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในระบบการติดต่อสื่อสารอย่างรวดเร็วโดยรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

2.2 การสื่อสารแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบกว้างยิ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่แตกต่างจากการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุแบบอื่น ๆ โดยจุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่งก็คือ เป็นระบบสื่อสารที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาหะเหมือนในระบบอื่น สัญญาณของระบบแบบกว้างยิ่งจะเป็นสัญญาณพัลส์ โดยจะเป็นพัลส์แคบๆ ขนาดประมาณ 0.2 นาโนวินาที จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่ (Spectral density) ที่กว้างมาก ดังนั้นจึงแผ่กระจายครอบคลุมช่วงความถี่ได้กว้างในระดับกิกะเฮิรตซ์ และเนื่องด้วยระบบนี้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างมากจึงทำให้สามารถที่จะรองรับอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 110 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ในระยะทางประมาณ 10 เมตร ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าสัญญาณพัลส์ที่ใช้มีขนาดที่แคบมากจึงทำให้ช่วงใช้งาน (Duty cycle) มีค่าจึงเป็นสาเหตุทำให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำลงไปด้วยในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงระดับความหนาแน่นแถบกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่งโดยเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ โดยรูปที่ 2.2 แสดงถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์ในโดเมนเวลาและแถบกำลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบระดับความหนาแน่นของแถบกำลังงานระหว่างแถบแคบอื่นๆ และแถบกว้างยิ่ง

2.2.1 จุดเด่นของระบบแบบแถบกว้างยิ่ง

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารในหลายๆ ประการ เช่น

- เป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ

ระบบแถบความถี่กว้างยิ่งเป็นระบบที่มีต้นทุนที่ต่ำเนื่องจากการส่งสัญญาณนั้นไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยเครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่สูงทำให้ความกว้างของสัญญาณแคบมากๆ ทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นโดยไม่จำเป็นต้องมีคลื่นพาห์และไม่ต้องมีวงจรในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุ และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้นและในส่วนของภาครับไม่วงจรรวมผลิตความถี่ (Mixer) ทำให้ลดความซับซ้อนของระบบและต้นทุนในการผลิตลงไปมาก

- กำลังงานในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 มิลลิเดซิเบล (dBm) ซึ่งเป็นข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกำลังงานที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Part 15 limit) ทำให้สัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือ สัญญาณรบกวนและถูกกำจัดออกจากการพิจารณาของระบบทำให้ไม่มีผลกระทบกับระบบอื่นๆ

- มีอัตราการส่งข้อมูลสูง

ในระบบแถบความถี่กว้างยิ่งนั้นมีการส่งข้อมูลด้วยความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเห็นได้ว่าเป็นแถบความถี่ที่กว้างมากและมีความถี่สูงจึงทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงประมาณ 110 เมกะบิตต่อวินาที ในระยะทาง 10 เมตร และมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นในระยะทางที่สั้นลงโดยอัตราการส่งสูงถึง 480 เมกะบิตต่อวินาที ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร

2.3 ข้อกำหนดของแบบแถบกว้างยิ่ง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้น ในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นก็คือการจัดสรรความถี่ในการใช้งาน ซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการลดลดอนการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มทำงานนี้ได้ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่าอัลตราไวด์แบนด์เวิร์คกิ้งกรุป (Ultra-Wideband Working Group หรือ UWBWG) เพื่อทำการเจรจาหาข้อตกลงร่วมกับเอฟซีซี (FCC) เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการแทรกสอดของคลื่นวิทยุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางโทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือ สหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ปี ค.ศ. 1998 เอฟซีซี ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบ (Notice of Inquiry หรือ NOI) เนื่องจากมีความเป็นห่วงว่าจะมีผลต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบที่มีอยู่เดิมและระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกัน

ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 เอฟซีซี ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภท และการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.25 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย เอฟซีซี ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกเสนอสำหรับการนำมาใช้ในกิจการการสื่อสารของพลเรือน ซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่าดีเฟนส์แอดวานซ์เรซิร์ชโพรเจกเอเจนซี (Defense Advanced Research Project Agency หรือ DARPA) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ B_f ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f_L คือ ความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงสุดของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่ง

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดยเอฟซีซี สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่เมกะเฮิรตซ์	ภายในอาคาร	ภายนอกอาคาร
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 - 3100	-51.3	-61.3
3100 - 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

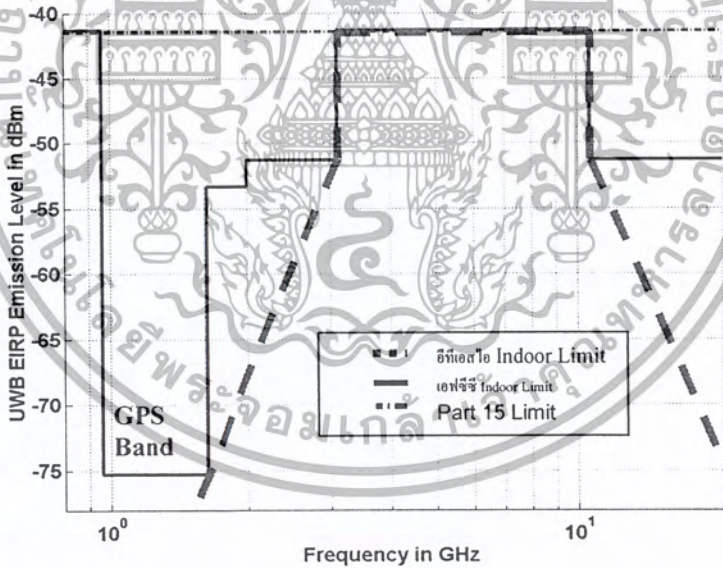
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบแถบกว้างยิ่งในยุโรป

ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลเสียหายต่อระบบเดิมที่มีอยู่ โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดยไอทียู(ITU) หรือ อีทีเอสไอ(ETSI) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

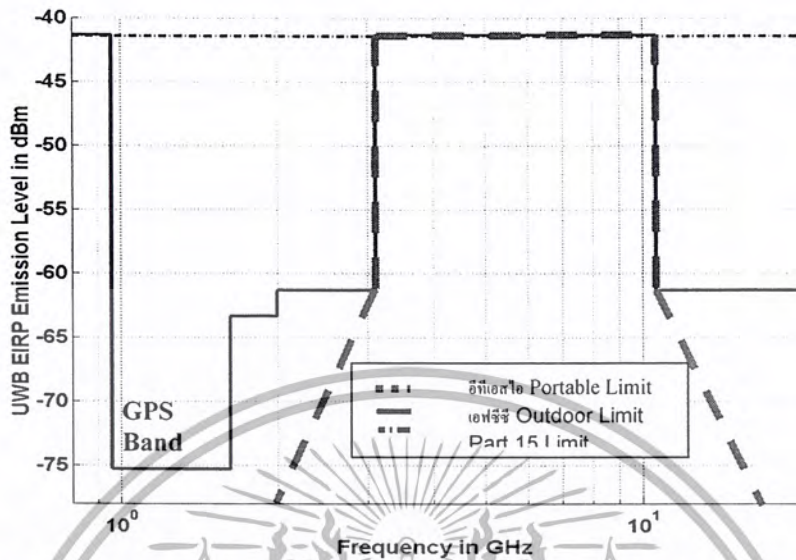
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย อีทีเอสไอ สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

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

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง เอฟซีซี และ อีทีเอสไอ ภายในและภายนอกอาคาร ตามลำดับ



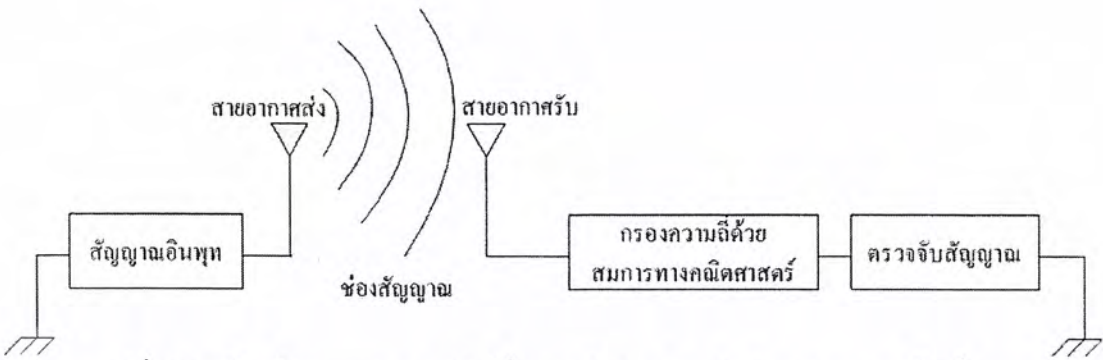
รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี และ อีทีเอสไอ ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี และ อีทีเอสไอ ของระบบแถบกว้างยิ่ง
ภายนอกอาคาร

2.4 ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณระบบแถบกว้างยิ่ง

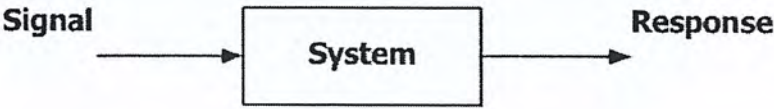
ในการส่งผ่านสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่งนั้นจะมีลักษณะแตกต่างการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุโดยทั่วไป เนื่องจากการส่งสัญญาณในโดเมนทางเวลาและสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่านนั้นไม่มีการมอดูเลชันกับสัญญาณพาหะก่อนทำการส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศทางด้านส่ง เนื่องจากตามข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้ใช้ความถี่ในย่าน 3.1 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีแถบความถี่กว้างมาก ในกระบวนการการส่งสัญญาณนั้น เริ่มจากการสร้างสัญญาณที่ในการส่งผ่านเป็นสัญญาณอินพุต เวฟฟอร์มส่งผ่านไปยังสายอากาศด้านส่งผ่านช่องสัญญาณ ไปยังสายอากาศทางด้านรับเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงสายอากาศทางด้านรับแล้วจากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์โดยผ่านเมตริกเตอร์เพื่อให้ค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) มีค่าสูงมากที่สุดจากนั้นจึงมาถึงขั้นตอนของการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ว่าที่ค่าเป็นบิต 0 หรือ บิต 1 และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของฟังก์ชันการส่งผ่านสำหรับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

2.4.1 ผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

เมื่อพิจารณาการวัดของสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย นั้นสิ่งที่จะต้องทำความเข้าใจเป็นอันดับแรกคือ ระบบและสัญญาณ โดยระบบคือกลุ่มของวัตถุที่รวมกันซึ่งสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการและสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต (Input signal) ของระบบ และจะมีปริมาณทางกายภาพบางอย่างออกมาจากระบบซึ่งเรียกว่า สัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal) หรือผลตอบสนอง (Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดังรูปที่ 2.5 ที่ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวนี้จะเป็นสิ่งที่ใช้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบและจากการวัดผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสัญญาณ ซึ่งแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ (Frequency transfer function : $H(f)$) ของช่องสัญญาณ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณาอยู่ ซึ่งประกอบด้วยระดับสัญญาณที่ส่งผ่าน (Magnitude) และผลตอบสนองทางเฟส (Phase) ของสัญญาณ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณนั้นกำหนดตามสมการที่ 2.2 และแสดงดังรูปที่ 2.5



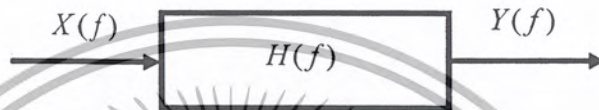
รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบเชิงเส้น

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} \tag{2.2}$$

โดยที่

$Y(f)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

$X(f)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

2.4.1.1 ผลตอบสนองอิมพัลส์ของสัญญาณ

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

ฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่เหมือนกับฟังก์ชันทั่วไปโดยฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยมักนิยามแทนด้วยสัญลักษณ์ $\delta(t)$ และมีคุณสมบัติดังนี้คือ

$$\int_a^b f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0), & a < t_0 < b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.3}$$

โดยในที่นี้ $f(t)$ จะต้องเป็นฟังก์ชันที่มีค่าต่อเนื่อง (Continuous) ที่ค่าเวลา $t = t_0$ จาก (2.3) เมื่อกำหนดให้ $f(t) = 1$ จะได้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)dt = 1 \tag{2.4}$$

จากผลของการทำปริพันธ์ฟังก์ชันใดๆ นั้น มีผลเท่ากับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่แสดงค่าฟังก์ชันนั้นมาช่วยอธิบายในสมการ 2.4 จะกล่าวได้ว่าพื้นที่ใต้เส้นโค้งของ $\delta(t-t_0)$ มีค่า 1 หน่วย โดยค่าที่ได้จากการทำปริพันธ์นี้นิยมเรียกว่า น้ำหนัก (Weight) ของฟังก์ชันอิมพัลส์นั้น ดังนั้นจะพบว่าน้ำหนักของฟังก์ชัน $A\delta(t)$ มีค่าเท่ากับ A หน่วย ฟังก์ชันอิมพัลส์ที่มีน้ำหนัก 1 หน่วยนั้นเรียกว่า ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit impulse function) แม้ว่าฟังก์ชันอิมพัลส์จะไม่สามารถสร้างได้จริงในทางปฏิบัติแต่ในทางทฤษฎีจะมีบทบาทในการวิเคราะห์สัญญาณและระบบ โดยเฉพาะการบอกคุณสมบัติของระบบอีกทั้งสัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นยังถูกนิยามเรียกว่า ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบใช้สัญลักษณ์ $h(t)$ แทน ผลตอบสนองดังกล่าวซึ่งผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบเพราะสามารถบอกคุณสมบัติของระบบนั้นได้และ โดยเฉพาะเมื่อระบบภายใต้การพิจารณาเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเอาต์พุต $y(t)$ ของระบบที่เกิดจากสัญญาณอินพุต $x(t)$ ใดๆ นั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้รูปที่ 2.7

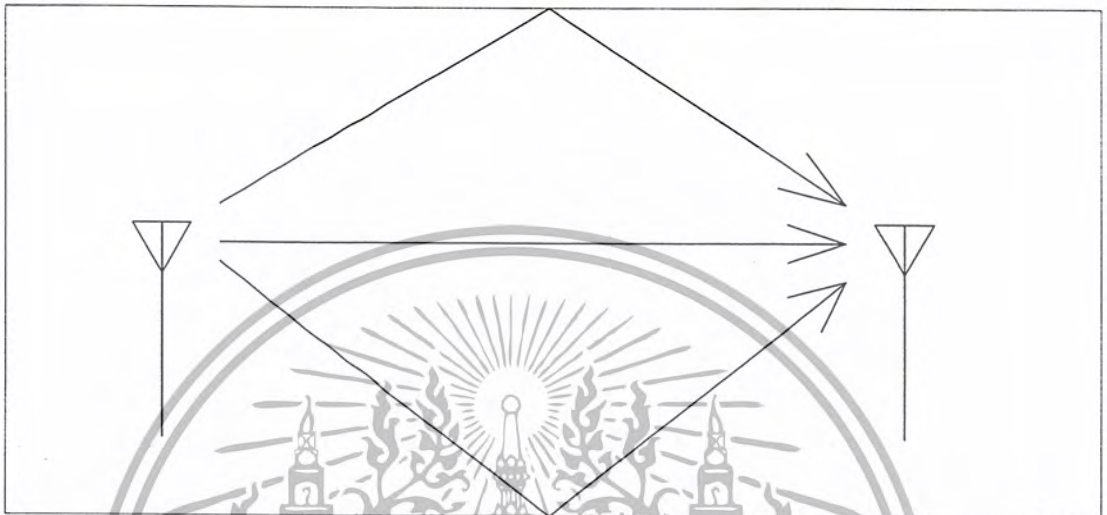


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนเวลา

2.5 แบบจำลองช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

ในเทคนิคการจำลองแบบช่องสัญญาณนั้นจะทำการตรวจสอบแบบจำลองโดยไม่ได้มีลักษณะตรงกันกับระบบแถบกว้างยิ่ง แต่ได้พิจารณาถึงแบบจำลองทั่วไปซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการจำลองแบบช่องสัญญาณอีกด้วยด้วยความสะดวกและง่ายในแบบจำลองสำหรับการแสดงลักษณะเฉพาะของช่องสัญญาณแถบกว้างยิ่งอาทิเช่น แบบจำลองความไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete time) แบบจำลองหลายวิถี (Multipath) หรือ แบบจำลองผลตอบสนองอิมพัลส์ เหตุเพราะว่า ตำแหน่งของเพดาน, กำแพง, ประตู, เฟอร์นิเจอร์และคนที่อยู่

ภายในอาคารจะส่งผลถึงการส่งผ่านสัญญาณที่เกิดขึ้นหลายเส้นทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิถีภายในอาคาร

เพราะฉะนั้นสัญญาณแต่ละสัญญาณที่เข้ามาถึงยังเครื่องรับนั้นจะมีขนาดเฟส และเวลาประวิง (time delay) ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองนี้ในแกนของเวลาประวิงจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาที่เรียกว่า “bins” ซึ่งในแต่ละ bin นั้นได้ถูกสมมติให้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบในแต่ละส่วนของสัญญาณแบบหลายวิถี โดยความเป็นไปได้ของเส้นทางของสัญญาณที่มากกว่าหนึ่งเส้นทางภายใน bin นั้นจะถูกแยกออกไปซึ่งความกว้างที่เหมาะสมของ bin นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของลักษณะจำเพาะในการวัดนั้นๆ โดยปรากฏการณ์ของการเกิด การแพร่กระจายคลื่นแบบหลายวิธีนั้นสามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่ง เป็นไปตามผลตอบสนองอิมพัลส์แบบไม่ต่อเนื่องของช่องสัญญาณดังสมการที่ 2.5

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_l \delta(t - lT_m) \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

α_l คือ เฟคเตอร์การลดทอนทางแอมพลิจูดในเส้นทางที่ l และเป็นฟังก์ชันของเวลาและระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

T_m คือ ความละเอียดทางเวลาที่น้อยที่สุดของพัลส์

L คือ จำนวนขององค์ประกอบหลายวิถี

$\delta(t)$ คือ ฟังก์ชันไดเรคเดลตา (Dirac delta)

2.6 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่มีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยค่าการสูญเสียเชิงวิถีนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ

ในระบบสื่อสารไร้สาย สัญญาณที่เกิดขึ้นจากภาคส่งที่จะต้องนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) สำหรับแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณซึ่งโดยทั่วไปก็คืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางมาถึงภาครับก็จะมีสายอากาศรับสัญญาณซึ่งทำหน้าที่กลับกันจากภาคส่ง คือทำการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง ในการศึกษาเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแพร่สัญญาณแบบทุกทิศทาง (Isotropic radiator) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.9 โดยในการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอวกาศว่างนั้น มักจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังงานของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.6 โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้จะเรียกกันทั่วไปว่าสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis transmission equation)

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- P_R คือ กำลังงานของสัญญาณที่รับได้
- P_T คือ กำลังงานของสัญญาณที่ส่งออกมา
- G_R คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
- G_T คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
- λ คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = \frac{c}{f}$
- c คือ ความเร็วแสง (3×10^8 เมตรต่อวินาที)
- f คือ ความถี่ของสัญญาณ(เฮิร์ตซ์)
- d คือ ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)

ค่าการสูญเสียกำลังงานของสัญญาณในอวกาศว่างโดยทั่วไปแล้วจะคิดค่าเป็นหน่วยของเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

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

(2.7)

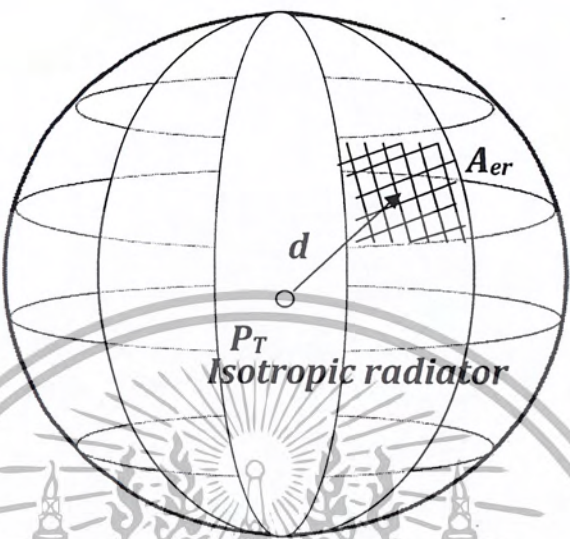
โดยที่ d มีหน่วยเป็นกิโลเมตร (Km) และ f มีหน่วยเป็นเมกะเฮิร์ตซ์จากสมการนี้ จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของสัญญาณจะเพิ่มตามระยะทางและค่าความถี่ของคลื่นสัญญาณ จากรูปที่ 2.9 ถ้า P_T จุดกำเนิดกำลังงาน (Point source) แล้วความหนาแน่นกำลังงานของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างออกไป d จะมีค่าเท่ากับ

$$p(d) = \frac{P_T}{4\pi d^2}$$

วัตต์/ตารางเมตร

(2.8)

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



รูปที่ 2.9 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง

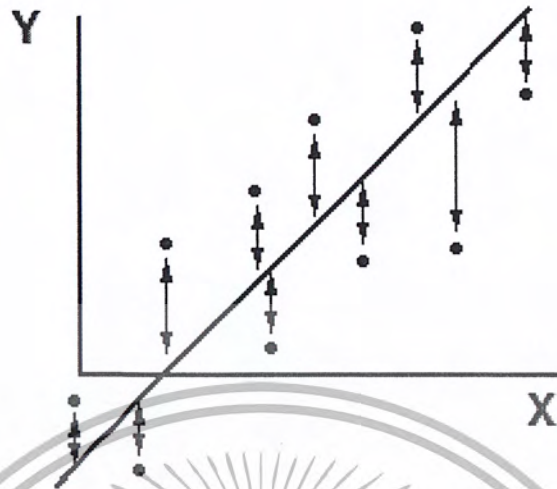
2.7 แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น

กำหนดให้มีข้อมูลทั้งหมด M พิกัด ดังนี้

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M) \tag{2.9}$$

การทำแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นเป็นการหาฟังก์ชันเส้นตรงที่ผ่านพิกัดข้อมูลแล้ว
มีค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด ตัวอย่างการทำแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นได้แสดงไว้ในรูปที่

2.10



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการทำแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้น

แบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นจะมีนิพจน์ทั่วไปทางคณิตศาสตร์เป็น

$$y = a + bx \quad (2.10)$$

เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ต้องการเพื่อให้มีค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด โดยที่ค่าผิดพลาดกำลังสองทั้งหมด e สามารถหาได้จาก

$$e = \sum_{j=1}^M (y_j - a - bx_j)^2 \quad (2.11)$$

ในการทำให้อยู่ในเงื่อนไขของค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด จะทำการหาอนุพันธ์ย่อยของค่าผิดพลาดกำลังสองทั้งหมดเทียบกับพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ แล้วกำหนดให้เท่ากับ 0 ซึ่งจะได้

$$\frac{\partial e}{\partial a} = -2 \sum_{j=1}^M (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial e}{\partial b} = -2 \sum_{j=1}^M x_j (y_j - a - bx_j) = 0 \quad (2.13)$$

จัดรูปใหม่เป็นระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปรได้

$$an + b \sum_{j=1}^M x_j = \sum_{j=1}^M y_j \quad (2.14)$$

$$a \sum_{j=1}^M x_j + b \sum_{j=1}^M x_j^2 = \sum_{j=1}^M x_j y_j \quad (2.15)$$

ดังนั้น ถ้าพารามิเตอร์ a และ b ของแบบจำลองรีเกรสชันเชิงเส้นสามารถหาได้จากการแก้สมการระบบเชิงเส้นสองตัวแปรนี้

2.8 การวิเคราะห์ระบบแถบกว้างยิ่ง โดยใช้สูตรของฟรีส

ในการศึกษาถึงการแพร่กระจายของสัญญาณในระบบวิทยุแถบกว้างยิ่ง โดยในระบบแถบแคบ (Narrowband) โดยปรกตินั้นจะถูกกำหนดโดยใช้สมการของฟรีส แต่วามันไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับการส่งสัญญาณในระบบแถบกว้างยิ่ง โดยในสมการนั้นนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของความถี่ แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของสัญญาณนั้นอาจจะผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของสายอากาศโดยได้มีการปรับปรุงสมการของฟรีส เพื่อวิเคราะห์ ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ

โดยให้สัญญาณอินพุตแทนด้วย $v_i(t)$ และทำการคอนโวลูชันสัญญาณอินพุตด้วยสัญญาณที่ใช้ในการกรองความถี่ที่แทนด้วย $h_i(t)$ ดังนี้

$$v_i(t) = E_i \delta(t) * h_i(t) \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง

$$\int_{-\infty}^{\infty} h_i^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(f)|^2 df = 1 \tag{2.17}$$

การปรับปรุงสมการฟรีสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลเป็น จะได้เป็นดังนี้

$$H_{\text{Friis}}(f) = H_f \cdot H_t \cdot H_r \tag{2.18}$$

$$H_{\text{e-Friis}}(f) = H_f H_i \cdot H_t \cdot H_r \tag{2.19}$$

โดยที่

- H_f คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณในอากาศ
- H_r คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวรับ
- H_t คือ ฟังก์ชันการส่งผ่านสัญญาณของสายอากาศตัวส่ง

และสำหรับกรณี ไอโซโทปิก

$$H_{\text{e-Friis', Iso}}(f) = H_f H_i \tag{2.20}$$

2.9 ค่าการสูญเสียกำลังงาน

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือการคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel)

$$PL[dB] = 20 \log \left[\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right] \quad (2.21)$$

โดยที่

v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง

v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 2.22 และ 2.23 ตามลำดับ

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t)|} \right] \quad (2.22)$$

โดยในสมการที่ 2.23 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log [\max |v_r(t, d)|] \quad (2.23)$$

2.10 การกระจายทางเวลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเส้นทางการแพร่กระจายของสัญญาณระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับมีได้หลายทิศทาง และสัญญาณแต่ละส่วนมักจะส่งผ่านในเส้นทางที่มีระยะทางไม่เท่ากัน สัญญาณบางส่วนอาจจะเดินทางเป็นเส้นตรงระหว่างภาคส่งและภาครับ (Line of sight : LOS) สัญญาณส่วนนี้มักจะเดินทางถึงภาครับได้เร็ว ในขณะที่สัญญาณส่วนอื่นที่มีการตกกระทบพื้นผิวของวัตถุและเกิดการสะท้อนหลายครั้งกว่าจะเดินทางถึงภาครับ สัญญาณมักจะใช้เวลาการแพร่กระจายที่ยาวนานกว่า ความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณแต่ละส่วนก่อให้เกิด

ปัญหาที่เรียกว่า การแผ่ประวิง (Delay spread) ขึ้น นั่นคือสัญญาณแต่ละส่วนใช้เวลาเดินทางถึงจุดหมายไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้ได้พิจารณาถึงเวลาที่ถูกลื่อนออกไปของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งในส่วนของ การกระจายทางเวลา (Time dispersion) นั้นสามารถที่จะวิเคราะห์โดยใช้พารามิเตอร์ที่เรียกว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่เลื่อนเกินออกไปจากค่าเวลาเดิมหรือค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay: τ_m) และค่าการแผ่ของเวลาประวิง (Rms delay spread: τ_{rms}) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนิยามไว้ดังสมการที่ 2.24 และ 2.25 ตามลำดับ

$$\tau_m = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \tau \cdot |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} |h(\tau)|^2 d\tau}$$

(2.24)

โดยที่

τ_m	คือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง
τ	คือ ค่าเวลาในช่วงที่พิจารณา
$h(\tau)$	คือ ผลตอบสนองอิมพัลส์

สำหรับค่าการแผ่ของเวลาประวิงนั้นจะนิยามคือ

$$\tau_{rms} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\tau - \tau_m)^2 \cdot |h(\tau)|^2 d\tau}{\int_{-\infty}^{\infty} |h(\tau)|^2 d\tau}$$

(2.25)

โดยที่

τ_{rms}	คือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง
τ	คือ ค่าเวลาที่แสงใช้ในการเดินทาง
τ_m	คือ ค่าเฉลี่ยเวลาประวิง
$h(\tau)$	คือ ผลตอบสนองอิมพัลส์

2.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการตรวจสอบหาความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณที่รับได้นั้นสามารถวิเคราะห์และแสดงให้เห็นโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ดังแสดงนิยามตาม สมการที่ 2.24 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross correlation) ที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้กับค่าสูงสุดของค่าสัมบูรณ์รากที่สองของผลคูณระหว่างค่าอัตสหสัมพันธ์ (Auto correlation) ของสัญญาณส่งและสัญญาณที่รับได้โดยสมการที่นิยามถึงค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นตามสมการที่ 2.26 ถึงสมการที่ 2.29 ตามลำดับ

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

(2.26)

โดยสมการที่นิยามค่าสหสัมพันธ์ข้าม คือ

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

(2.27)

และสมการที่นิยามค่าอัตสหสัมพันธ์ คือ

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

(2.28)

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

(2.29)

โดยที่

- $v_t(t)$

คือ สัญญาณด้านส่ง
- $v_r(t)$

คือ สัญญาณด้านรับ

2.12 อัตราความผิดพลาดบิต

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับอัตราความผิดพลาดบิตที่เข้ามายังภาครับ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลในแต่ละจุดที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระหว่างสัญญาณที่รับได้กับค่าสัญญาณที่ใช้ในการส่ง อัตราส่วนของ ดังแสดงในสมการที่ 2.27

$$C_c = \frac{\int |V_c(f,d)| df}{\int |V_r(f,d)|^2 df \cdot \int |H_c(f,d)|^2 df}$$

(2.30)

$$BER_m = Q\left[\sqrt{\frac{(E_b/N_0) f_b C_c}{br}}\right]$$

(2.31)

โดยที่

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-t^2/2} dt, x \geq 0$$

(2.32)

- โดยที่
- E_b/N_0 =energy คือ อัตราบิตข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน
 - C_c คือ พึ่งกันสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
 - br คือ อัตราในการส่งข้อมูลระดับบิตต่อวินาที
 - f_b คือ ความกว้างของแถบความถี่

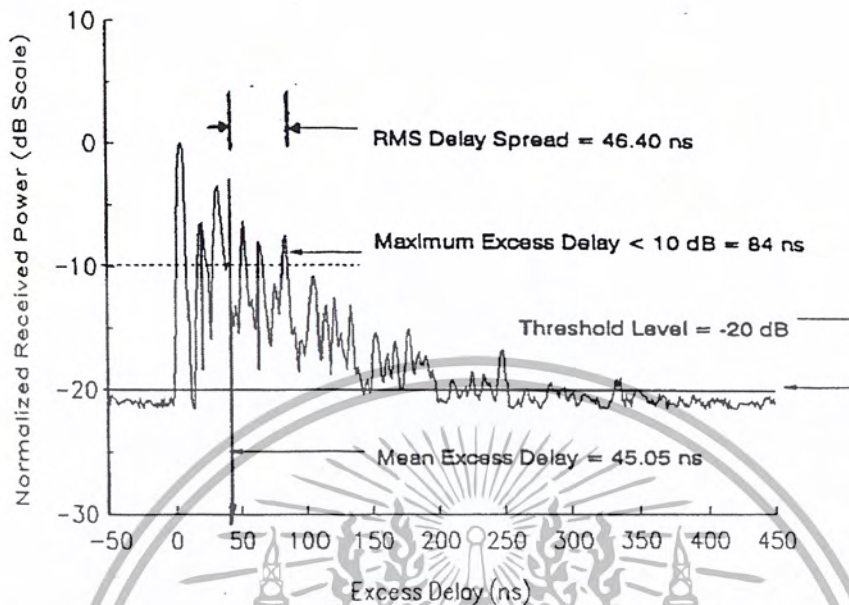
2.13 อัตราขยายของแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณที่ใช้ในการส่งซึ่งนำมาปรับปรุงอัตราขยายรวมโดยผลที่ได้จะเป็นดังสมการที่ (3.19) สำหรับกรณีโดยทั่วไปที่มีการใช้ สายอากาศแบบไอโซโทรปิก นั้นจะประกอบด้วย $H_{iso}(f) = 1$ อัตราขยายในการส่งในย่านแถบความถี่กว้างยิ่ง สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$G_{UWB} = \frac{\max_t v_{MF}(t)}{\max_t v_{MF,Iso}(t)} \tag{2.33}$$

2.14 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่าง ๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถี โดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP) ซึ่งตัวอย่างของ PDP ได้แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (Rms dealy spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน

สำหรับการแจกแจงกำลังงานนั้นจะนิยามคือ

$$P(\tau) = \frac{|h(t, \tau)|^2}{2} \quad (2.34)$$

โดยที่ $P(\tau)$ = การแจกแจงกำลังงาน

$h(t, \tau)$ = ผลตอบสนองพัลส์

2.15 การนำเอาระบบแถบกว้างยิ่งยวดไปใช้งาน

ระบบแถบกว้างยิ่งยวดนั้นเป็นระบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เนื่อง โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

- ใช้ในการติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์
- ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ
- ใช้ระบบเรดาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

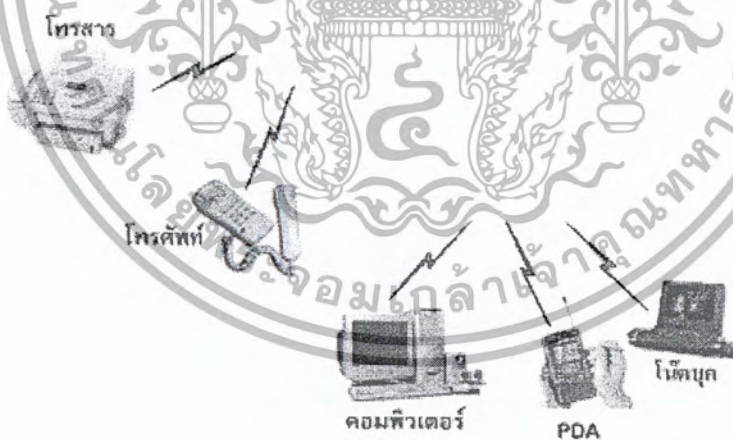
2.15.1 การติดต่อสื่อสารและระบบเซนเซอร์

ในอนาคคนั้นมีแนวโน้มว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ภายในบ้านชนิดต่างๆนั้นจะต้องมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันมากขึ้นซึ่งหากแบ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เช่น โทรทัศน์ วิทยุ วีดีโอเกมส์ กล้องดิจิทัล เครื่องขยายเสียง ลำโพง และ เครื่องเล่น ดีวีดี

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ พีดีเอ เครื่องเล่นเอ็มพีสาม

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนเนอร์ อุปกรณ์เก็บข้อมูล เครสท์คอมพิวเตอร์ และที่ขาดไม่ได้คือ แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.12 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานการติดต่อสื่อสาร

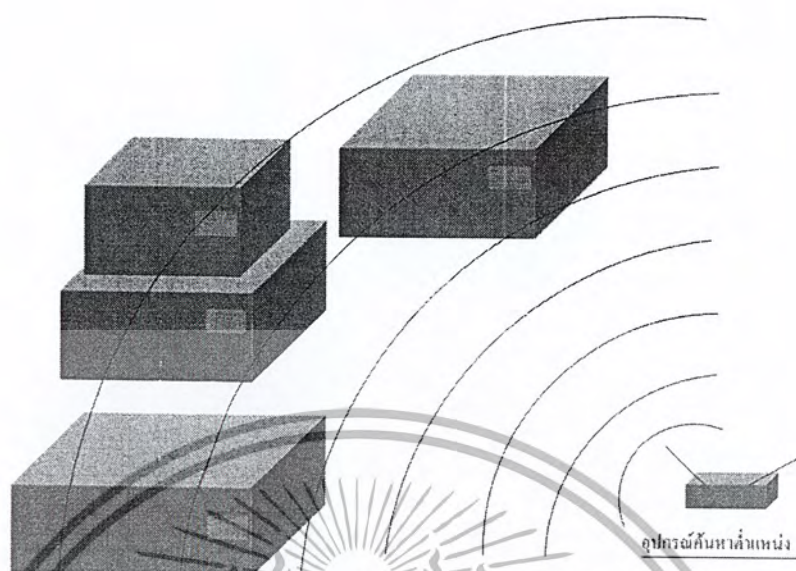
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นล้วนสามารถนำเทคโนโลยีการสื่อสารวิทยุแถบกว้างยิ่ง มาประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารและส่งผ่านข้อมูล เช่น มีการส่งสัญญาณภาพจากเครื่องเล่น ดีวีดีไปยังโปรเจ็กเตอร์เพื่อทำการฉายภาพหรืออาจทำการส่งข้อมูลวีดีโอจากกล้องถ่ายวีดีโอไปยังแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

นอกจากจะนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้านแล้วนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์กับเซนเซอร์ต่าง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งแต่เดิมจะมีการใช้สายในการส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้จากร่างกายผู้ป่วยไปยังเครื่องที่ทำการวิเคราะห์ซึ่งหากมีการนำแนวความคิดกว้างยิ่งนี้ไปประยุกต์ใช้งานก็จะทำให้ความยุ่งยากเกี่ยวกับสายต่างๆหมดไปและเนื่องจากข้อดีของแถบกว้างยิ่งที่ใช้ลำแสงที่ต่ำจึงทำให้ไม่ผลกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

2.15.2 ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ

ในปัจจุบันนี้มีระบบจีพีเอสที่ใช้ในการบอกพิกัดซึ่งยังเป็นหน่วยที่สามารถบอกพิกัดได้เพียงในระดับเมตรซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการเดินทางและบอกตำแหน่งแบบคร่าวๆ แต่เมื่อในมาประยุกต์ใช้ภายในอาคารนั้นเป็นการต้องการรู้ว่าจุดอยู่ไหนหรือแม้แต่อาจนำไปประยุกต์ในการตรวจสอบสินค้าในคลังสินค้าแล้วเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจึงมีความเหมาะสมมากกว่าเพราะสามารถบอกตำแหน่งได้ในระดับเซนติเมตร



รูปที่ 2.13 การนำแถบกว้างยิ่งไปประยุกต์ใช้งานค้นหาตำแหน่ง

2.15.3 เรดาร์

สัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีรากฐานทุนด้าซึ่งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับเรดาร์ อุปกรณ์เรดาร์ในอนาคตนั้นยังเป็นที่ต้องการของตลาดอีกมาก อุปกรณ์เรดาร์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุ, ตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการชน, การตรวจจับความเร็วบนถนน, ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยส่วนบุคคลในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่เราต้องการความปลอดภัยสูงอย่างทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูงหรือพื้นที่ที่ต้องการความเข้มงวดในการตรวจสอบสูงหรืออาจนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบทะลุผ่านวัสดุที่ใช้ทำอาคารเช่น ไม้ อิฐ อิฐบล็อก ไฟเบอร์ พลาสติกและคอนกรีต ซึ่งแต่เดิมนั้น เรดาร์ได้ถูกพัฒนาและใช้เพื่อการทหารแต่ในอนาคตอันใกล้นี้ก็ได้นำมาใช้ในเชิงพานิช เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ

ในการอธิบายพฤติกรรมของสายอากาศตัวใดตัวหนึ่ง จำเป็นต้องทราบค่านิยามของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศเป็นอย่างมาก สิ่งที่เป็นปัจจัยพื้นฐานของสายอากาศ คือ อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) ประสิทธิภาพ (Efficiency) และอัตราขยาย (Gain) ของสายอากาศ รวมถึงคุณลักษณะของปัจจัยอื่น ๆ ที่จะได้พูดถึงคือ ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth) การแยกขั้วคลื่น (Polarization) ทุก ๆ ปัจจัยที่กล่าวมาแล้วนั้นคือสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการแสดงคุณลักษณะของสายอากาศ และไม่ว่าจะเป็นการออกแบบสายอากาศหรือการกำหนดสายอากาศให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

2.16.1 อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

อิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์นั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าของแบนด์วิดท์สำหรับสายอากาศที่มีการแมตช์อย่างเพียงพอกับสายส่ง เช่น 10% หรือน้อยกว่าซึ่งเป็นการชี้ให้เห็นสัญญาณที่สูญเสียเนื่องจากการสะท้อน โดยการวัดค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์รวมถึงค่าคุณลักษณะของอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับตลอดย่านที่สนใจ โดยค่า VSWR และค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นการกำหนดอัตราส่วนของคลื่นที่สะท้อนกลับ (V_0^-) กับคลื่นที่ตกกระทบ (V_0^+) ที่โหลดของสายส่งแสดงได้ดังรูปที่ 3 เป็นแบบจำลองของสายส่ง และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_{\text{line}} - Z_{\text{load}}}{Z_{\text{line}} + Z_{\text{load}}} \quad (2.35)$$

Z_{line} และ Z_{load} เป็นอิมพีแดนซ์ของสายส่งและอิมพีแดนซ์ของโหลด (สายอากาศ) ซึ่งแรงดันและกระแสที่ผ่านสายส่งเป็นฟังก์ชันของระยะทางจากโหลด Z แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V(z) = V_o^+ e^{-j\beta z} + V_o^- e^{-j\beta z} = V_o^+ (e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.36)$$

$$I(z) = \frac{1}{Z_0} (V_o^+ e^{-j\beta z} - V_o^- e^{-j\beta z}) = \frac{V_o^+}{Z_0} (e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.37)$$

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ ซึ่งมีค่าเท่ากับพารามิเตอร์ ของ scattering matrix และกรณีที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์แบบจะทำให้ $\Gamma = 0$ และให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่แย่ที่สุดมีค่า $\Gamma = -1$ หรือ 1 ซึ่งเหมือนกันกับความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ที่โหลดของการ short และ open

กำลังงานที่มีการสะท้อนกลับที่จุดเชื่อมต่อของสายอากาศเป็นเป็นเรื่องที่สำคัญซึ่งมีความสัมพันธ์กับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ โดยกำลังงานของช่วงเวลาเฉลี่ยเป็นการวัดตามปกติไปยังสายส่งที่มีอิทธิพลกับค่ากำลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลด ให้กำลังงานเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$P_{ave}^i = \frac{|V_o^+|^2}{2Z_0} \quad (2.38)$$

และกำลังงานที่สะท้อนกลับเป็นสัดส่วนกับกำลังงานที่เกิดขึ้น โดยคูณกับ ตัวประกอบ ของ $|\Gamma|^2$ แสดงได้โดย

$$P_{ave}^r = -|\Gamma|^2 \frac{|V_o^+|^2}{2Z_0} \quad (2.39)$$

ค่ากำลังงานเฉลี่ยสุทธิที่ส่งไปยังโหลด ดังนั้นเป็นผลรวมของกำลังงานที่เกิดขึ้นและกำลังงานเฉลี่ยที่สะท้อนกลับ

$$P_{ave} = \frac{|V_o^+|^2}{2Z_0} [1 - |\Gamma|^2] \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากกำลังงานที่ส่งไปยังโหลดเป็นสัดส่วนกับ $|1 - \Gamma|^2$ โดยค่าที่สามารถยอมรับได้ของ Γ เพียงแค่ 10 % เท่านั้น จึงจะสามารถคำนวณค่ากำลังงานที่สะท้อนกลับได้ ส่งผลให้ Γ มีค่าเท่ากับ 0.3162

เมื่อโหลดไม่แมตช์กับสายส่งแล้วจะเกิดการสะท้อนกลับที่โหลด เพราะว่าคลื่นที่เดินทางไปในสายส่งเป็น negative ทำยที่สุดแล้วก็จะเกิดเป็นคลื่นนิ่งในสายส่งที่เราไม่ต้องการ ซึ่งการวัดค่า VSWR นั้นเป็นอัตราส่วนของแอมพลิจูดสูงสุดของคลื่นนิ่งกับแอมพลิจูดต่ำสุดของคลื่นนิ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.72)

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.41)$$

สำหรับค่าที่ต้องการของ VSWR คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.0 ซึ่งบ่งบอกถึงการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดี โดยของ VSWR ที่กำหนดสามารถคำนวณได้จากค่าของ Γ ตามสมการที่ (2.75)

ต่อไปเป็นค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นการวัดคุณลักษณะของการแมตช์อิมพีแดนซ์อีกแบบหนึ่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์เหมือนกับค่าของ Γ หรือ S_{11} โดยค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศคำนวณได้จากสมการที่ 2.76

$$\text{Return Loss} = -10 \log |S_{11}|^2 = -20 \log(|\Gamma|) \quad (2.42)$$

การแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดีเป็นการบ่งบอกว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับต้องน้อยกว่า -10 dB สรุปว่าสายอากาศที่ดีนั้นจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนน้อยกว่า 0.3162 มีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยกว่า 2 และมี ค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB

2.16.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

อีกสิ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับการอธิบายลักษณะของสายอากาศนั้นก็คือแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นตัวบ่งบอกในการประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ ตัวอย่างเช่น cell phone จะต้องใช้สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัว ดังนั้นการแผ่กระจายกำลังงานจะต้องแพร่กระจายออกอย่างสม่ำเสมอโดยรอบของผู้ใช้ที่เหมาะสมที่สุด และอย่างไรก็ตามสำหรับการประยุกต์ใช้กับดาวเทียมก็จะต้องเป็นสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง มีการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่เจาะจงรู้ตำแหน่งที่แน่นอน และมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับของ IEEE ได้กำหนดในส่วนของสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศไว้ดังนี้

ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หรือกราฟเป็นการแสดงถึงคุณสมบัติการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ เนื่องจากเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง โดยบริเวณสนามของสายอากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 3 บริเวณดังนี้คือ บริเวณสนามระยะใกล้รีแอทีฟ (Reactive near field region) เป็นส่วนของสนามระยะใกล้ที่อยู่โดยรอบสายอากาศโดยตรง ซึ่งสนามที่เกิดขึ้นบริเวณนี้จะเป็นสนามรีแอทีฟ บริเวณสนามระยะใกล้ที่มีการแผ่ (Radiating near field region) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างบริเวณสนามระยะใกล้รีแอทีฟกับบริเวณสนามระยะไกล ถ้าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของสายอากาศมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นสนามบริเวณนี้จะไม่เกิดขึ้น และบริเวณสนามระยะไกล (Far field region) เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่มีการกระจายของสนามเชิงมุมไม่ขึ้นกับระยะทางที่ห่างออกมาจากตัวสายอากาศ ซึ่งบริเวณสนามในการพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานส่วนใหญ่จะต้องกระทำในสนามระยะไกล และเป็นการอธิบายถึงลักษณะฟังก์ชันของพิกัดเชิงทิศทางเสมอ ซึ่งคุณลักษณะการแผ่กระจายกำลังงานประกอบด้วย ความหนาแน่นของเส้นแรงกำลัง (Power flux density) ความหนาแน่นของกำลังงานที่แผ่กระจาย (Radiation power density) ความเข้มของสนาม (Field intensity) สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity) เฟสของการขึ้นนำ (Directivity phase) หรือการแยกขั้วคลื่น (Polarization)

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบไอโซทรอปิก เป็นการแผ่คลื่นของสายอากาศที่สมมติขึ้นว่าปราศจากการสูญเสียและมีการแผ่กระจายคลื่นออกมาทุกทิศทางเท่ากัน ส่วน

สายอากาศที่มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบมีทิศทาง คือ สายอากาศที่มีคุณสมบัติในการแผ่หรือรับคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่นๆ ซึ่งคำนี้มักจะใช้กับสายอากาศที่มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดมากกว่าของสายอากาศแบบไดโพลความยาวครึ่งคลื่น และแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานแบบรอบตัวในระนาบเดียว คือ มีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ไม่มีทิศทางในระนาบที่กำหนดให้ ในที่นี้คือมุมอาซิมุท (Azimuth) และระนาบที่อยู่ตั้งฉากกันจะมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเป็นแบบมีทิศทาง ซึ่งก็คือมุมเงย (Elevation)

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในสามมิติเป็นการวัดในระบบของพิกัดทรงกลม เป็นการบ่งบอกความสัมพันธ์ของความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานในสนามระยะไกลที่ล้อมรอบสายอากาศในลักษณะที่เป็นทรงกลม ซึ่งในระบบพิกัดของทรงกลม ระนาบ $x-z$ (ทำการวัดโดยเปลี่ยนแปลง θ เมื่อ $\phi = 0^\circ$) เป็นการชี้บ่งบอกถึงระนาบมุมเงย ส่วนระนาบ $x-y$ (ทำการวัดโดยเปลี่ยนแปลง ϕ เมื่อ $\theta = 90^\circ$) เป็นการชี้บ่งบอกถึงระนาบมุมอาซิมุท โดยในระนาบของมุมเงยนั้นจะมีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าอยู่ (E-plane) และมีทิศทางของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด ส่วนในระนาบของอาซิมุทนั้นจะมีเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กอยู่ (H-plane) และมีทิศทางของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดซึ่งแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งสองระนาบนั้นจะเป็นการพลอตในเชิงขั้วโดยมีการเปลี่ยนแปลงค่า θ หรือ ϕ และคงที่ค่า ϕ และ θ ตามลำดับ ในรูปที่ 4 เป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่นในระนาบสามมิติ และในรูปที่ 5 เป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสองมิติโดยเปลี่ยนแปลงค่า θ โดยให้ $\phi = 0^\circ$ และเปลี่ยนแปลงค่า ϕ โดยให้ $\theta = 90^\circ$ ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4 ทำให้เข้าใจมากขึ้นจะเห็นว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดอยู่ที่ $\theta = 90^\circ$ สำหรับทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงค่า ϕ ในระนาบอาซิมุท และจะเห็นว่าค่าที่เป็นศูนย์ของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานอยู่ในส่วนปลายของไดโพลตามแกน z (หรือที่ $\theta = 0^\circ$ และ 180°) โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะในเชิงขั้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 ซ้ายมือเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศโดยให้ระนาบอาซิมุทคงที่และทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบของมุมเงย (เปลี่ยนแปลงค่า θ) ซึ่งก็คือระนาบสนามไฟฟ้านั่นเอง ส่วนรูปด้านขวามือเป็นการแสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศโดยให้ระนาบของมุมเงยคงที่ที่มีการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดนั่นคือ $\theta = 90^\circ$ และทำการเปลี่ยนแปลงในระนาบของอาซิมุท (เปลี่ยนแปลงค่า ϕ) ซึ่งก็คือระนาบสนามแม่เหล็กนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเป็นการกำหนดมุมจากกึ่งกลางของโหนดหลักไปยังจุดที่การแผ่กระจายกำลังงานลดลง 3 dB คือ ในระนาบหนึ่ง ๆ ที่ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุด และมีมุมซึ่งอยู่ระหว่างสองทิศทางซึ่งความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานมีค่ากำลังงานลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุดของมัน และคำว่าความกว้างลำคลื่น (Beamwidth) มักจะใช้อธิบายถึงความกว้างลำคลื่นที่มีค่า 3 dB เสมอ นอกจากนี้ความกว้างลำคลื่นของสายอากาศยังถูกนำมาใช้ในการอธิบายถึงความสามารถในการแยกแยะของสายอากาศ เพื่อแยกแยะระหว่างแหล่งกำเนิดสองตัวซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างลำคลื่นที่มีค่าเป็นศูนย์จุดแรก โดยมักจะนำไปใช้ในการประมาณค่าของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

2.16.4 ความหนาแน่นการแผ่กระจายกำลังงาน

ปริมาณที่ใช้ในการอธิบายกำลังที่เกิดจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือเวกเตอร์พอยดิงซึ่งจะกำหนดโดย

$$W = E \times H \tag{2.43}$$

โดยที่

- W คือ เวกเตอร์พอยดิงซึ่งจะมีหน่วยเป็น W / m^2
- E คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าซึ่งจะมีหน่วยเป็น V/m
- H คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น A/m

เนื่องจากเวกเตอร์พอยดิงก็คือความหนาแน่นกำลังรวมที่ตัดผ่านพื้นที่ผิวปิด สามารถหาได้โดยการอินทิเกรตองค์ประกอบที่ต่างจากของเวกเตอร์พอยดิงที่อยู่เหนือพื้นผิวทั้งหมดในรูปของสมการ

$$P = \int_s W ds \quad (2.44)$$

โดยที่

P คือ กำลังงานรวมชั่วขณะมีหน่วยเป็น W

สำหรับรูปแบบที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงของฮาร์โมนิกเชิงเวลา สามารถที่จะกำหนดสนามเชิงซ้อนของ E และ H ได้ซึ่งจะสัมพันธ์กับส่วนที่เกิดขึ้นแบบชั่วขณะของ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ ซึ่งค่าเวกเตอร์พอยน์ติงเฉลี่ยเชิงเวลา ก็คือความหนาแน่นกำลังเฉลี่ยสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$W_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \quad (2.45)$$

โดยที่

W_{av} คือ ความหนาแน่นกำลังงานเฉลี่ยมีหน่วยเป็น W/m²

จากสมการแสดงว่ากำลังที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศในบริเวณสนามระยะไกลส่วนใหญ่จะมีค่าเป็นจำนวนจริง และสามารถกล่าวได้ว่าส่วนนี้เป็นเสมือนความหนาแน่นการแผ่กระจายคลื่น เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.79) ค่ากำลังงานเฉลี่ยที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศสามารถหาได้จากการอินทิเกรตองค์ประกอบของความหนาแน่นกำลังงานเฉลี่ยปกติบนพื้นผิวปิดทั้งหมด และกำลังงานรวมที่แผ่กระจายออกไปสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_{rad} &= P_{av} \frac{1}{2} \iint_s \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) ds \\ &= \iint_s W_{rad} ds \end{aligned} \quad (2.46)$$

2.16.5 ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน

ค่าความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานถูกกำหนดด้วยมาตรฐานของ IEEE โดยค่าความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังที่คลื่นแผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อหนึ่งหน่วยมุมตัน โดยรูปแบบอย่างง่ายคือ ค่าความหนาแน่นของการแผ่กระจายกำลังงาน (W_{rad}) คูณกับระยะทาง (r) ยกกำลังสอง แสดงได้ดังสมการ

$$U = r^2 W_{\text{rad}} \quad (2.47)$$

โดยที่

U คือ ความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานมีหน่วยเป็น W/unit solid angle

W_{rad} คือ ความหนาแน่นของการแผ่กระจายกำลังงานมีหน่วยเป็น W/m²

นอกจากนี้ความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานยังมีความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าในระยะไกลของสายอากาศด้วยนั่นคือ

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} |\vec{E}(r, \theta, \phi)|^2 = \frac{r^2}{2\eta} [E_\theta(r, \theta, \phi)^2 + E_\phi(r, \theta, \phi)^2] \quad (2.48)$$

โดยที่

$\vec{E}$ คือความเข้มของสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศ

η คือค่าอิมพีแดนซ์ที่แท้จริงของตัวกลาง

E_θ, E_ϕ คือ องค์ประกอบของสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศ

โดยค่ากำลังงานรวมที่ได้จากการอินทิเกรตความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นตลอดมุมตันขนาด 4π ทั้งหมดได้ดังนี้

$$P_{\text{rad}} = \iint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$d\Omega$ คือ ส่วนประกอบของมุมตันเท่ากับ $\sin \theta d\theta d\phi$

สำหรับแหล่งกำเนิดที่เป็นไอโซทรอปิก U จะไม่ขึ้นอยู่กับมุม θ และ ϕ ซึ่งเหมือนกับกรณีของ W_{rad} ดังนั้นสมการที่ 2.18 สามารถเขียนได้ดังสมการ (2.84)

$$P_{\text{rad}} = \iint_{\Omega} U d\Omega = U_0 \iint_{\Omega} d\Omega = 4\pi U_0 \quad (2.50)$$

ดังนั้นความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกจะหาได้

จาก

$$U_0 = \frac{P_{\text{rad}}}{4\pi} \quad (2.51)$$

2.16.6 สภาพเจาะจงทิศทาง

สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ คือ อัตราส่วนความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้จากตัวสายอากาศกับความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานเฉลี่ยที่ออกไปทุกทิศทาง โดยค่าความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานเฉลี่ยจะเท่ากับกำลังงานรวมที่แผ่กระจายออกไปจากตัวสายอากาศหารด้วย 4 ถ้าไม่มีการกำหนดทิศทางให้กับสายอากาศ ก็จะถือว่าทิศทางที่มีการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด คือทิศทางที่จะกำหนดค่าสภาพเจาะจงทิศทาง สภาพเจาะจงทิศทางของแหล่งกำเนิดที่ไม่ใช่แบบไอโซทรอปิก จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของความเข้มการแผ่กระจายกำลังงานของแหล่งกำเนิดนั้นในทิศทางที่กำหนดให้กับความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.52)$$

ถ้าไม่มีการกำหนดทิศทางให้ถือว่าทิศทางที่มีความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุด คือสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดที่ต้องการหา นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.53)$$

โดยสภาพเจาะจงทิศทางของแหล่งกำเนิดที่เป็นไอโซทรอปิกมีค่าเท่ากับ 1 คือเท่ากันทุกทิศทาง และในกรณีที่สายอากาศมีองค์ประกอบของการแยกขั้วคลื่นตั้งฉากกันจะมีการกำหนดสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศเป็นแบบเฉพาะส่วนตามการแยกขั้วคลื่นและทิศทางที่กำหนดให้ นั่นคือ ส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานตามการแยกขั้วคลื่นที่กำหนดให้ หาด้วยความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานรวมเฉลี่ยในทุกทิศทาง ดังนั้นเมื่อพิจารณาสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศที่มีองค์ประกอบทั้งสองของการแยกขั้วคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้ จะต้องพิจารณาจาก สภาพเจาะจงทิศทางรวมของสายอากาศแบบมีการแยกขั้วคลื่นตั้งฉากกัน ซึ่งจะเป็นผลรวมของสภาพเจาะจงทิศทางแบบเฉพาะส่วนที่เกิดจากการแยกขั้วคลื่นทั้งสองขั้ว ในกรณีพิสัยของทรงกลมจะได้

$$D_0 = D_\theta + D_\phi \quad (2.54)$$

โดยที่สภาพเจาะจงทิศทางเฉพาะส่วนของการแยกขั้วคลื่นทั้งสองขั้ว คือ D_θ และ D_ϕ และมีค่าดังต่อไปนี้

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{\text{rad}})_\theta + (P_{\text{rad}})_\phi} \quad (2.55)$$

$$D_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{(P_{\text{rad}})_\theta + (P_{\text{rad}})_\phi} \quad (2.56)$$

โดยที่

U_θ และ U_ϕ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงาน

$(P_{\text{rad}})_\theta$ และ $(P_{\text{rad}})_\phi$ คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกไปทุกทิศทาง

2.16.7 อัตราขยาย

การวัดอัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการวัดสภาพเจาะจงทิศทางตลอดจนประสิทธิภาพการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศ โดยอัตราขยายจริงของสายอากาศเป็นอัตราส่วนของความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่อความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานที่ได้รับเข้ามา

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m} \quad (2.57)$$

ถ้ากำลังงานที่รับเข้ามาโดยสายอากาศนั้น มีการแผ่กระจายกำลังงานในลักษณะของไอโซทรอปิกแล้ว ความเข้มของการแผ่กระจายกำลังงานในลักษณะนี้จะมีค่าเท่ากับกำลังงานที่สายอากาศรับเข้ามาที่ขั้วอินพุตหารด้วย 4π ส่วนอัตราขยายสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังงานในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังงานของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น ซึ่งกำลังงานที่ป้อนให้กับอินพุตของสายอากาศจะต้องเหมือนกันทั้งสองตัว โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้นจะเป็นสายอากาศที่เป็นแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิกที่ไม่มีการสูญเสียค่านั้นจะได้

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_m(\text{isotropic Source})} \quad (2.58)$$

2.16.8 ความกว้างแถบ

ความกว้างแถบของสายอากาศ คือ ย่านของความถี่ที่ยังอยู่ในสภาวะที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ ซึ่งจะพิจารณาจากคุณลักษณะบางตัวของสายอากาศและให้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยความกว้างแถบจะพิจารณาจากช่วงความถี่ที่ต่ำกว่าและสูงกว่าความถี่กลาง ซึ่งสภาวะการทำงานของสายอากาศที่ยอมรับได้จะต้องสามารถทำงานได้ตลอดย่านความถี่นี้ ในกรณีที่เป็นสายอากาศแถบกว้าง ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความถี่สูงสุดกับความถี่ต่ำสุดที่สายอากาศยังสามารถทำงานได้ และในกรณีที่เป็นสายอากาศแถบแคบ ความกว้างแถบมักจะแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของผลต่างความถี่ เมื่อเทียบกับความถี่กลางของความ

กว้างแถบ และเนื่องจากคุณลักษณะของสายอากาศ ที่ถูกใช้ในการพิจารณาความกว้างแถบไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหรือมีผลต่อความถี่เหมือนกัน จึงไม่มีการกำหนดคุณลักษณะโดยเฉพาะเพื่อนำมาหาความกว้างแถบของสายอากาศ ดังนั้นวิธีกำหนดความกว้างแถบ จึงมักจะแบ่งตามกลุ่มของคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณา คือ ความกว้างแถบจากแบบรูป ซึ่งเป็นความกว้างแถบที่พิจารณาจากอัตราขยาย ระดับของโพลด้านข้าง ความกว้างลำคลื่น การแยกขั้วคลื่น และทิศทางของลำคลื่น ส่วนความกว้างแถบจากค่าอิมพีแดนซ์ เป็นความกว้างแถบที่พิจารณาจาก ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ และค่าประสิทธิภาพของการแผ่กระจายกำลังงาน

2.17 สายอากาศแบบหุกระด้าย

สายอากาศหุกระด้ายมีลักษณะคล้ายรูปทรงเรขาคณิตอย่างง่าย ซึ่งสามารถใช้งานได้ในช่วงแบนด์กว้าง สำหรับแถบความถี่กว้าง โดยสายอากาศหุกระด้ายนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นแผ่นรูปหุกระด้ายซึ่งเป็นตัวนำอยู่บนฉาบเสถียร (Substrate) ของสารไดอิเล็กตริก มีการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional Pattern) อีกทั้งสายอากาศชนิดนี้ยังให้อิมพีแดนซ์ แมทชิง (Impedance Matching) ที่ดี มีน้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

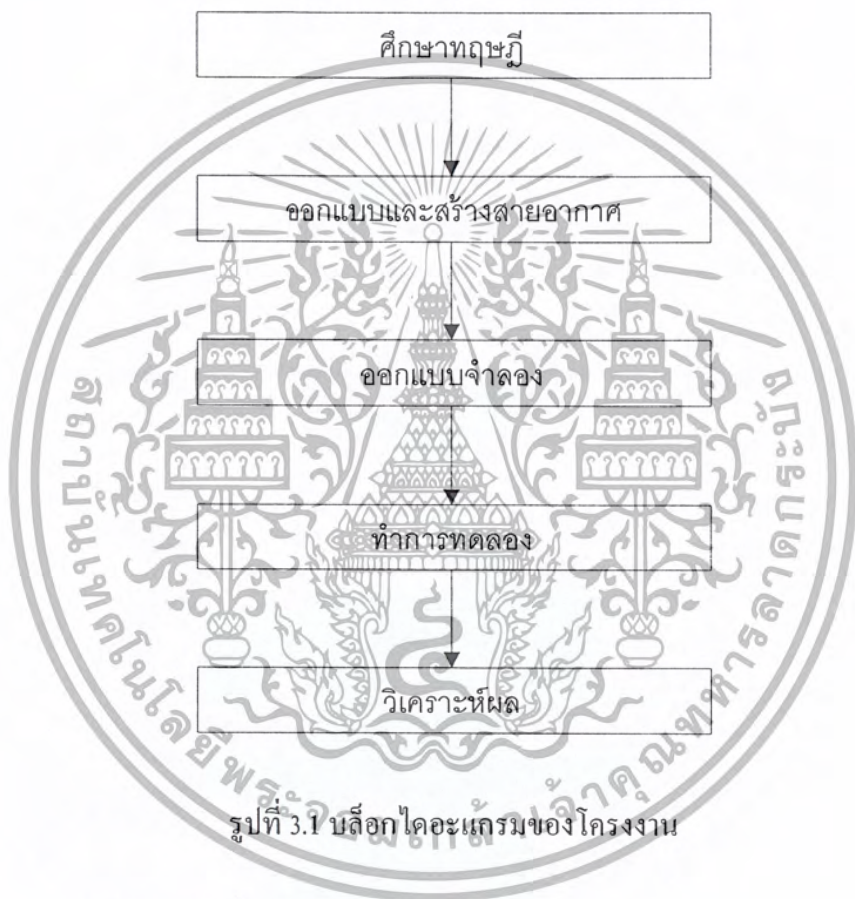
ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ มาเพื่อช่วยในการออกแบบสายอากาศแบบหุกระต่ายและนำไปทดสอบ โดยจำลองการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งในการทดลองซึ่งเป็นการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณในระบบการสื่อสารไร้สาย โดยทั่วไปจะมีการพิจารณาอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตรวจสอบจากการใช้แบบจำลองช่องสัญญาณ บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และตรวจสอบจากการวัด โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์วงจรเครือข่าย ซึ่งเป็นการตรวจสอบบนโดเมนความถี่ โดยปริญญานิพนธ์นี้จะทำการตรวจสอบบนพื้นฐานของการวัดเป็นหลักสำหรับขั้นตอนในการวัดนั้นจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงในข้อหาค่อยไปและสิ่งที่สำคัญที่สุดอีกอย่างหนึ่งคือการกำหนดรูปแบบหรือลักษณะสภาพแวดล้อมซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบโดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบของแลปท็อปคอมพิวเตอร์ ที่ส่งผลกระทบต่อระดับของสัญญาณบนช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งในสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยได้กำหนดการจำลองของการวัดสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือผลกระทบจากการหมุนและผลกระทบจากการเปิดและปิดเครื่องแลปท็อปคอมพิวเตอร์เมื่อมีการวางในลักษณะโต๊ะประชุม

หลังจากขั้นตอนการวัดเสร็จสิ้นลงข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปของพารามิเตอร์ต่างๆ อาทิเช่น ผลของระดับกำลังงานที่สูญเสีย ผลการกระจายทางเวลาอันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงและค่าการแผ่ประวิง อีกทั้งผลที่แสดงให้เห็นถึงความเพี้ยนของสัญญาณโดยทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีผลและไม่มีผลจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว

3.1 การออกแบบ

3.1.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

การทำโครงการนี้มีการวางแผนตามบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของโครงการ

3.1.2 การออกแบบสายอากาศแบบหูกกระต่าย

เริ่มจากการหาข้อมูลของสายอากาศที่ต้องการจะสร้าง ซึ่งในที่นี้เราได้ทำการเลือกสายอากาศที่จะสร้างเป็นสายอากาศชนิดหูกกระต่าย หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบ

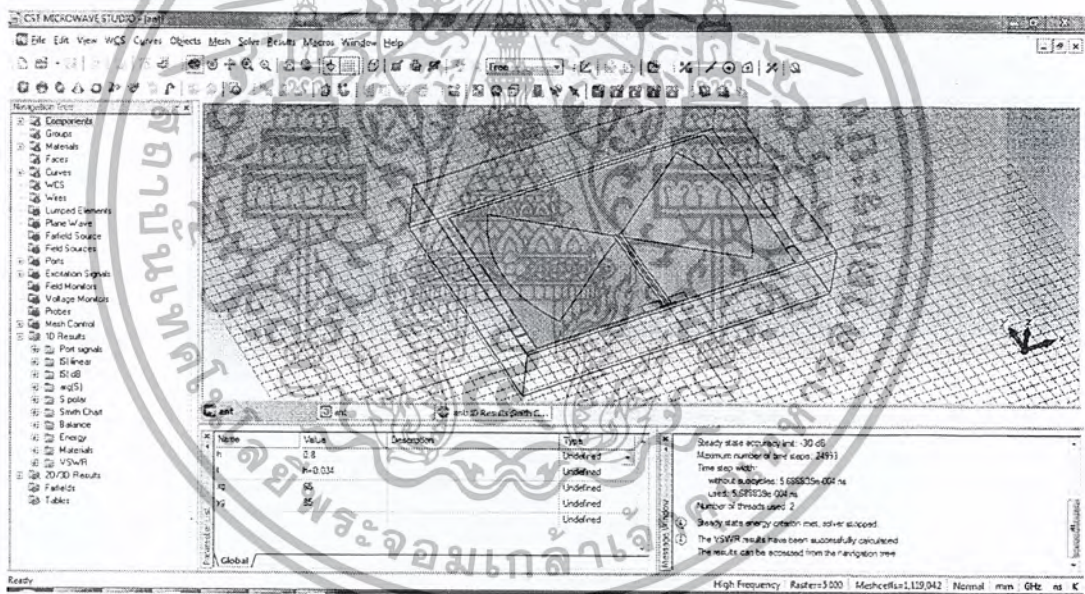
โดยการออกแบบสายอากาศชนิดหุกระต่ายนั้นเราได้ใช้การออกแบบโดยการจำลอง (Simulated) ผ่าน โปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010 เพื่อให้เราทราบถึงรูปแบบและขนาดของสายอากาศที่ต้องการสร้างขึ้น โดยมีรูปแบบของโปรแกรมดังรูป 3.2

สำหรับการออกแบบสายอากาศไดโพลชนิดหุกระต่าย เลือกใช้การจำลองของ ชับเสตแบบเฟอไรต์ (FR4) ซึ่งใช้พารามิเตอร์ดังนี้

ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.4

ความหนาวัสดุฐานรอง (h) เท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร

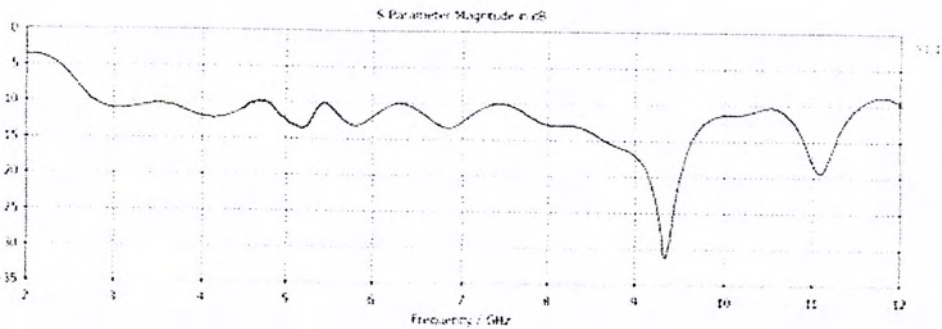
ค่าความหนาของแผ่นตัวนำ เท่ากับ 0.05 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการออกแบบสายอากาศจากโปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010

หลังจากทำการออกแบบสายอากาศที่เราต้องการผ่าน โปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010 แล้ว เมื่อเราทำการจำลองผลออกมาแล้วจะได้ค่าต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (ก) กับค่า S11 (dB) ที่ได้จากการคำนวณผล
ในโปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010

จากรูปที่ 3.3 เราจะได้อ่านค่า S11 หรือสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับตามที่เรากำลังต้องการคือ
มีค่าต่ำกว่า -10dB

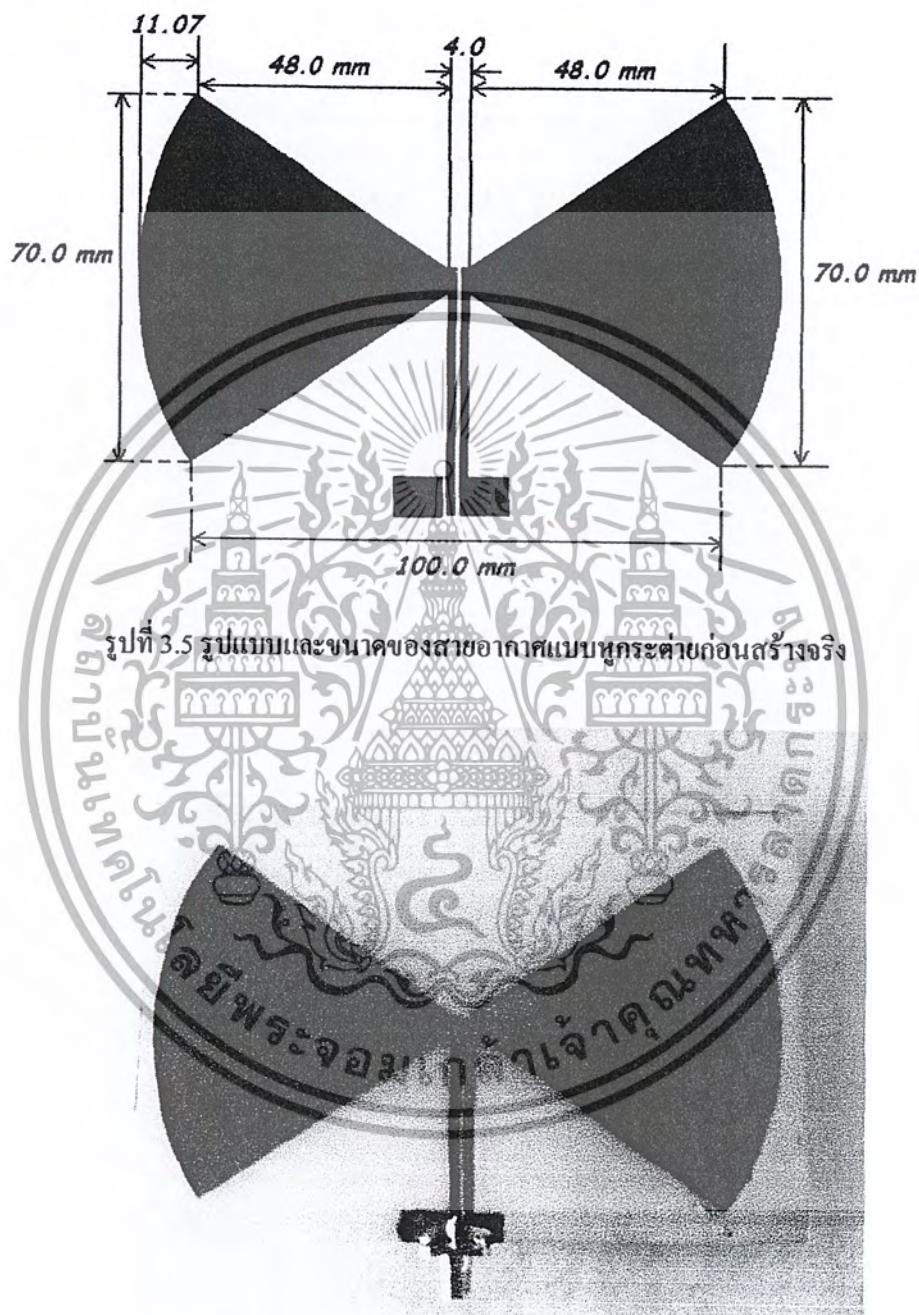
ผลจากการจำลองของ VSWR ในย่านความถี่ 3.1 กิโลเฮิร์ตซ์ – 10.6 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่ง
ค่าที่ได้จากการจำลองมีค่าต่ำกว่า 2 ตลอดย่านความถี่ที่เราต้องการ ดังรูปที่ 3.4



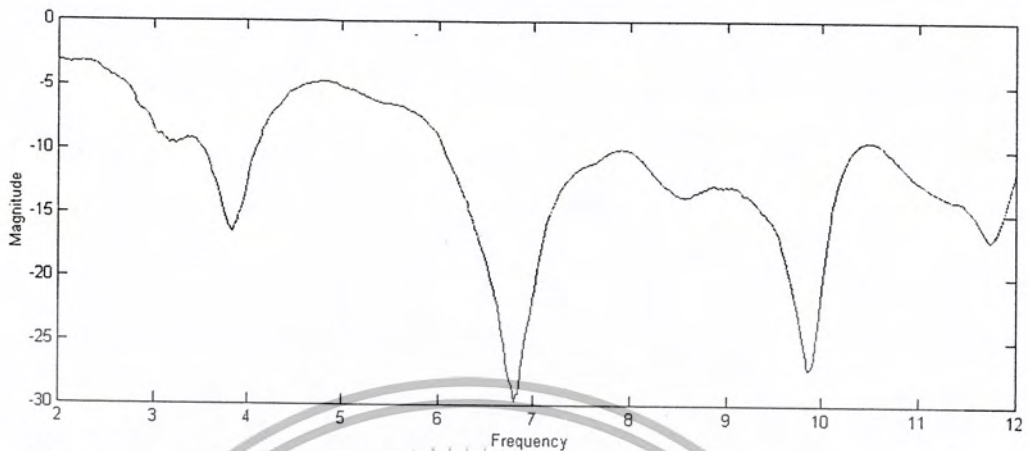
รูปที่ 3.4 ค่า VSWR จากการจำลองผ่านโปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010

เมื่อเราได้ค่าต่างๆตามที่เรากำลังต้องการแล้ว จึงนำรูปแบบและขนาดของสายอากาศจาก
โปรแกรม CST STUDIO SUITE 2010 นี้มาทำการสร้างสายอากาศขึ้นจริง ซึ่งขนาดของ

สายอากาศที่ได้เมื่อเรานำมาเขียนเป็นรูปใหม่แล้วมีขนาดดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 รูปสายอากาศหุกระด้าย



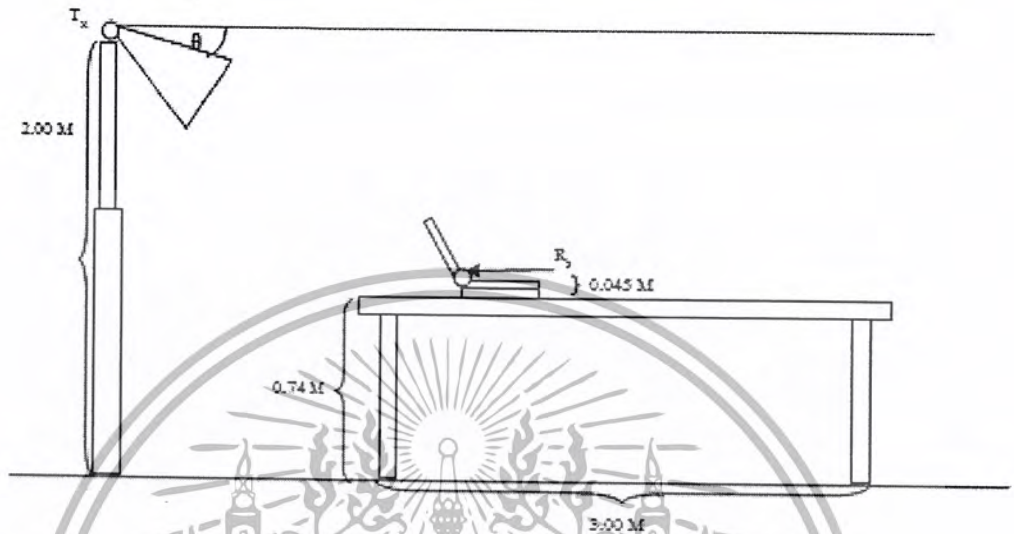
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (Hz) กับค่า S11 (dB) ที่ได้จากสายอากาศที่สร้างขึ้น

3.1.3 การออกแบบจำลองการวัด

ในการออกแบบจำลองการวัดนั้นได้ทำการวิเคราะห์ 2 รูปแบบ คือแบบที่ 1 วิเคราะห์การวัดในห้องโดยจัดวางตัวรับอยู่บนโต๊ะในลักษณะเรียงเป็นแถวลำดับ และในแบบจำลองที่ 2 วิเคราะห์ผล โดยวางตัวรับไว้ที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของโต๊ะและทำการหมุนตัวรับตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา ซึ่งแบบจำลองทั้งสอง ทำการวัดค่าการตอบสนองของสัญญาณในสภาพห้อง โดยกำหนดให้ทั้งสายอากาศที่ตัวส่ง มีความสูงจากพื้น 2.00 เมตร และสายอากาศตัวรับมีความสูงจากพื้น 0.74 เมตร โดยให้สายอากาศที่ตัวส่งและตัวรับนี้อยู่ห่างกันในระดับสายตา เป็นระยะทาง 4 เมตรและสายอากาศตัวส่งห่างจากกำแพงเป็นระยะ 1.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.8



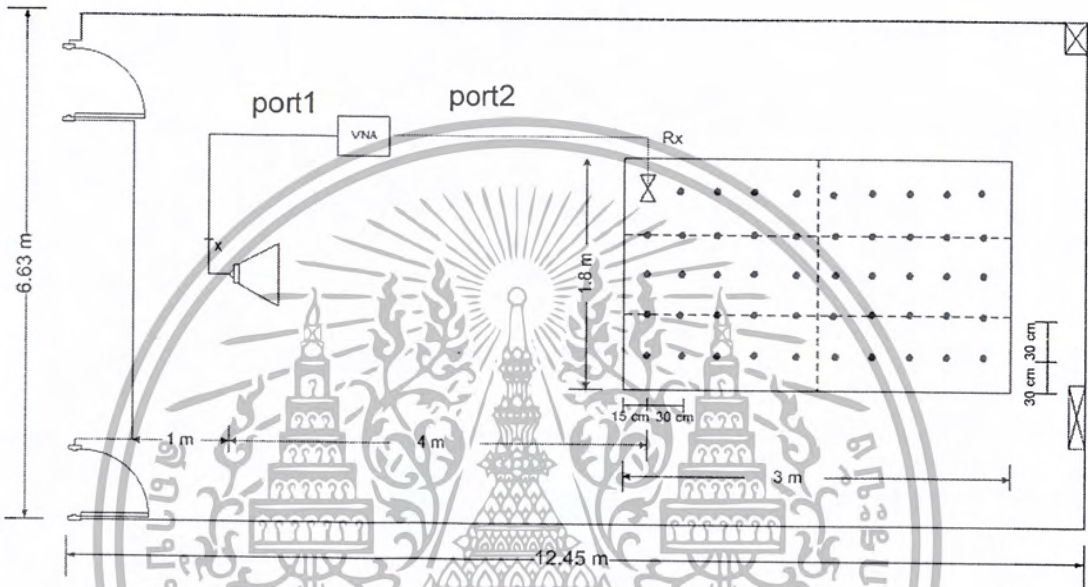
รูปที่ 3.8 การเตรียมอุปกรณ์ก่อนทำการหาค่าดัชนี

3.1.3.1 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 1

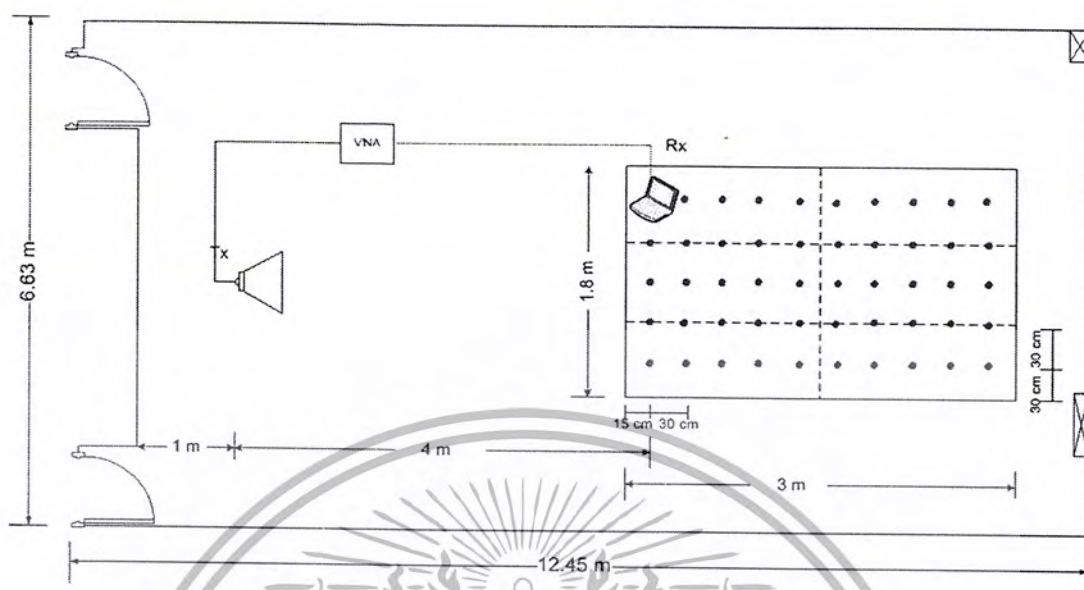
ในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องแบบที่ 1 นี้ใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการ โดยสายอากาศที่ใช้นั้นมีอยู่ 2 ชุดคือ สายอากาศทางด้านส่งและสายอากาศทางด้านรับ ซึ่งเป็นสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบปากแตร ทางด้านรับเป็นแบบหุกระต่ายที่มีการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวโดยสายอากาศส่งจะติดกับแผ่นที่อปคอมพิวเตอร် ในส่วนของสายอากาศที่ติดอยู่กับแผ่นที่อปคอมพิวเตอร်นั้นได้จัดวางในลักษณะเรียงเป็นแถวลำดับ ในการวัดจะทำการวัดทีละจุดโดยเลื่อนตัวรับไปเรื่อยๆจนครบ 50 จุด โดยที่มีความกว้าง 1.8 เมตร มีจุด 5 จุดโดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 30 เซนติเมตร และความยาว 3.0 เมตร มีจุด 10 จุด โดยจุดแรกและจุดสุดท้ายมีระยะห่างจากขอบโต๊ะ 15 เซนติเมตร ส่วนระยะห่างระหว่างจุดกับจุดเป็น 30 เซนติเมตร โดยได้ทำการทดลอง 2 แบบด้วยกัน คือ แยกแรกนั้น ทำการทดลองวัดค่าของสัญญาณระหว่างตัวรับและตัวส่งโดยปกติ ส่วนแบบที่สอง เป็นการวัดโดยมีการนำสายอากาศทางด้านรับ ติดตั้งไปกับชุดแผ่นที่อปคอมพิวเตอร် เพื่อต้องการทราบว่าในกรณีที่มีการนำสายอากาศชนิดแถบกว้างยิ่ง ไปประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุคที่ใช้จริงกับแลปที่อปคอมพิวเตอร์นั้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของสัญญาณในการรับ-ส่งมากน้อยเพียงใด ในรูปที่ 3.9 ภาพจำลองลักษณะห้องและแบบจำลองโดยปราศจากแลปที่อป ในรูปที่ 3.10 ภาพจำลองลักษณะห้องและแบบจำลองโดยมีแลปที่อปคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง



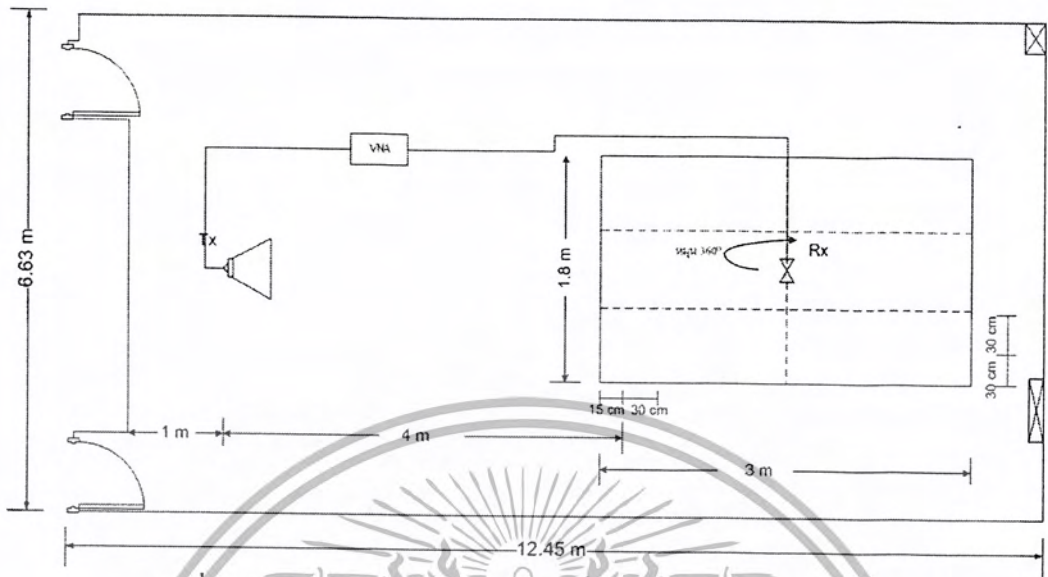
รูปที่ 3.9 แบบจำลองของการวัดแบบที่ 1 โดยปราศจากแลปที่อปคอมพิวเตอร์



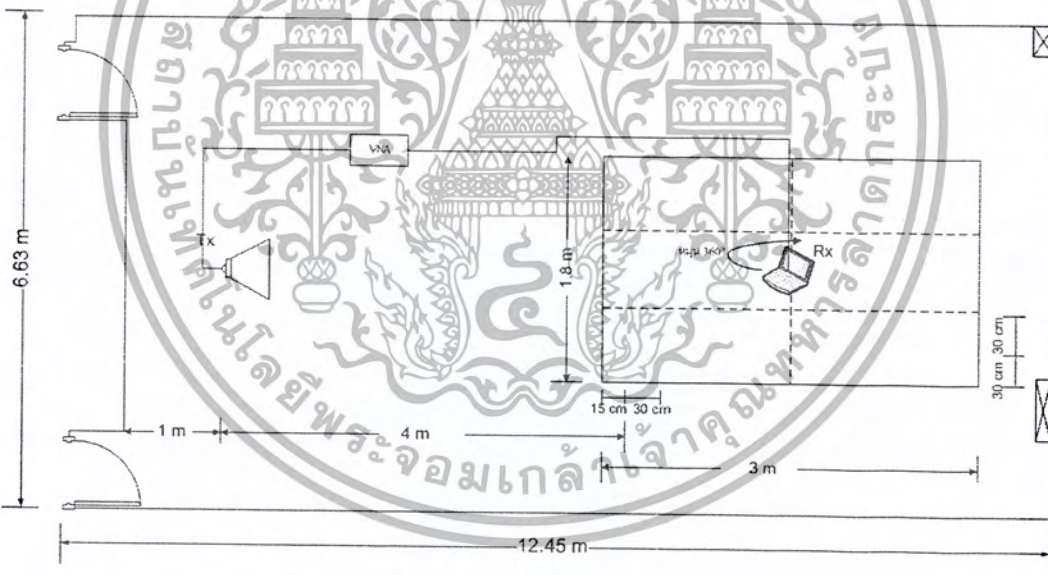
รูปที่ 3.10 แบบจำลองของการวัดแบบที่ 1 โดยมีแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง

3.1.3.2 รูปแบบจำลองการวัดแบบที่ 2

ในการวัดคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งภายในห้องแบบที่ 2 นี้ยังคงใช้เครื่องวิเคราะห์ห้วงรับแบบเวกเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการวัดและได้ทำการวัดในห้องปฏิบัติการเดียวกันแต่ตำแหน่งที่วางตัวรับจะวางไว้ที่กลางโต๊ะ วัดโดยทำการหมุนตัวรับตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยได้ทำการทดลอง 2 แบบเช่นเดียวกับการทดลองในแบบแรก คือ ทำการวัดทั้งในกรณีปกติ และกรณีที่นำสายอากาศทางด้านรับไปติดตั้งกับชุดแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ และวัดหาค่าประสิทธิภาพในการรับ-ส่งของสัญญาณ ในรูปที่ 3.11 ภาพจำลองลักษณะห้องและแบบจำลองโดยปราศจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ในรูปที่ 3.12 ภาพจำลองลักษณะห้องและแบบจำลองโดยมีแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง และรูปที่ 3.13 ภาพพื้นที่สำหรับการวัดช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.11 แบบจำลองของการวัดแบบที่ 2 โดยปราศจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.12 แบบจำลองของการวัดแบบที่ 2 โดยมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เข้ากับสายอากาศทางด้านส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

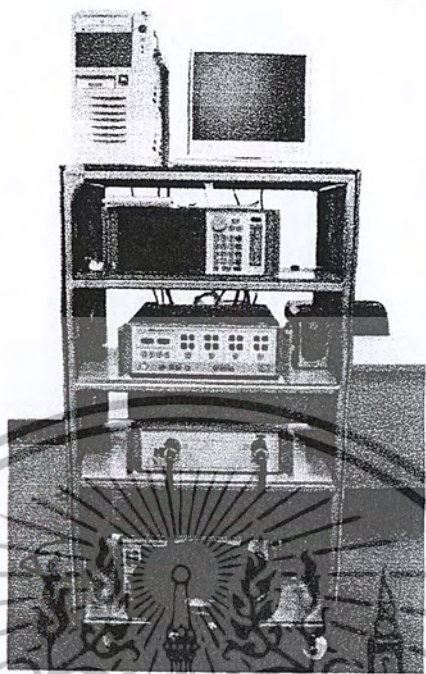


รูปที่ 3.13 พื้นที่สำหรับการวัดช่องสัญญาณ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

เครื่องมือสำคัญที่ใช้วัดคุณสมบัติช่องสัญญาณคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยทำการวัดหาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของช่องสัญญาณ (Transmission coefficient) หรือพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ และในการวิเคราะห์จะพิจารณาเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ รูปที่ 3.14 แสดงอุปกรณ์ VNA ที่ใช้ในการวัด โดยได้กำหนดทำการวัดในช่วงความถี่ 3 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 11 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งครอบคลุมแถบความถี่ของสัญญาณ UWB ทั้งหมด ใช้จุดความถี่ 801 จุด ใช้สายอากาศแบบปากแตรเป็นสายอากาศในการส่ง และสายอากาศแบบหูกกระด้างเป็นสายอากาศในการรับ โดยที่มีความสูงของสายอากาศเป็น 1 เมตร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.14 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้การทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ทดสอบ
ช่วงความถี่	3 กิกะเฮิรตซ์ – 11 กิกะเฮิรตซ์
จำนวนจุดของความถี่	801
ชนิดสายอากาศด้านส่ง	สายอากาศสปาดแร
ชนิดสายอากาศด้านรับ	สายอากาศแบบหุกระต่าย
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	2.00 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	0.74 เมตร
ระยะห่างแต่ละจุดความถี่	0.30 เมตร
จำนวนจุดที่ใช้ในการวัด	50 จุด

3.2.2 สายอากาศแบบหุกระต่าย

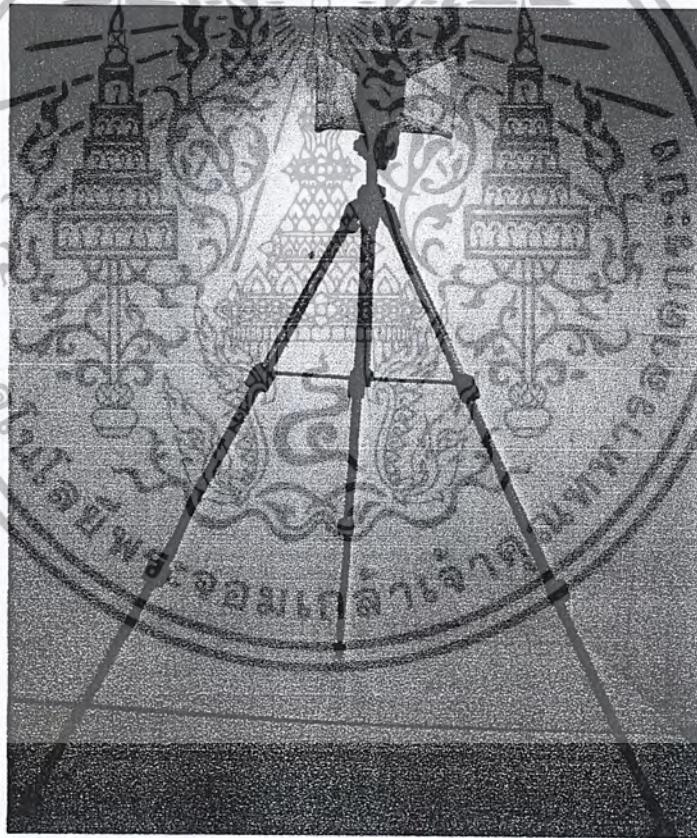
สายอากาศแบบหุกระต่ายที่ใช้วัดแสดงไว้ในรูปที่ 3.15 ซึ่งจะความยาวทั้งหมด 132 มิลลิเมตร และความกว้าง 93 มิลลิเมตร สายอากาศแบบหุกระต่ายเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นแบบรอบตัว มีช่วงความถี่การแผ่กระจายที่กว้างครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้วัด ลักษณะของเฟสมีความเป็นเชิงเส้นที่มาก ในการพิจารณาสายอากาศแบบหุกระต่ายนี้ได้พิจารณาจากการกระจายของสายอากาศซึ่งมีความเหมาะสมกับรูปคลื่นสัญญาณแบบพัลส์ โดยที่หุกระต่ายข้างซ้ายของใช้ติดต่อกับสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุขณะที่หุกระต่ายข้างขวาใช้ติดต่อกับกราวด์ จึงเหมาะสำหรับการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 3.15 ขนาดและรูปทรงของสายอากาศแบบหุกระต่าย

3.2.3 สายอากาศแบบปากแตร

สายอากาศแบบปากแตรที่ใช้วัดแสดงไว้ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งเป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีกำลังการขยายสูงประกอบด้วยท่อนำคลื่นตอนปลายเปิดกว้างออกมากกว่าปกติ การที่จะทำให้อัตราขยายสูงนั้น ทำโดยการเพิ่มงานสะท้อนคลื่นแบบพาลาโบลาเข้าไปด้วย ในการใช้สายอากาศแบบปากแตรนี้ต้องใช้ร่วมกับงานสะท้อนคลื่นแบบพาลาโบลา ที่เรียกว่า ตัวสะท้อนคลื่นพาลาโบลา และตำแหน่งของปากแตร ต้องวางในตำแหน่งโฟกัสของตัวสะท้อนคลื่น เพราะเป็นตำแหน่งรวมคลื่นทั้งหมด

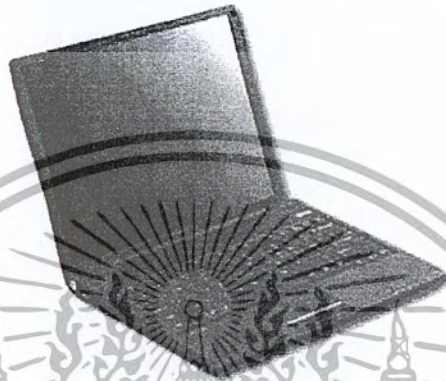


รูปที่ 3.16 สายอากาศแบบปากแตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 แลปท็อปคอมพิวเตอร์

แลปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้เพื่อดูผลกระทบเมื่อนำสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งมาประยุกต์ใช้จริงกับแลปท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.17 แลปท็อปคอมพิวเตอร์

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

- 1) ขั้นตอนแรกทำการทดลองตามแบบจำลองในแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรมแมทแลป (Matlab) การเก็บผลการทดลอง แล้วเก็บค่าผลการทดลองที่ได้โดยแยกตามแบบจำลองไว้
- 2) นำผลการทดลองได้มาเปลี่ยนนามสกุลของไฟล์จาก .bin เป็น .txt เนื่องจากนามสกุล .bin ไม่สามารถนำมาประมวลผลในโปรแกรมแมทแลปได้
- 3) นำไฟล์ที่มีนามสกุล .txt มารันใน โปรแกรมแมทแลปเพื่อดูกราฟแสดงประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของการรับ-ส่งสัญญาณ
- 4) เปรียบเทียบกราฟของแบบจำลองแต่ละแบบว่ามีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณอย่างไร แตกต่างกันอย่างไรบ้าง

บทที่ 4

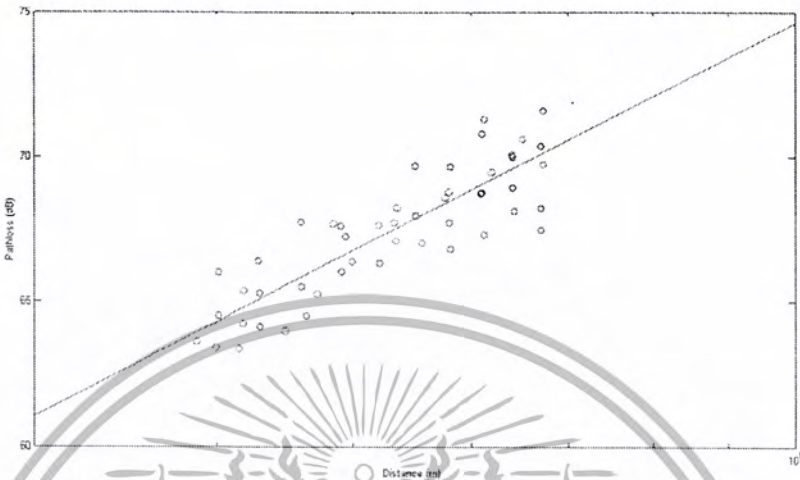
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมแบบจำลองทั้ง 2 แบบ ที่เราได้ออกแบบขึ้น โดยแสดงในพารามิเตอร์ คือ ค่าการสูญเสียเชิงวิถีเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชัน ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ ค่าการประวิงเวลา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยมีการจัดวางสายอากาศทางด้านรับในลักษณะเป็นแถวลำดับในรูปแบบจำลองที่ 1 และการจัดวางแบบ 360 องศาของสายอากาศทางด้านรับ ในรูปแบบจำลองที่ 2

4.1 ผลการทดลองการวัดแบบจำลองแบบที่ 1

ลักษณะการวัดในแบบที่ 1 นี้ได้ทำการวัดผลการทดลองในห้องภายในอาคารโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบหูกระด่ายและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบปากแตร ซึ่งลักษณะตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับวางในลักษณะแถวลำดับ โดยทำการวัดค่าของสัญญาณเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกรณีที่มีไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ กับกรณีมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

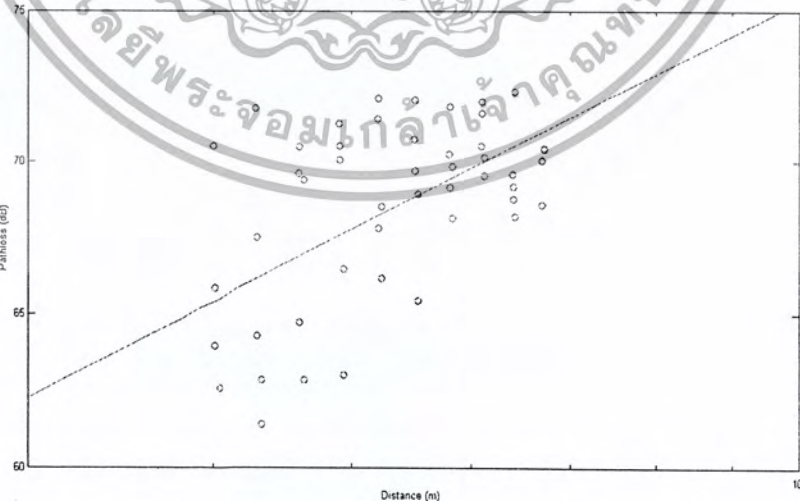
4.1.1 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่ไม่มีแลบที่อป



รูปที่ 4.1 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่ไม่มีแลบที่อป

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่ไม่มีแลบที่อป เห็นได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิถีมีค่าที่ค่อนข้างเกาะกลุ่มกันและอยู่ใกล้กับแบบจำลองรีเกรสชัน จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการสูญเสียเชิงวิถีได้เท่ากับ 67.4452

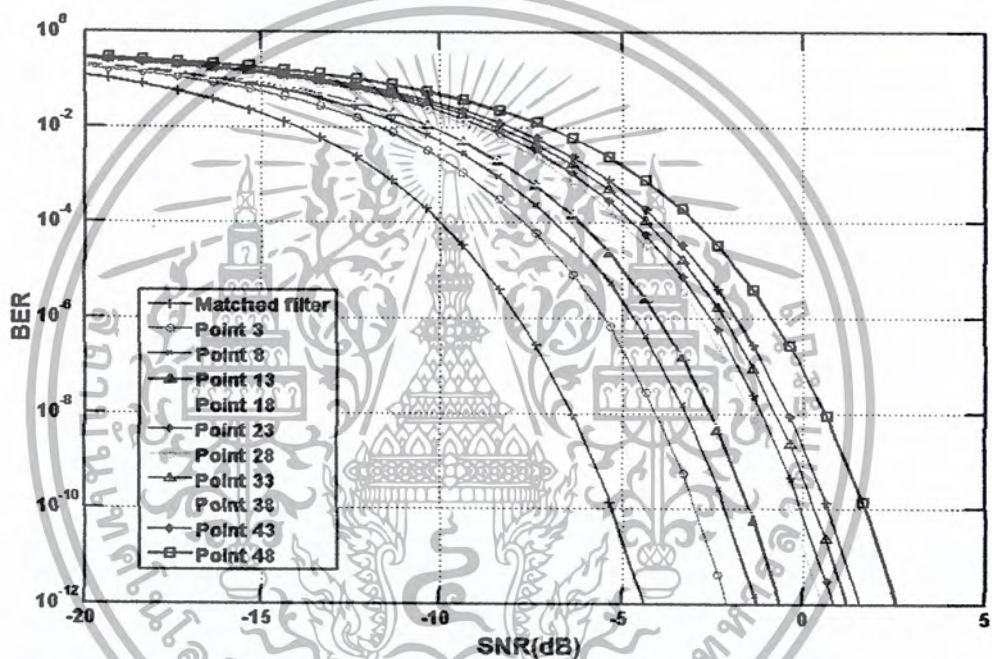
1.2 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่มีแลบที่อป



รูปที่ 4.2 การสูญเสียเชิงวิถีเปรียบกับแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่มีแลบที่อป

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิบัติโดยเปรียบเทียบแบบจำลองรีเกรสชันในกรณีที่มีแลปที่ท็อป เห็นได้ว่าค่าการสูญเสียเชิงวิบัติมีค่าที่ค่อนข้างกระจายตัวกันและออกห่างจากแบบจำลองรีเกรสชัน จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการสูญเสียเชิงวิบัติได้เท่ากับ 67.4452 แสดงการสูญเสียเชิงวิบัติ ของแต่ละตำแหน่งที่ได้แสดงไว้ในรูป โดยทำการเทียบกับระยะทางระหว่างสายอากาศส่ง ถึงแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัด โดยเปรียบเทียบแบบจำลองรีเกรสชัน

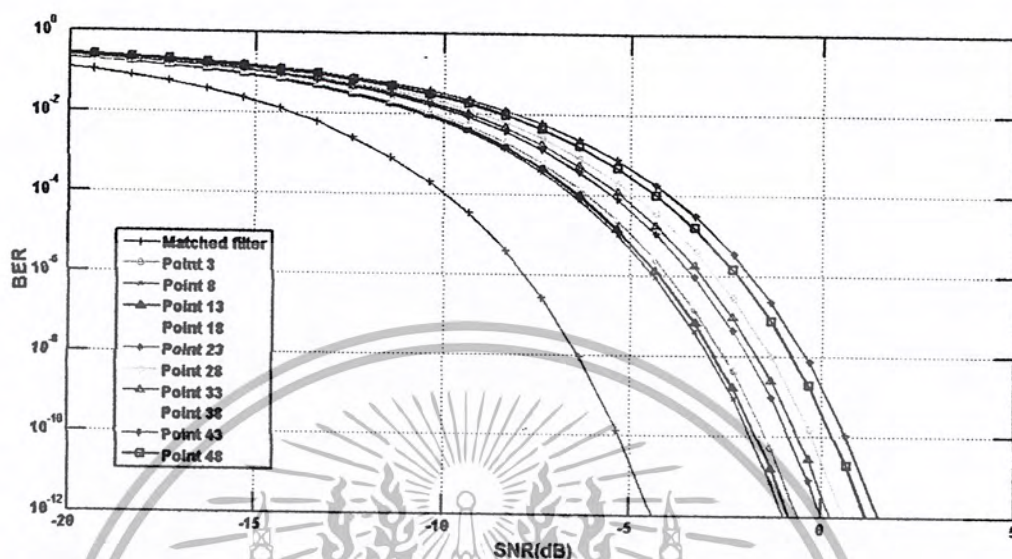
4.1.3 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร



รูปที่ 4.3 อัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแถวกรณี ไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแถวกรณีไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร พบว่าค่าอัตราการสูญเสียบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแถวโดยส่วนใหญ่จะยังระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านรับกับสายอากาศทางด้านส่งมีมากขึ้น ค่าอัตราการสูญเสียบิตก็จะเพิ่มมากขึ้น แปรผันตรงตามระยะทาง แต่มีบางจุดที่มีลักษณะไม่เป็นเช่นนั้น อาจเกิดจากองค์ประกอบภายนอกต่างๆ ที่มารบกวน อาทิเช่น การสะท้อนของคลื่นกับพื้นผิวโลหะ เป็นต้น

4.1.4 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีมีแลปที่อปคอมพิวเตอรื

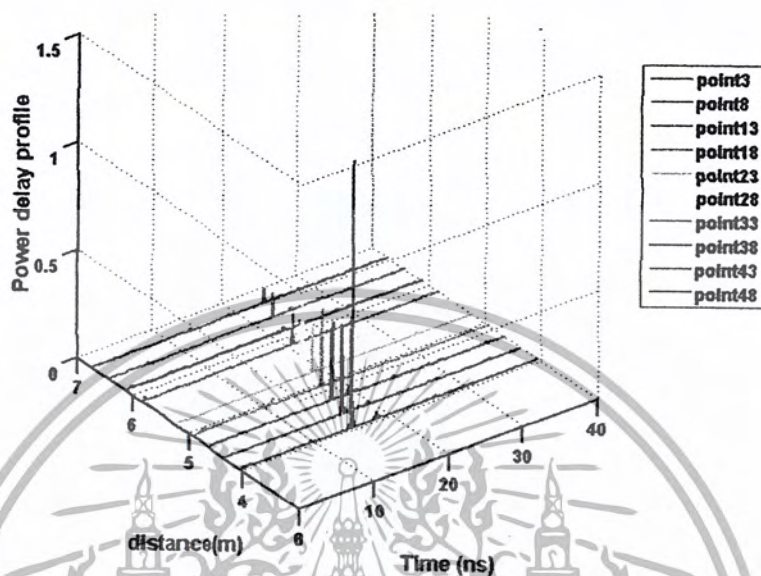


รูปที่ 4.4 อัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแลนกรณีมีแลปที่อปคอมพิวเตอรื

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแลนกรณีไม่มีแลปที่อปคอมพิวเตอรื พบว่าค่าอัตราความผิดพลาดบิตของจุดกึ่งกลางในแต่ละแลนโดยส่วนใหญ่จะยิ่งระยะทางระหว่างสายอากาศทางด้านรับกับสายอากาศทางด้านส่งมีมากขึ้น ค่าอัตราความผิดพลาดบิตก็จะเพิ่มมากขึ้น แปรผันตรงตามระยะทาง แต่มีบางจุดที่มีลักษณะไม่เป็นเช่นนั้น อาจเกิดจากองค์ประกอบภายนอกต่างๆ ที่มารบกวน อาทิเช่น การสะท้อนของคลื่นกับพื้นผิวโลหะ เป็นต้น

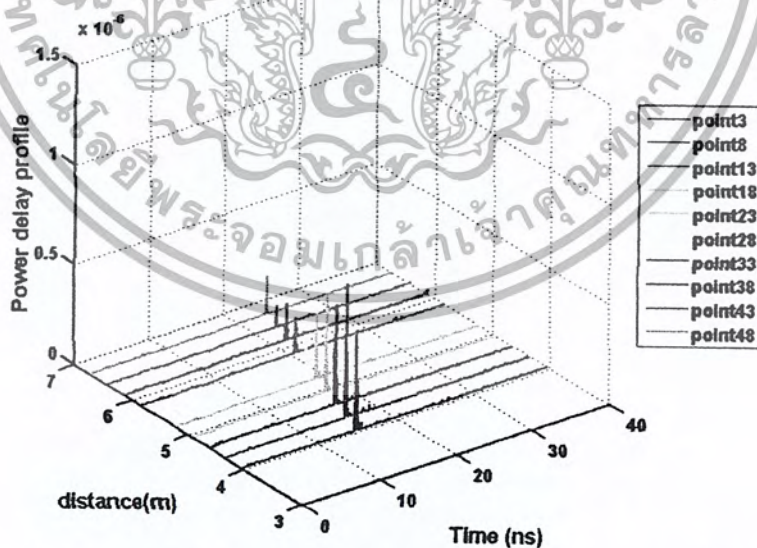
ส่วนในข้อแตกต่างระหว่างกรณีที่มีแลปที่อป กับ ไม่มีแลปที่อปนั้น เห็นได้จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 คือ กรณีที่ไม่มีแลปที่อป จะมีค่าของอัตราความผิดพลาดบิต ที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง ซึ่งคือค่าเมทริกซ์ฟิลเตอร์มากกว่ากรณีที่มีแลปที่อปนั่นเอง

4.1.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในกรณีไม่มีแลปที่อป



รูปที่ 4.5 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานกรณีไม่มีแลปที่อปแบบสามมิติ

4.1.6 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานในกรณีมีแลปที่อป



รูปที่ 4.6 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานกรณีมีแลปที่อปแบบสามมิติ

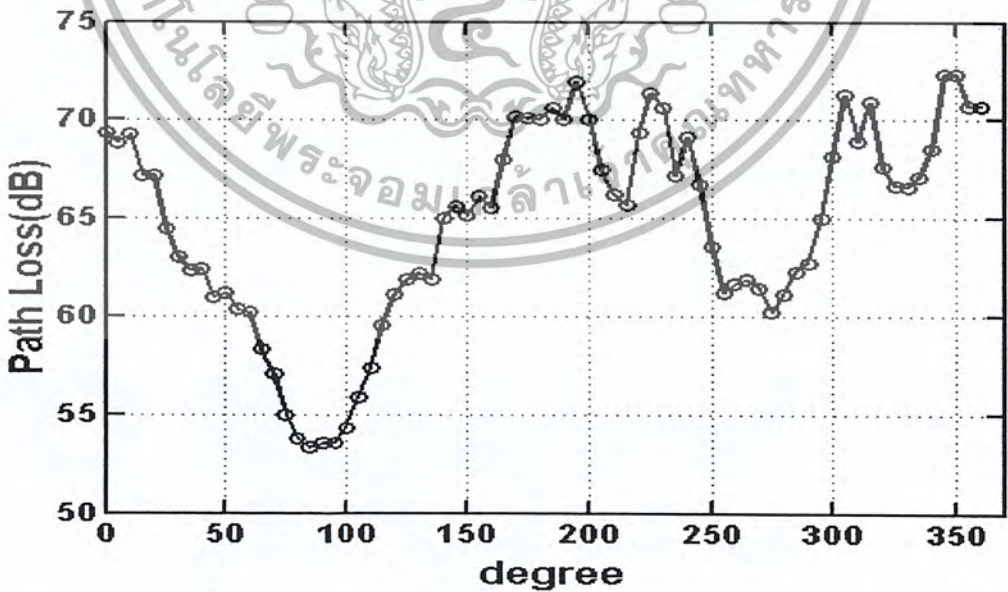
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงานแบบสามมิติในกรณีที่มีแลปที่ท็อป และไม่มีแลปที่ท็อป ซึ่งทั้งสองรูปจะบอกถึงกำลังงานในจุดกึ่งกลางของแต่ละแถวทั้ง 10 แถว ช่วงเวลาในการเดินทางของคลื่นจากตัวส่งไปยังตัวรับ รวมทั้งระยะทางระหว่างสายอากาศตัวส่งและตัวรับด้วย

4.2 ผลการทดลองการวัดแบบจำลองแบบที่ 2

ลักษณะการวัดในแบบที่ 2 นี้ได้ทำการวัดผลการทดลองในห้องภายในอาคารโดยกำหนดให้สายอากาศทางด้านรับเป็นแบบหุกระด้ายและสายอากาศทางด้านส่งเป็นแบบปากแตร เช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 1 ซึ่งมีลักษณะตำแหน่งของสายอากาศทางด้านรับวางในบริเวณกลางโต๊ะ ทำการวัดโดยทำการหมุนตัวรับตั้งแต่มุม 0 องศา ถึง 360 องศา โดยนำค่าของสัญญาณเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในกรณีไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร์กับกรณีมีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร์ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในลักษณะต่างๆ ดังนี้

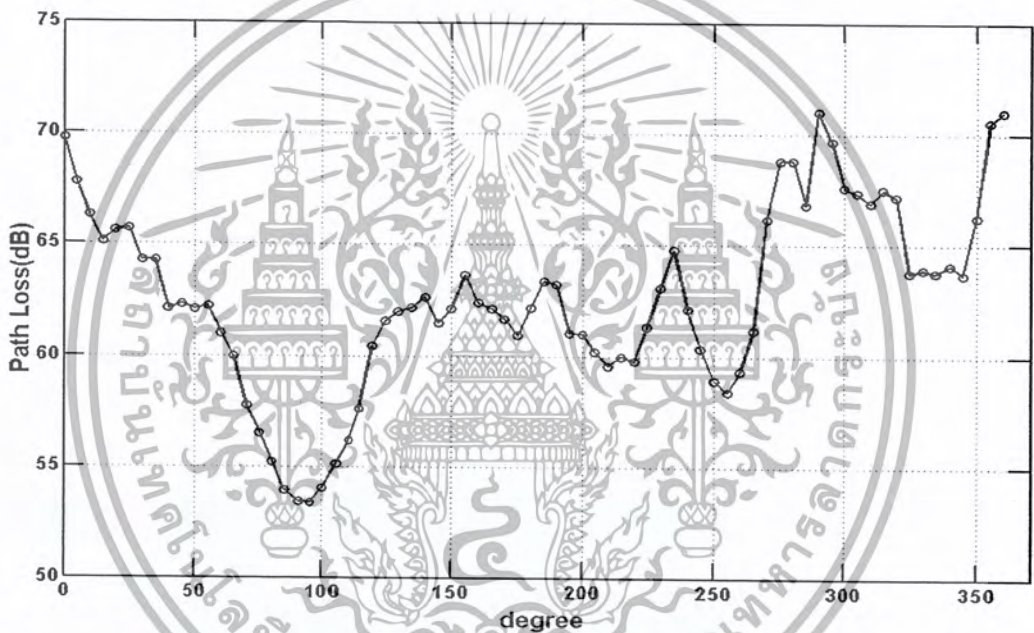
4.2.1 การสูญเสียเชิงวิถีในกรณีไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.7 การสูญเสียเชิงวิถีในกรณีไม่มีแลปที่ท็อปคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ พบว่าเมื่อสายอากาศทางด้านรับทำมุม 90° และ 270° จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำกว่าในช่วงองศาอื่นๆ เนื่องจากในมุมดังกล่าวสายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่นเข้าหาสายอากาศทางด้านส่ง จากนั้นนำค่าการสูญเสียเชิงวิถีในองศาต่างๆ แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเชิงวิถีแบบ 360 องศาในกรณีที่ไม่มีแลปท็อปเท่ากับ 62.5962

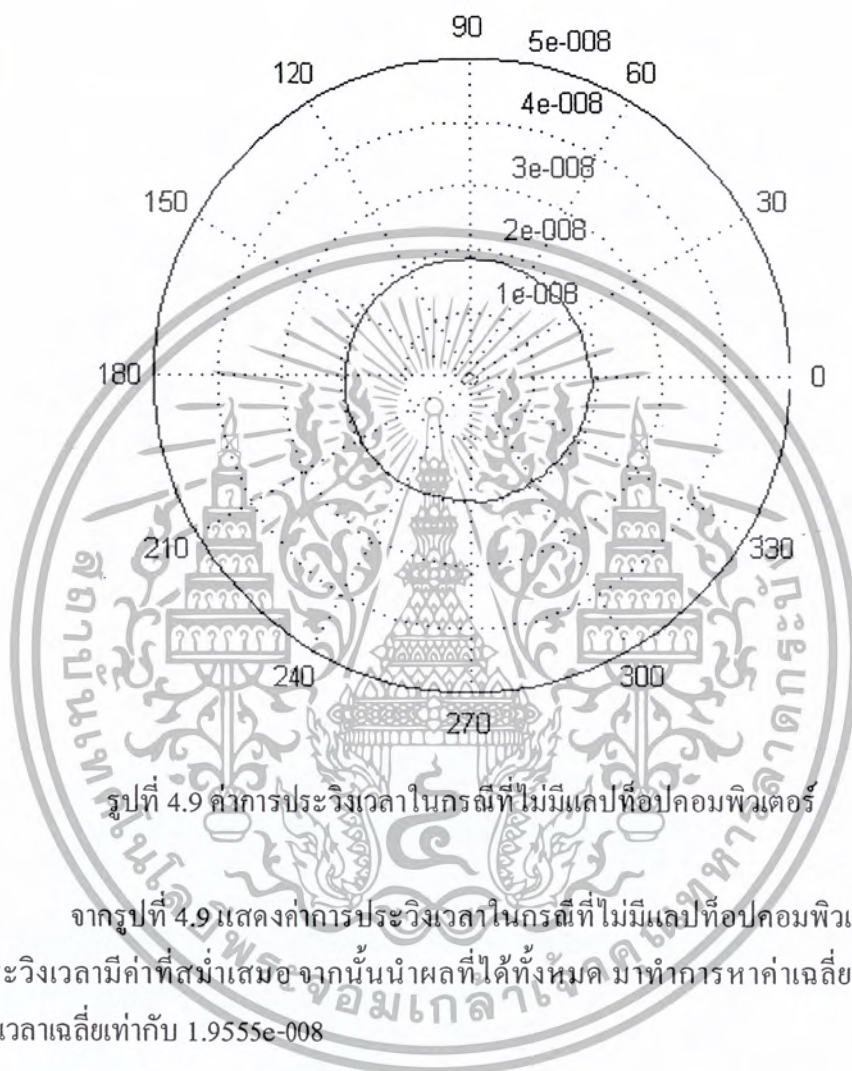
4.2.2 การสูญเสียเชิงวิถีแบบ 360 องศาในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.8 การสูญเสียเชิงวิถีแบบ 360 องศาในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์

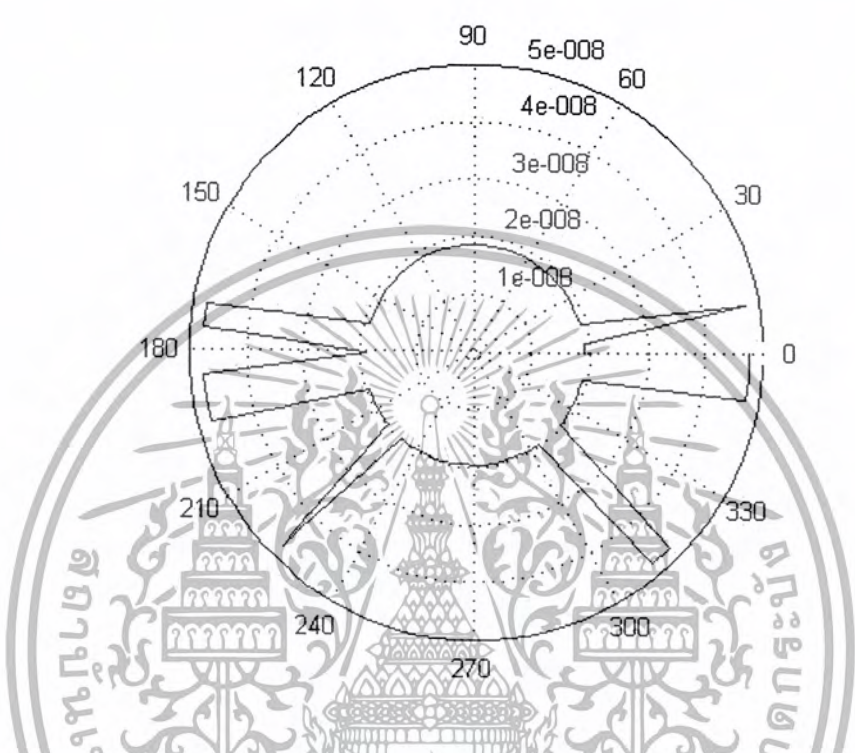
จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าการสูญเสียเชิงวิถีในกรณีมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ พบว่าเมื่อสายอากาศทางด้านรับทำมุม 90° และ 270° จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่ต่ำกว่าในช่วงองศาอื่นๆ เนื่องจากในมุมดังกล่าวสายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่นเข้าหาสายอากาศทางด้านส่ง จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดในองศาต่างๆ มาทำการหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าเฉลี่ยของการสูญเสียเชิงวิถีแบบ 360 องศา ในกรณีที่มีแลปท็อปเท่ากับ 64.6614

4.2.3 ค่าการประวิงเวลาในกรณีที่ไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

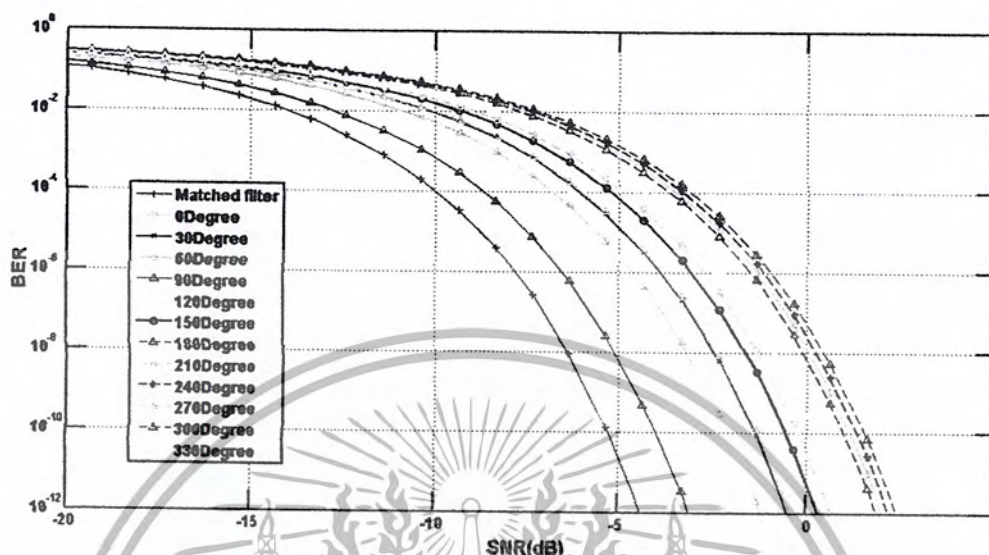
4.2.4 ค่าการประวิงเวลาในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.10 ค่าการประวิงเวลาในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่าการประวิงเวลาในกรณีที่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์ พบว่าค่าการประวิงเวลามีค่าไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์รับสัญญาณในองศาต่างๆ โดยมุม 0° และ 180° จะมีค่าการประวิงเวลามากกว่ามุมอื่น เนื่องจากในมุมดังกล่าวเป็นมุมที่สายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีรับสัญญาณจากสายอากาศทางด้านส่งได้ไม่ดีและถูกรบกวนจากแลปท็อปคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าการประวิงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 2.3790e-008

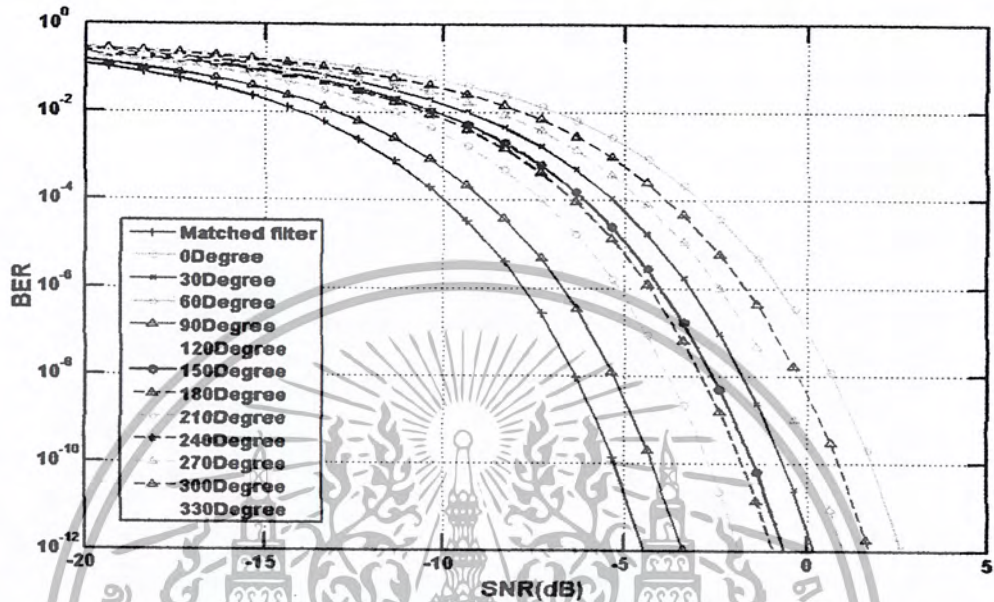
4.2.5 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีไม่มีแล็ปท็อพคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.11 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีไม่มีแล็ปท็อพคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตในกรณีไม่มีแล็ปท็อพคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้ว่าที่มุม 0° และ 180° ซึ่งสายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางตั้งฉากกับสายอากาศทางด้านส่ง จึงทำให้มีค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่มากที่สุด สังเกตจาก กราฟคือจะห่างจากเส้นอ้างอิงหรือเมทริกซ์ฟิลเตอร์ แต่ในมุมที่ 90° และ 270° สายอากาศทาง ด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่นเข้าหา สายอากาศทางด้านส่งทำให้มีอัตราความ ผิดพลาดบิตที่ต่ำ เพราะสามารถรับส่งสัญญาณได้ดี จะเห็นได้จากกราฟว่ามีค่าเข้าใกล้กับเส้น อ้างอิงหรือเมทริกซ์ฟิลเตอร์นั่นเอง

4.2.6 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีมีແປที่อปคอมพิวเตอร



รูปที่ 4.12 อัตราความผิดพลาดบิตในกรณีมีແປที่อปคอมพิวเตอร

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตในกรณีมีແປที่อปคอมพิวเตอร จะเห็นได้ว่าที่มุม 0° และ 180° ซึ่งสายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางตั้งฉากกับสายอากาศทางด้านส่ง จึงทำให้มีค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่มาก สังเกตจากกราฟคือจะห่างจากเส้นอ้างอิงหรือแมทซ์ฟิลเตอร์ แต่ในมุมที่ 90° และ 270° สายอากาศทางด้านรับจะวางตัวในแนวที่มีการแพร่กระจายคลื่นเข้าหา สายอากาศทางด้านส่งทำให้มีอัตราความผิดพลาดบิตที่ต่ำ เพราะสามารถรับส่งสัญญาณได้ดี จะเห็นได้จากกราฟว่ามีค่าเข้าใกล้กับเส้นอ้างอิงหรือแมทซ์ฟิลเตอร์นั่นเอง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงคุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้าง ยิ่ง ร่วมกับผลกระทบต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของสายอากาศ โดยอาศัยการตรวจสอบบนพื้นฐานการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ห้วงจรข่ายแบบเวกเตอร์ ซึ่งได้จำลองการวัดที่มีลักษณะต่างๆ กัน 2 แบบหลักๆ คือ ในแบบแรกนั้น เราทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากระยะทางของสายอากาศส่งและสายอากาศรับ และผลกระทบจากการนำสายอากาศทางด้านรับไปประยุกต์ใช้ โดยการนำไปติดตั้งกับเลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยการจำลองในลักษณะเป็นแถวลำดับ ส่วนในแบบที่สอง เราทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการหมุนเปลี่ยนองศาของสายอากาศตัวรับ ทั้งในกรณีปกติ และกรณีติดตั้งสายอากาศรับกับเลปท็อปคอมพิวเตอร์ โดยในการทดลองทั้งสองแบบนี้ เราได้เลือกใช้สายอากาศ 2 ชนิดในการวิเคราะห์คือ ใช้สายอากาศแบบปากแตรเป็นสายอากาศทางด้านส่ง และใช้สายอากาศแบบหุกระด้ายเป็นสายอากาศทางด้านรับ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองในการวัดตามแบบจำลองที่ 1 แบบแถวลำดับ จะเห็นว่าในกรณีที่เรานำสายอากาศทางด้านรับไปติดตั้งกับเครื่องเลปท็อปคอมพิวเตอร์นั้น มีผลกระทบต่อค่าการสูญเสียเชิงวิติ คือ กรณีที่ไม่มีเลปท็อปคอมพิวเตอร์มารบกวนสัญญาณ จะเห็นว่าค่าการสูญเสียเชิงวิติ จะอยู่ใกล้กับเส้นสมการรีเกรสชันมากกว่ากรณีที่มีเลปท็อปคอมพิวเตอร์และมีค่าเฉลี่ยของค่าการสูญเสียเชิงวิติที่ต่ำกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่ากรณีที่ไม่มีเลปท็อปคอมพิวเตอร์มารบกวนนั้น จะมีประสิทธิภาพในการรับ-ส่งสัญญาณที่ดีกว่านั่นเอง สำหรับค่าของอัตราความผิดพลาดบิตนั้น จะแปรผันไปตามระยะทางที่เปลี่ยนไป คือเมื่อมีระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและอากาศส่งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้อัตราความผิดพลาดบิตเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยความแตกต่างของอัตราความผิดพลาดบิตระหว่างกรณีที่ไม่มีเลปท็อป และไม่มีเลปท็อปนั้นก็คือ กรณีที่ไม่มีเลปท็อปมารบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนั้น อัตราความผิดพลาดบิตจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงหรือแมทซ์ฟิลเตอร์ มากกว่าในกรณีที่มีแลปท็อป

ส่วนในแบบจำลองที่ 2 แบบหมุนตัวรับตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา พบว่าค่าเฉลี่ยการสูญเสียเชิงวิธีแบบ 360 องศากรณีไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์เท่ากับ 62.5962 และกรณีมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์เท่ากับ 64.6614 จะเห็นว่าเมื่อมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์มารบกวนสัญญาณจะทำให้เกิดค่าสูญเสียเชิงวิธีที่มากกว่า ส่วนค่าเฉลี่ยการประวิงเวลากรณีที่ไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์เท่ากับ $1.9555e-008$ และสำหรับกรณีมีแลปท็อปคอมพิวเตอร์เท่ากับ $2.3790e-008$ และเมื่อดูจากรูปพบว่าค่าการประวิงเวลากรณีที่ไม่มีแลปท็อปคอมพิวเตอร์จะมีค่าของการประวิงเวลามีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากไม่มีวัตถุใดมารบกวนสัญญาณ ต่างจากกรณีที่มีแลปท็อป จะมีค่าที่ไม่สม่ำเสมอ สำหรับอัตราความผิดพลาดบิตนั้น ทั้งในกรณีที่มีแลปท็อปและไม่มีแลปท็อป จะสังเกตได้เหมือนกันว่า เมื่อสายอากาศรับ หมุนไปในองศาต่างๆ จะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่เปลี่ยนไป โดยในองศาที่สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ดี ก็จะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ต่ำ ส่วนในมุมมองที่สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ไม่ดีนัก ก็จะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่สูงนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำทดลองจะต้องทำการทดลองให้เสร็จภายในครั้งเดียว ไม่สามารถแบ่งการทดลองภายในแบบจำลองเดียวกันเพื่อทำการทดลองแยกกัน ได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในห้องมีผลทำให้การทดลองเกิดค่าผิดพลาดได้ หากอุณหภูมิภายในห้องเปลี่ยนแปลงตลอดจนประชากรที่อยู่ภายในห้องเพิ่มขึ้นหรือลดลง หรือแม้แต่มีสิ่งรบกวนต่างๆ

การสร้างสายอากาศนั้นพบว่ามีการทำได้ยากเนื่องจากชิ้นงานมีความละเอียดอ่อน มีความผิดพลาดในหน่วยมิลลิเมตร รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ วัสดุที่ใช้หากคนละชนิดผลที่ได้ก็จะเกิดความผิดพลาด การเก็บรักษาต้องระวังห้ามไม่ให้เกิดสนิม

บรรณานุกรม

- [1] Sathaporn Promwong, Jun-ichi Takada, Gilbert S. Ching, and Wataru Hachitani, "Evaluation Scheme of Ultra Wideband Antenna for Personal Area Network," International Conference on Electrical/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-con 2010), 2010.
- [2] ภาณุพงศ์ ศิริพร ณ ราชสีมา, "คุณลักษณะของช่องสัญญาณวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งร่วมกับผลกระทบจากแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ (Characteristics of UWB Radio Channel with the Laptop Computer)," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 2549.
- [3] I.Oppermann, M. Hamalainen and J. Linatti, "*UWB Theory and Applications*," John Wiley and sons, 2004.
- [4] ศิวีไล อนุอมสวย, วรพงษ์ รัตนโกภา, "การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สัญญาณอิมพัลส์ของระบบการสื่อสารไร้สายอัลตราไวด์แบนด์ในเชิงเวลาและเชิงความถี่ (Mathematics Analysis Impulse Signal of Ultra Wideband Wireless Communication System in Time and Frequency Domain)," รายงานการวิจัย, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2550.