

การหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง
INDOOR POSITIONING OF HUMAN IN ULTRA WIDEBAND SIGNAL

โดย

นายภาณุพงศ์ พวงนาค

นายจिरายุทธ ธรรมแสง

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง
INDOOR POSITIONING OF HUMAN IN ULTRA WIDEBAND SIGNAL

โดย

นายภาณุพงศ์ พวงนาค
นายจิรายุทธ ธรรมแสง

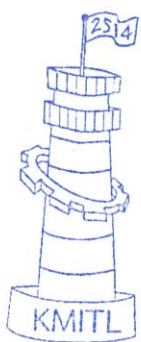
51010988
54010223

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สถาพร พรหมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

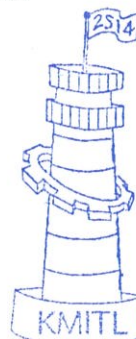
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557



ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(*Signature*)
.....
อาจารย์ที่ปรึกษา
6/5/58

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(*Signature*)
.....
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน
12/5/58

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

INDOOR POSITIONING OF HUMAN IN ULTRA WIDEBAND SIGNAL

ผู้จัดทำ

1. นายภาณุพงศ์ พวงนาค 51010988
2. นายจิรายุทธ ธรรมแสง 54010223



(ดร.สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีที่เป็นประโยชน์จาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ และ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการนี้ ที่คอยให้การอบรมชี้นำความรู้ต่างๆ ในการทำโครงการนี้ ต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับพวกข้าพเจ้า ตลอดจนรุ่นพี่ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของพวกข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และมอบความรัก ความห่วงใยให้กับพวกข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายขอคุณค่าและประโยชน์ความดีอันพึงมีจากโครงการนี้ ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และถ้าหากมีข้อผิดพลาดประการใดพวกข้าพเจ้าจะขอน้อมรับไว้ อีกทั้งยังหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้จะ เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจในด้านสายอากาศต่อไป

ภาณุพงศ์ พวงนาค
จิรายุทธ ธรรมแสง
ผู้จัดทำ

การหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแบบ
แถบกว้างยิ่ง

INDOOR POSITIONING OF HUMAN IN ULTRA
WIDEBAND SIGNAL

โดย นายภาณุพงศ์ พวงนาค 51010988
นายจิรายุทธ ธรรมแสง 54010223

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สถาพร พรหมวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะทำการศึกษาการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ในสถานะที่มองเห็นได้ในระดับสายตา โดยทำการออกแบบและจำลองวัดช่องสัญญาณของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง ซึ่งพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ และการประวิงเวลาของสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์การสูญเสียเชิงวิถี ขนาดและเฟสของสัญญาณ และวิเคราะห์ตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร ทำการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ ที่ช่วงความถี่ 3 GHz ถึง 11 GHz

ABSTRACT

This project studies on indoor positioning of human in ultra wideband signal. The broader conditions are implemented at line of sight. Designs and models to measuring the channel of ultra wideband signal which consider the received signal strength, delay time. For analyzed path loss, amplitude and phase of signal, and to identify human positioning in an indoor environment. This experiment uses vector network analyzer in frequency range from 3 GHz to 11 GHz.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1	บทนำ
	เลขหน้า
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1
1.2	วัตถุประสงค์
	2
1.3	ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
	2
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
	เลขหน้า
2.1	เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง
	3
2.2	การทำงานของสายอากาศ
	13
2.3	คุณลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของสายอากาศ
	14
2.4	ทฤษฎีสายอากาศแบบกรวยคู่ (BICONICAL ANTENNA)
	19
2.5	ทฤษฎีสายอากาศแบบไมโครสตริบ (MICROSTRIP ANTENNA)
	24
2.6	ทฤษฎีพื้นฐานในการหาดำแหน่ง
	28
2.7	ทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิค UWB-FINGERPRINTING ที่ใช้สำหรับการหาดำแหน่ง
	33
บทที่ 3	การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์
	เลขหน้า
3.1	การออกแบบสายอากาศไมโครสตริบ CIRCULAR PATCH
	43
3.2	การออกแบบสายอากาศไบโคนิคอล
	50
3.3	การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย
	53
3.4	การออกแบบการวัดช่องสัญญาณสำหรับการหาดำแหน่ง
	56
3.5	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4	ผลการทดลอง	เลขหน้า
	4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแบบไมโครสตริป	63
	4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแบบไปโคนิคอลล	68
	4.3 ผลการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์	71
	4.4 ผลการทดลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร	76
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	เลขหน้า
	5.1 สรุปผล	81
	5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินงาน	81
	5.3 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม		83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สัญญาณเกาส์เซียน	4
2.2 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง	8
2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ	9
2.4 โลบต่างๆและบีบวิติคของแบบรูปสายอากาศ	15
2.5 ความกว้างลำ (BEAMWIDTH)	17
2.6 รูปร่างสายอากาศไปโคนิคอลล	21
2.7 การแผ่กระจายคลื่นแบบทรงกลม	21
2.8 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของสายอากาศไปโคนิคอลล	23
2.9 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป	25
2.10 รูปแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ	25
2.11 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป	27
2.12 การป้อนสัญญาณโพรบหรือโคแอกเซียล	27
2.13 การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด	28
2.14 การป้อนสัญญาณสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน	28
2.15 การระบุตำแหน่งโดยตรงและการระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน	29
2.16 การหาตำแหน่งโดยวิธี RECEIVED SIGNAL STRENGTH	30
2.17 การหาตำแหน่งโดยวิธี ANGLE OF ARRIVAL (AOA)	31
2.18 การหาตำแหน่งโดยวิธี TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL (TDOA)	32
2.19 บล็อกไดอะแกรมของวิธี UWB-FINGERPRINTING	33
2.20 รูปคลื่นและความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง	34
2.21 บล็อกไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต	36
2.22 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบ	38
2.23 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่	39
2.24 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน	40
2.25 รูปคลื่นในการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง	41
3.1 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ	44
3.2 ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	45
3.3 ผลการจำลองค่า VSWR	46

3.4	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz, 6.85 GHz และ 10.6 GHz	47
3.5	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1, 6.85 และ 10.6 GHz	48
3.6	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเทียบกับสายอากาศ	49
3.7	ความยาวด้านต่างๆ และมุมของกรวย	51
3.8	กรวยที่ทำจากแผ่นทองเหลือง	52
3.9	สายอากาศไบโคเนคคอลที่นำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกันในขั้นตอนสุดท้าย	53
3.10	การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย (แบบจำลอง)	54
3.11	การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย (แบบวัดจริง)	55
3.12	แบบจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารสำหรับฐานข้อมูล	57
3.13	แบบจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารสำหรับการทดสอบ	58
3.14	เครื่องวิเคราะห์โครข่ายแบบเวกเตอร์	59
3.15	สายอากาศแบบไมโครสตริป	60
3.16	สายอากาศแบบกรวยคู่	60
3.17	หัว calibrate	61
3.18	สายนำสัญญาณ	62
3.19	คอมพิวเตอร์	62
4.1	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไมโครสตริป	63
4.2	ผลการทดสอบ VSWR ของสายอากาศแบบไมโครสตริป	64
4.3	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป	65
4.4	ก. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz ข. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 6.85 GHz ค. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 8 GHz ง. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 10.6 GHz	66
4.5	ก. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz ข. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 6.85 GHz ค. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 8 GHz ง. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 10.6 GHz	67
4.6	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไบโคเนคคอล	68
4.7	ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบไบโคเนคคอล	68
4.8	ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไบโคเนคคอล	69
4.9	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz	70
4.10	แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz	70

4.11	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 1-5	71
4.12	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 6-10	71
4.13	เฟสของการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 1-5	72
4.14	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 6-10	72
4.15	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 1-5	73
4.16	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 6-10	73
4.17	เฟสของการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 1-5	74
4.18	ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 6-10	74
4.19	ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการวัดช่องสัญญาณของตำแหน่งบนร่างกาย	75
4.20	ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง	75
4.21	ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศบนร่างกายมนุษย์	76
4.22	ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx1	77
4.23	ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx2	77
4.24	ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx3	78
4.25	ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx4	79
4.26	ความผิดพลาดของระยะทางของการหาตำแหน่ง	80
4.27	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง	80

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย คณะกรรมาธิการการสื่อสาร แห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอก อาคาร	5
2.2	คุณลักษณะการหาตำแหน่งภายในอาคาร	13
2.3	ข้อดี ข้อเสียและการนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศไมโครสตริป	26
3.1	ความสูงของสายอากาศด้านรับที่ตำแหน่งต่างๆบนร่างกาย	54
3.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ	55
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายสามารถส่งข้อมูลได้ทุกทิศทางโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ซึ่งมีข้อดีหลากหลาย เช่น มีความคล่องตัวสูงไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดก็สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถใช้งานได้ในทุกสถานที่ ทุกเวลา อย่างไม่จำกัดอีกด้วย เทคโนโลยีการสื่อสารได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวาง ได้แก่ เทคโนโลยี WiMax เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio frequency identification: RFID) เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) และเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband) เป็นต้น

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆด้าน ใช้ในทางการแพทย์ในการติดตามอาการคนไข้ การติดต่อสื่อสารของทหาร การใช้ในเชิงธุรกิจ เช่น การติดตามระบบขนส่ง หรือ ใช้ในค้นหาทิศทางและการระบุตำแหน่ง เป็นต้น ซึ่งการระบุตำแหน่งที่ได้นำมาใช้งานก่อนหน้านี้เป็นระบบจีพีเอส (Global positioning system:GPS) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถนำทางเพื่อไปยังสถานที่ที่ต้องการไป แต่ระบบจีพีเอสมีข้อจำกัดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานภายในอาคาร เนื่องจากเป็นการสื่อสารผ่านดาวเทียมและความเร็วแสงเดินทางมายังอุปกรณ์ภาครับ หากนำมาใช้ภายในอาคารหรือสถานที่ที่ปิดทึบแล้วจะทำให้ไม่สามารถใช้คำนวณหาตำแหน่งได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีแนวทางพัฒนาการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้กับโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network: WSN) ซึ่งมีขนาดเล็ก สะดวกและง่ายต่อการพกพา โดยได้นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีแถบกว้างมาก มีแบนด์วิดท์กว้างถึง 7.5 GHz อยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz และใช้พลังงานต่ำ ให้ความเร็วสูงในการรับและส่งข้อมูล สัญญาณแถบกว้างยิ่งอยู่บนมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงมากกว่า 100 Mbps สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless personal area network: WPAN) สามารถสื่อสารในระยะใกล้ไม่เกิน 10 เมตร ด้วยข้อกำหนดเหล่านี้จึงเหมาะสมในการเลือกใช้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ไร้สายขนาดเล็ก

การหาตำแหน่งภายในอาคารมีการนำประยุกต์ใช้เพื่อหาวัตถุสิ่งของ รวมถึงการหาตำแหน่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์ภายในอาคาร สามารถพิจารณาด้วยเทคนิคที่หลากหลาย เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวงกลม 3วง (Trilateration) เทคนิคพิจารณาวัตต์ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received signal strength:RSS) วิธีพิจารณาเวลาในการมาถึงของสัญญาณ (Time of arrival:TOA) โดยวิธีการเหล่านี้เป็นการพิจารณาทิศทางกำลังงานและเวลาของสัญญาณที่รับได้อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้กล่าวข้างต้นมีความเที่ยงตรงและแม่นยำไม่มากนัก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการหา

ตำแหน่งด้วยวิธีเสมือนการสแกนลายนิ้วมือด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้การคาดคะเนตำแหน่งที่ประกอบด้วยร่างกายมนุษย์นั้นมีความแม่นยำ เทียบตรงและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแถบกว้างยิ่งที่ใช้ในงานทางด้าน การหาตำแหน่ง
- 2) ศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งภายในอาคาร
- 3) ออกแบบสายอากาศที่ใช้กับสัญญาณแถบกว้างยิ่ง
- 4) จำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารโดยใช้สายอากาศที่สร้างขึ้นทำการทดสอบ
- 5) ประเมินและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.) สร้างสายอากาศแบบแถบกว้างยิ่งสำหรับการหาตำแหน่งภายในอาคารได้
- 2.) สามารถจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารโดยใช้สายอากาศที่สร้างขึ้นได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแถบกว้างยิ่งเริ่มต้นในปี คริสต์ศักราช 1901 โดยมารโกนี (Guglielmo Marconi) ได้ทำการส่งคลื่นวิทยุเพื่อใช้สื่อสารด้วยรหัสมอสโดยใช้เครื่องส่งสปาร์กกับส่งข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกต่อมาเทคโนโลยีที่ใช้สัญญาณพัลส์ได้ถูกนำมาใช้การทหารในรูปของอิมพัลส์เรดาร์ (impulse radars) จากนั้นในปี 1960 – 1990 เทคโนโลยีนี้ได้ถูกจำกัดการใช้งานในกองทัพทหารและแผนการปกครองที่เป็นความลับทางราชการ

ในปี 2000 เทคโนโลยีความถี่แถบกว้างยิ่งจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในเชิงพาณิชย์ คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission; FCC) อนุมัติให้ใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์ จากนั้นในปี 2002 คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้อนุมัติรายงานและข้อบังคับฉบับที่หนึ่งสำหรับการใช้งานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งในเชิงพาณิชย์

2.1.2 หลักการพื้นฐานเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นการสื่อสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีการส่งสัญญาณด้วยคลื่นแบบแถบความถี่หรือสเปกตรัมที่กว้าง และใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะแล้วหายไปโดยการส่งสัญญาณแบบพัลส์ (Pulse) ดังกล่าวต่อเนื่องกันในทางเวลาระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับวิทยุหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบมาก ไม่เหมือนการสื่อสารแบบแนร์โรว์แบนด์ (Narrow band) ซึ่งใช้ในการสื่อสารไร้สาย เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบเครือข่ายเฉพาะที่ไร้สาย (Wireless LAN) จะใช้เทคนิคการผสมสัญญาณของรูปคลื่นสัญญาณวิทยุที่มีความต่อเนื่องทางเวลากับสัญญาณคลื่นพาห่ที่มีความถี่ที่กำหนดเพื่อใช้ในการส่งและรับสัญญาณทำให้พลังงานของสัญญาณถูกรวมอยู่ในช่วงแถบความถี่หรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) แคบๆ ซึ่งสามารถถูกรบกวนได้ง่าย

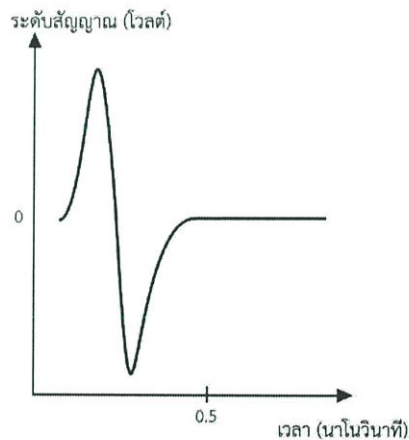
เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งยังสามารถแบ่งออกเป็นแบบแถบความถี่ และแบบหลายแถบความถี่รวมทั้งใช้เรียกเทคนิคการใช้คลื่นพาห่ย่อยที่ไม่รบกวนกันจำนวนมากในการผสมสัญญาณที่เรียกว่า Multiband OFDM ซึ่งจะทำให้สามารถส่งข้อมูลพร้อม ๆ กันผ่านทางย่านความถี่ย่อย ๆ ที่อยู่ห่างกันได้โดยข้อดีในการใช้ Multiband OFDM คือมีความยืดหยุ่นสูงในการใช้งานย่านความถี่

และลดผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณรบกวนรวมไปถึงผลของสัญญาณสะท้อนจากหลายทิศทางหรือที่เราเรียกว่ามัลติ-พาท (Multi-path) อีกด้วย ซึ่งเป็นอีกเทคนิคที่ครอบคลุมการใช้ความถี่เป็นแถบกว้างมากโดยได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดจาก Federal Communications Commission (FCC) อยู่ที่ 3.1-10.6 GHz พลังงานที่ใช้ใน multiband OFDM ที่ค่อนข้างต่ำ

2.1.3 ลักษณะของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

สัญญาณแถบกว้างยิ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงรูปแบบของสัญญาณอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรอบเดียว (monocycle) นิยมใช้ในการสร้างและจำลองสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ โดยทั่วไปสัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบพัลส์จะใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) สัญญาณพัลส์แบบเชิร์ป (Chirp) หรือสัญญาณพัลส์แบบเวฟเล็ต (Wavelet) เป็นต้น

สัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบพัลส์เดี่ยวซึ่งใช้สัญญาณพัลส์เดี่ยวแบบเกาส์เซียน (Gaussian monocycle) ดังรูปที่ 2.1 นั้นมีรูปคลื่นที่เป็นฟังก์ชันของการกระจายค่าทางสถิติแบบเกาส์เซียน โดยมีค่าความถี่กลางและความกว้างของพัลส์เป็นส่วนแปรผกผันกับช่วงเวลาของพัลส์ ซึ่งแสดงสัญญาณพัลส์เดี่ยวแบบเกาส์เซียนในทางเวลาที่มีความกว้างพัลส์ประมาณ 500 พิโควินาที



รูปที่ 2.1 สัญญาณเกาส์เซียน

2.1.4 ข้อกำหนดของระบบแถบกว้างยิ่งในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งสหรัฐอเมริกาได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมากๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มี

ใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งข้อเรียกร้องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการแทรกสอดในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิ แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS

ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 ทาง FCC ได้ออกกฎสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่ง และยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชน เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปีค.ศ. 2002โดยการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้งานในประเภทระบบการสื่อสารนั้นจะถูกกำหนดค่าสัดส่วนของแบนด์วิดท์ (Fractional bandwidth) ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 หรือแบนด์วิดท์รวมทั้งหมดต้องไม่ต่ำกว่า 500 MHz และกำหนดช่วงความถี่ใช้งานไว้ที่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดยข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานของระบบแถบกว้างยิ่งแสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.1 ข้อจำกัดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย คณะกรรมาธิการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (MHz)	EIRP in dBm ภายในอาคาร	EIRP in dBm 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

2.1.5 จุดเด่นของระบบแถบกว้างยิ่ง

ลักษณะของพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบที่ใช้ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจะมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับระบบการสื่อสารแถบแคบ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารไร้สายดังนี้

2.1.5.1 มีความจุของช่องสัญญาณมาก

จุดเด่นที่สำคัญของการมีแบนด์วิดท์ที่กว้างสำหรับพัลส์แถบกว้างยิ่งคือการทำให้ความจุของช่องสัญญาณมากขึ้น โดยความจุของช่องสัญญาณหรืออัตราการส่งข้อมูลจะบอกถึงขนาดของข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณการสื่อสารต่อหนึ่งวินาที ซึ่งขนาดความจุ

ที่มากของระบบการสื่อสารแถบกว้างยังสามารถพิจารณาได้จากสูตรของแฮนนอน (Hartley-Shannon) ดังสมการที่ 2.1

$$c = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad (2.1)$$

เมื่อ c คือ ค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุด
 B คือ แบนด์วิดท์
 SNR คือ อัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากสมการจะเห็นว่าค่าความจุของช่องสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบนด์วิดท์มีมากขึ้น เพราะฉะนั้นสัญญาณแถบกว้างยิ่งที่มีแบนด์วิดท์มากถึง 7.5 GHz จึงทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลในระดับหลายร้อยเมกะบิตต่อวินาที (Mbps) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal communications commission: FCC) ได้จำกัดกำลังส่งของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งไว้ จึงทำให้สามารถที่จะส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระยะสั้นๆ เท่านั้น ทำให้เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งเป็นตัวเลือกที่น่าจับตามองสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายระยะสั้นที่มีความเร็วสูง เช่น โครงข่ายพื้นที่ไร้สายส่วนบุคคล (WPANs)

2.1.5.2 ใช้กำลังในการส่งต่ำ

จากข้อกำหนดโดยคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้กำลังงานในการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นมีค่าสูงสุดไม่เกิน -41.3 dBm/MHz ทำให้สัญญาณของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำ โดยอยู่ในระดับของสัญญาณรบกวนระบบกวน (Noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณของแถบกว้างยิ่งนี้เป็นสัญญาณรบกวนเลยถูกกำจัดออกไปทำให้สัญญาณของแถบกว้างยิ่งไม่มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆ

2.1.5.3 มีโอกาสที่จะถูกดักฟังหรือตรวจจับได้ยาก

เนื่องจากมีกำลังเฉลี่ยในการส่งที่ต่ำทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารแถบกว้างยิ่งมีความสามารถในการถูกดักฟังและตรวจจับได้ยาก การส่งสัญญาณด้วยกำลังส่งที่ต่ำทำให้ผู้ดักฟังจะต้องอยู่ใกล้กับตัวส่งสัญญาณมาก (ประมาณ 1 เมตร) เพื่อที่จะสามารถตรวจจับข่าวสารที่ส่งได้นอกจากนั้นพัลส์ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งเป็นการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) ด้วยรหัสเฉพาะสำหรับภาคส่งและภาครับนั้นๆ การมอดูเลตทางเวลาของแถบกว้างยิ่งที่มีพัลส์ที่แคบมากๆ จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการส่งสัญญาณ เนื่องจากการที่จะตรวจจับพัลส์ในระดับ

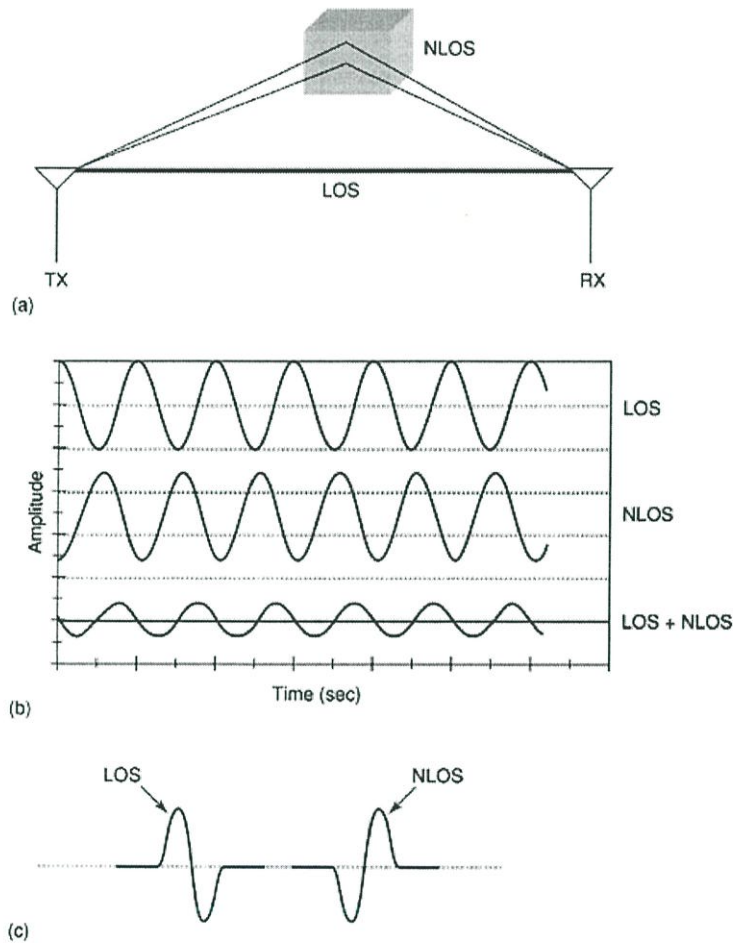
พิกิวินาทีโดยที่ไม่รู้ว่ามันจะมาถึงเมื่อไหร่ นั่นเป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ฉะนั้นเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความปลอดภัยมากยากต่อการดักฟังและตรวจจับ การสื่อสารที่ต้องการจุดเด่นในข้อนี้คือการสื่อสารของกองทัพและแผนกการปกครอง

2.1.5.4 มีความต้านทานจากการถูกรบกวนสัญญาณ

หากเปรียบเทียบกับแถบความถี่ของการสื่อสารแถบแคบแล้ว แถบความถี่ของการสื่อสารแถบกว้างยิ่งนั้นครอบคลุมช่วงของความถี่ที่มากกว่าในระดับหลายกิกะเฮิรตซ์(GHZ) การมีความถี่ที่หลากหลายของสัญญาณแถบกว้างยิ่งทำให้มีความต้านทานต่อการถูกรบกวนสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นการรบกวนโดยตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ เพราะว่าไม่มีผู้ที่ทำการรบกวนสัญญาณคนไหนที่สามารถรบกวนสัญญาณในทุกความถี่ของแถบความถี่กว้างยิ่งได้ในครั้งเดียว ฉะนั้นถ้าความถี่บางความถี่ถูกรบกวนแถบกว้างยิ่งก็ยังมีเหลือช่วงความถี่อีกมากมายที่ยังไม่ถูกใช้

2.1.5.5 มีความต้านทานต่อช่องสัญญาณหลายวิถี

การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณการสื่อสารจากหลายๆ ทิศทางที่วัสดุต่างๆ เช่น อาคาร โต๊ะ เพดาน หรืออุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น เส้นทางจากสายอากาศส่งไปยังสายอากาศรับโดยตรง เรียกว่า เส้นระดับสายตา (Line of Sight: LOS) ส่วนสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นผิววัสดุต่างๆจะไม่เป็นเส้นระดับสายตา (Non Line of Sight: NLOS) โดยรูปที่ 2.2 แสดงช่องการเกิดคลื่นหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง



รูปที่ 2.2 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบและแถบกว้างยิ่ง [4]

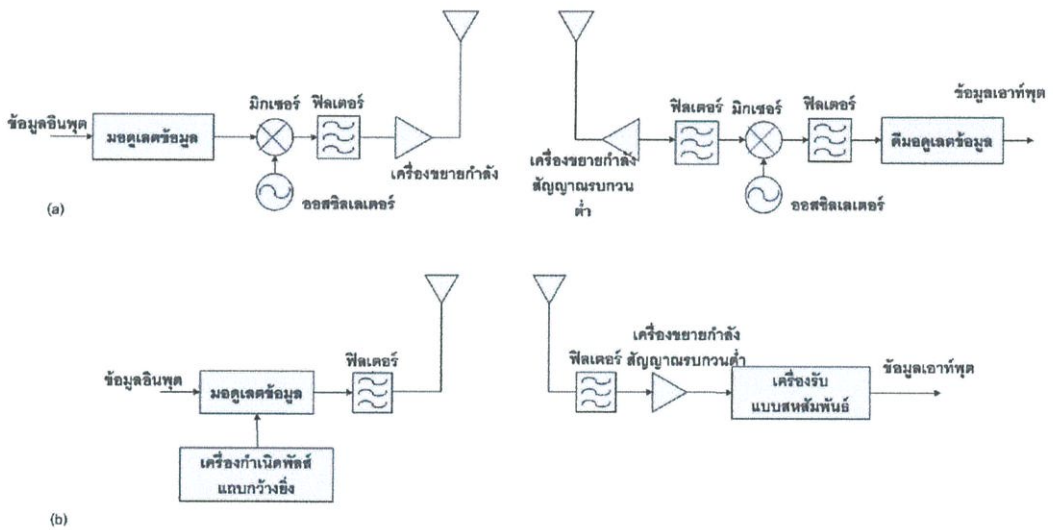
- การเกิดช่องสัญญาณหลายวิถีในการสื่อสารไร้สาย
- ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบแคบ
- ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีในระบบแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 2.2 ผลของช่องสัญญาณหลายวิถีสำหรับสัญญาณแถบแคบจะเกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าสัญญาณแถบกว้างยิ่ง เนื่องจากการรวมกันแบบต่างเฟส (Out of phase) ของสัญญาณที่มาจาก เส้นระดับสายตา (LOS) และไม่เป็นเส้นระดับสายตา (NLOS) ทำให้ระดับของแอมพลิจูดลดลงมาก แต่ในเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งการส่งพัลส์ที่มีช่วงเวลาแคบมากๆ ทำให้เทคโนโลยีนี้ได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณหลายวิธีน้อยกว่า เนื่องจากช่วงเวลาการส่งผ่านของพัลส์ของแถบกว้างยิ่งช่วงเวลานั้นสั้นกว่านาโนวินาที ทำให้พัลส์ที่เกิดจากการสะท้อนมีโอกาสน้อยมากที่จะไปถึงพร้อมกับพัลส์ที่เป็นเส้นระดับสายตา (LOS)

2.1.5.6 มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาถูก

เทคโนโลยีแถบกว้างยังเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ต้องการคลื่นพาห์ (Carrier less)

นั่นหมายความว่าไม่ต้องมีการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเหมือนกับในเทคโนโลยีแถบแคบและ เทคโนโลยีแถบกว้าง การสื่อสารที่ปราศจากคลื่นพาห์มีความต้องการส่วนประกอบต่าง ๆ น้อยกว่า การสื่อสารที่มีการมอดูเลตเข้ากับสัญญาณพาห์ ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้โครงสร้างของเทคโนโลยี แถบกว้างยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าและมีราคาในการสร้างถูกกว่าเทคโนโลยีแถบแคบ รูปที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ กับเทคโนโลยีแถบ กว้างยิ่ง



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบโครงสร้างของระหว่างระบบแถบกว้างยิ่งกับระบบแถบแคบ [4]

- บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบแคบ
- บล็อกไดอะแกรมภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

จากรูปที่ 2.3 ภาคส่ง-ภาครับของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีโครงสร้างที่ง่ายกว่าระบบแถบแคบ เนื่องจากการสื่อสารแถบกว้างยิ่งที่ใช้พัลส์ที่มีกำลังส่งต่ำจะไม่จำเป็นต้องมีตัวขยายกำลัง (Power amplifier: PA) ในภาคส่ง และจากการที่การสื่อสารแถบกว้างยิ่งไม่มีการใช้สัญญาณพาห์ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้มิกเซอร์ (Mixer) และออสซิลเลเตอร์ (Oscillators) ในการแปลงความถี่พาห์ไปเป็นแถบความถี่ที่ต้องการทั้งในภาครับและภาคส่ง

2.1.6 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง

เทคโนโลยีแบบแถบกว้างยิ่งถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารระยะสั้นระหว่างคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่อยู่ภายในอาคารสำนักงาน และโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัยที่มีความต้องการความเร็วสูงซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศนั้นอาจจะถูกลดทอนกำลังงาน (Power attenuation) โดยปัจจัยต่างๆ เช่น ถูกลดทอนโดยผนังหรือกำแพงของอาคาร จากวัสดุอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณที่ทางด้านเครื่องรับ เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบดังต่อไปนี้

2.1.6.1 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในอาคารสำนักงาน

เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งมีการประยุกต์ใช้ในอาคารสำนักงานต่างๆ เช่น การควบคุมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร หรือเครื่องเล่นมัลติมีเดียต่างๆ ผ่านระบบไร้สาย การตั้งเวลาเปิดปิดเครื่องทำความเย็นหรือระบบต่างๆโดยอัตโนมัติ เป็นต้น รูปที่ 2.7 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในโครงข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าการใช้อุปกรณ์การสื่อสารไร้สายเหล่านี้อาจจะได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายใน อาคารสำนักงาน เช่น โต๊ะทำงานหรือผนัง กำแพง อาจจะถูกลดทอนกำลังงานในการส่งสัญญาณได้[8]

2.1.6.2 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายภายในบ้านพักอาศัย

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ของโครงข่ายสภาวะแวดล้อมภายในบ้านพักอาศัย เช่น การเปิดปิดสวิตซ์ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านระบบไร้สาย หรือการตั้งเวลาเปิดปิดอุปกรณ์ต่างๆ แบบอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามการนำไปใช้ติดต่อสื่อสารภายในอาคารซึ่งมักจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่องสัญญาณในการสื่อสารคล้ายกับการนำไปประยุกต์ใช้ภายในอาคารสำนักงาน เช่น กำแพง ประตู อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆผนัง สิ่งกีดขวางต่างๆ ซึ่งสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่ไม่เหมือนกัน คุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลกระทบอย่างมากทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีลักษณะแตกต่างกัน [8]

2.1.6.3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ (Wireless body area network) และโครงข่ายทางการแพทย์ไร้สาย (Wireless medical network)

โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์[9] ได้ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในส่วนของโครงข่ายส่วนบุคคล โดย Prof. Zimmermann ซึ่งได้รับการยกย่องในการสร้างสรรค์แนวคิดเรื่องโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ โดยมีพื้นฐานจากงานของเขาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts institute of technology: MIT) และที่บริษัทไอบีเอ็ม โดยได้กล่าวถึงการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กและการสื่อสารไร้สายระยะสั้น โดยการ

ติดต่อสื่อสารจะผ่านอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงกันในระยะน้อยกว่า 2 เมตร โครงข่ายบนร่างกายมนุษย์ จะกล่าวถึงองค์ประกอบบริเวณสภาพแวดล้อมรอบๆร่างกาย และยังรวมไปถึงพื้นที่ที่บนร่างกายมนุษย์ด้วย องค์การคณะกรรมการจากสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์(Institute of electrical and electronics engineers:IEEE)ได้เริ่มจัดทำร่างมาตรฐานสำหรับการรับและส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายระยะใกล้เมื่อปลายปี 2002 โดยที่การรับส่งข้อมูลในระยะใกล้ที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบ Bluetooth ซึ่งเรียกว่า โครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล โดยมาตรฐานนี้เรียกว่า IEEE 802.15 และมีมาตรฐานย่อยทั้งสิ้นอีก6มาตรฐานได้แก่

1.IEEE 802.15.1 ศึกษาการร่างมาตรฐานชั้นกายภาพ(Physical Layer)และชั้นควบคุมการใช้งานกลาง(Media access control:MAC)สำหรับการรับส่งข้อมูลแบบลูทุดที่ใช้กันในปัจจุบัน

2.IEEE 802.15.2 ศึกษาผลถึงกระทบการใช้งานและการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลกับโครงข่ายไร้สายในระยะใกล้ และระบบการสื่อสารไร้สายอื่นๆเช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัล เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายด้วยระบบดิจิทัล และระบบบอกพิกัด เป็นต้น

3. IEEE 802.15.3 ศึกษาการร่างมาตรฐานของชั้นกายภาพและชั้นการควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลาง สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่มีอัตราการรับและส่งข้อมูลสูงมากตั้งแต่ 11Mbps ถึง55Mbps และมีระยะการรับส่งข้อมูลไม่เกิน20เมตร ใช้พลังงานประมาณไม่เกิน 0.5 mW โดยมีการจัดทำร่างมาตรฐานย่อยเรียกว่า IEEE 802.15.3a สำหรับการรับส่งข้อมูลที่มีอัตราสูงมากกว่า 100Mbps สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่มีระยะใกล้ไม่เกิน 10เมตร มีผู้เสนอร่างมาตรฐานนี้ให้มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดมากกว่า 1 Gbps และการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a นั้นคาดว่าจะใช้กับโครงข่ายข้อมูลระยะใกล้ เช่น เป็นมาตรฐานของชั้นกายภาพและชั้นควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลางของช่องทางในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ไร้สายกับอุปกรณ์โครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายภายในบ้านหรือสำนักงาน หรือเหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการรับส่งข้อมูลในปริมาณที่สูง[9]

4. IEEE 802.15.4 ศึกษาการร่างมาตรฐานของชั้นกายภาพและการใช้งานสื่อกลาง สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่มีอัตราการรับส่ง ข้อมูลที่ไม่สูงมากประมาณ 1 Mbps ถึง 5Mbps แต่มีการใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษประมาณ 100 uW ซึ่งจะเป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องถ่ายรูปและเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานย่อยซึ่งเรียกว่า IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการรับส่งข้อมูลไม่เกิน 1 Mbps มีระยะการส่งไกลได้ถึง 75 เมตร แต่ยังคงมีอัตราการใช้พลังงานต่ำมาก

5. IEEE 802.15.5 เป็นสถาปัตยกรรมที่ใช้สำหรับอุปกรณ์การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลในระบบโครงข่ายแบบเมช(Mesh Network)

6. IEEE 802.15.6 เป็นมาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีด้านโครงข่ายบนร่างกาย (Body area network:BAN) ที่มีการใช้พลังงานต่ำและใช้สำหรับการสื่อสารระยะใกล้เหมาะสำหรับ

อุปกรณ์ที่สามารถติดบนร่างกายได้ เช่น ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในทางการแพทย์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องเล่นเพื่อความบันเทิงส่วนบุคคล[9]

โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ยุคนี้มีเทคโนโลยีและแนวคิดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีส่วนที่แตกต่างกัน เช่น อุปกรณ์ของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์สามารถอยู่บนร่างกายหรือภายในร่างกายมนุษย์ได้โดยมีความปลอดภัยกับอวัยวะและชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นระบบการรวมเซ็นเตอร์หลายๆตัวสำหรับการตรวจสอบพารามิเตอร์ของร่างกายมนุษย์ เช่น สัญญาณชีพ ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้าหัวใจ และอื่นๆ ซึ่งโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ใช้พลังงานที่ต่ำมากในการรับส่งข้อมูล มีอัตราส่งข้อมูลสูง ลักษณะการใช้งานในโครงข่ายทางการแพทย์แบบไร้สายโดยพิจารณาจากผลกระทบจากร่างกายมนุษย์ทำให้คุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์หรือเครื่องวัดทางการแพทย์เปลี่ยนไป และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายเพื่อใช้สำหรับการเตือนไปยังหมอและคนไข้ได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับชีวิต อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลจากโรงพยาบาลกับผู้ป่วยในระยะสั้นได้ ประโยชน์สูงสุดของโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์จะไม่จำกัดกิจกรรมและอายุของผู้ใช้ในส่วนของช่องสัญญาณของสื่อสารไร้สายบนร่างกายมนุษย์ ได้ถูกนำเสนอด้วยคุณลักษณะที่แตกต่างกับการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล เนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์ที่เป็นตัวกลางซึ่งประกอบไปด้วย ไขมัน น้ำ ทำให้การแพร่กระจายถูกลดทอนเร็วกว่าในแบบอวกาศว่าง และรูปแบบของสายอากาศอาจจะมีผลกระทบกับร่างกายมนุษย์ วิศวกรหรือนักออกแบบต้องเผชิญกับงานที่ท้าทายความสามารถในการสร้างหรือออกแบบอุปกรณ์ เช่น ต้องอยู่ในกฎระเบียบข้อบังคับ รูปแบบช่องสัญญาณ การใช้พลังงานต่ำ ผลกระทบของอุณหภูมิ สายอากาศและการสูญเสียที่เกิดจากร่างกายมนุษย์ การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ อัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมและมีความน่าเชื่อถือสูง เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์และการดูแลรักษาสุขภาพทางการแพทย์ในการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายบนร่างกายมนุษย์แบบไร้สายจะใช้สำหรับการรักษาดูแลสุขภาพ การตรวจวัดสมรรถนะของร่างกาย การติดตามเฝ้าดูอาการผู้ป่วย โดยจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างๆของร่างกายมนุษย์ โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณข้อมูลกลับมายังผู้ใช้งาน หรือแพทย์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการหรือเฝ้าระวังอาการของผู้ป่วย เพื่อป้องกันและทำให้ตรวจพบโรคก่อนได้ในช่วงสองสามปีที่ผ่านมาได้มีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสุขภาพตรวจสอบรูปคลื่น ตรวจสอบสิ่งผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้น การตรวจวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบพกพาที่มีการใช้เซ็นเซอร์ที่มีราคาแพงที่ซับซ้อน ถึงแม้จะได้รับการตรวจสอบทางการแพทย์ส่วนบุคคลมีการใช้เพื่อเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียว ส่วนการประเมินผลและการวิเคราะห์นั้นถูกดำเนินการแบบออฟไลน์ ทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ไม่ต่อเนื่องและอาจทำให้มีความผิดปกติในการตรวจสอบทางการแพทย์ ระบบที่ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์จำนวนมากเพื่อใช้ในการฟื้นฟูสภาพร่างกายมีการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างตัวเซ็นเซอร์กับระบบตรวจสอบสายไฟดังกล่าวอาจทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถทำกิจกรรมบางอย่างได้อย่างสะดวกสบาย ส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่วัดได้ และเหตุผลนี้

เองทำให้มีการสร้างระบบตรวจสอบสุขภาพร่างกายแบบไร้สายซึ่งใช้ในระบบโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นต้น

จากที่กล่าวในข้างต้น เทคโนโลยีโครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้งานในชีวิตประจำวันและมีการประยุกต์ใช้มากมายและสามารถช่วยให้มีความสะดวกสบายมากขึ้น โดยการใช้โครงข่ายไร้สายบนร่างกายมนุษย์ดังแสดงใน แสดงถึงการประยุกต์ใช้งานในการช่วยเหลือผู้ที่มีความพิการทางสายตา เครื่องมือตรวจวัดได้ถูกติดกับสิ่งของต่างๆของผู้ที่มีความพิการทางสายตา จากนั้นต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของระยะห่างของเครื่องมือตรวจวัดกับเครื่องรับสัญญาณ หากผู้พิการทางสายตาสัมผัสสิ่งของไว้หรืออยู่ห่างจากค่าที่ได้กำหนดไว้ เครื่องรับสัญญาณจะส่งสัญญาณเตือนนอกจากนี้ยังมีกล้องที่ติดกับผู้พิการทางสายตา เช่น แว่นตา หรือไม้เท้า ภาพวิดีโอจะถูกถ่ายโดยกล้องและถูกส่งไปยังเครื่องรับที่ติดอยู่ที่ผู้พิการทางสายตา โดยภาพที่ถ่ายได้จะถูกแปลงให้เป็นเสียงเพื่อนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา

2.1.6.4 การประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่ง (UWB localization)

ในการประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งนั้น มีการนำไปประยุกต์ใช้ทั้งการหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่อยู่บนร่างกายและการหาตำแหน่งภายในอาคารอีกด้วย เป็นลักษณะการใช้งานในการหาตำแหน่งโดยพิจารณาจากการสูญเสียเชิงวิถี และเวลาประวิง แต่อาจจะมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลกระทบต่อการสื่อสารในสภาวะแวดล้อมจริง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการหาพิจารณาตำแหน่งได้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะการหาตำแหน่งภายในอาคาร [7]

คุณลักษณะ	ภายในอาคาร
รูปแบบการสูญเสียเชิงวิถี	ผลกระทบของการเดินทางหลายวิถีและการลดทอนของสัญญาณ
ความแม่นยำ	มีความแม่นยำน้อย
ระยะห่าง	ระยะใกล้
การใช้งาน	สามารถกำหนดระยะได้และเฉพาะที่

2.2 การทำงานของสายอากาศ [1]

เมื่อสายอากาศทำงานในภาครับนั้นกลไกการทำงานเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานจากลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรีให้เป็นคลื่นบังคับวิถีสามารถเข้าใจได้ง่ายด้วยการพิจารณาว่าคลื่นในปริภูมิเสรีที่ตกกระทบบนสายอากาศเหนี่ยวนำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ อันเป็นผลสืบเนื่องให้มีการไหลของกระแสสัญญาณเมื่อมีการต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับอุปกรณ์รับ

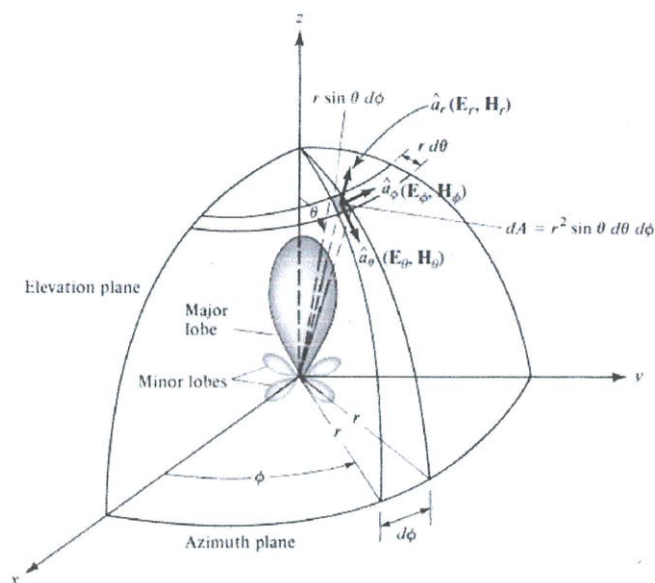
สัญญาณในกรณีที่สายอากาศทำงานในภาคส่ง สิ่งที่เกิดขึ้นคือ พลังงานในลักษณะของคลื่นบังคับวิถี ได้รับการแปลงรูปไปเป็นพลังงานในลักษณะของคลื่นในปริภูมิเสรี การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในลักษณะที่มีการเคลื่อนย้ายของพลังงานจากสายอากาศเข้าสู่บริเวณปริภูมิเสรีโดยปราศจากการนำหรือการพา และไม่ใช่การแพร่เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปพลังงาน ดังนั้นจึงเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่าการแผ่พลังงาน สิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับการแผ่พลังงาน ก็คือกลไกการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ เมื่อพิจารณาการทำงานของสายอากาศเส้นลวด จะพบว่าเมื่อเริ่มต้นด้วยการป้อนกำลังงานคลื่นให้ที่หัวของสายอากาศในจังหวะนี้เท่ากับมีการกระตุ้นให้อนุภาคมีประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง เมื่ออนุภาคดังกล่าวเคลื่อนที่ไปถึงปลายของเส้นลวดก็จะถูกหน่วงให้หยุดและกระดอนกลับ ในช่วงที่อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วงนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน ซึ่งผลลัพธ์ก็คือการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การถูกเร่งนั้นเกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยแหล่งพลังงานที่ต่ออยู่ที่หัวของสายอากาศ ส่วนการหน่วงเป็นผลจากแรงต้านภายในเนื่องจากการเสียดตัวของประจุที่ปลายสายอากาศ ดังนั้นถ้าหากสามารถทำให้อนุภาคมีประจุถูกเร่งและหน่วง ไม่ว่าจะการทำให้มีอิมพีแดนซ์ที่ไม่ต่อเนื่องหรือการตัดหรือหักลวดให้โค้งงอ ก็จะส่งผลให้เกิดการแผ่พลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3 คุณลักษณะพื้นฐานที่สำคัญของสายอากาศ [1]

2.3.1 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น คือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนท (Space Coordinate) ส่วนใหญ่รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้มักคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นจะอาศัยคุณสมบัติต่างๆต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส(Phase) หรือโพลาไรซ์เซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่รูปที่ 2.4 แสดงระบบโคออดิเนทที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น เพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศและกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆที่มีรัศมีคงที่มีชื่อว่าแบบรูปสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น



รูปที่ 2.4 โลบต่างๆและปมวิัตต์ของแบบรูปลายอากาศ [2]

2.3.2 โลบของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe)

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยกบีม (Split Beam Antenna)

โอบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โอบอื่นๆนอกเหนือจากโอบหลัก

โอบข้างหรือไซด์โอบ (Side Lobe) เป็นโอบย่อยที่ติดกับโอบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโอบหลัก

โอบหลัง (Back Lobe) เป็นโอบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโอบหลัก ปกติแล้วโอบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ

ดังนั้นสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโอบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโอบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโอบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโอบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนไซด์โอบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โอบ (Side Lobe Level: SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โอบน้อยกว่า -20 dB

2.3.3 ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น

คำจำกัดความของคำว่าความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในทิศทางที่กำหนดให้คือ กำลังงานที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นเป็น พารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศ เกี่ยวกับสนามระยะไกลความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น และผลจากการกำลังสองของระยะทาง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.2)$$

เมื่อ U = ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (W/ หน่วยมุมตัน)
 W_{rad} = ความหนาแน่นของการแผ่กระจายคลื่น (W/m²)

ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น ถ้าจะเขียนแสดงความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกลคือ

$$U(\theta, \phi) = \frac{r^2}{2\eta} [|E_\theta(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi(\theta, \phi)|^2] \quad (2.3)$$

เมื่อ E_θ, E_ϕ = ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าของสายอากาศในระยะไกล
 η = อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic Impedance)

ดังนั้นแบบรูปของกำลังงานก็ใช้เพื่อแสดงถึงความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นได้เช่นกัน กำลังงานทั้งหมดนี้หาได้โดยการหาปริพันธ์ของความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นตามสมการ(2.1) และ(2.2) ตลอดมุมตัน 4π ทั้งหมดซึ่งจะได้

$$P_{rad} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.4)$$

2.3.4 ค่าการชี้ทิศทาง (Directivity)

ค่าสภาพเจาะจงทิศทาง คือ อัตราส่วนระหว่างความเข้มการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศในทิศทางต่างๆเทียบกับสายอากาศไอโซโทรปิก ซึ่งวัดในหน่วยของ dBi เขียนเป็นสมการได้ว่า

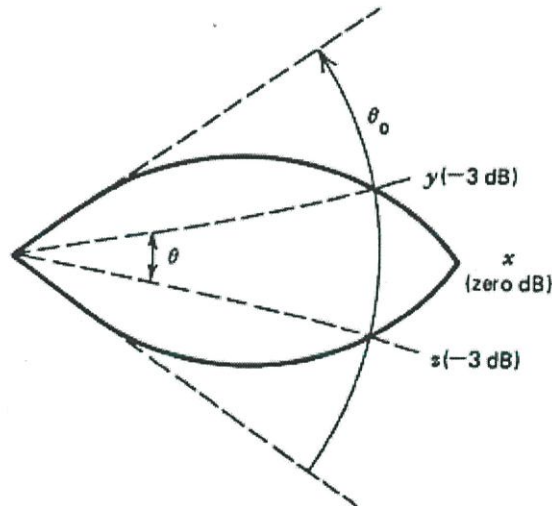
$$D_0(dBi) = 10 \log \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.5)$$

เมื่อ U_{\max} = ค่าสูงสุดของความเข้มการแพร่กระจายคลื่น
 P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด

2.3.5 ลำคลื่น (Beamwidth)

การกำหนดความกว้างลำ (Beam width) ของสายอากาศ มีอยู่ 2 แบบคือ แบบแรก กำหนดจากมุมที่เกิดจากการลากเส้นที่จุดตัดของเส้นโค้ง กับเส้นขอบทั้งสองด้าน ของรูปแบบการแพร่กระจายมายัง สายอากาศ ในรูปที่ 11 คือมุม จุดตัดคือ y และ z สำหรับรัศมีของเส้นโค้งคือ ระยะกำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง [-3dB] ในแนวที่มีกำลังงานสูงสุด ซึ่งในรูปคือ แนว x และแบบนี้เรา เรียกว่าความกว้างลำครึ่งกำลัง (half power point beamwidth)

อีกแบบกำหนดจากมุมที่ได้จากการลากเส้นในแนวที่ไม่มีความเข้มสนามเลย มาบรรจบกันที่สายอากาศ เรียกว่า First-nulls beamwidth ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความกว้างลำ (Beamwidth)

2.3.6 อัตราขยาย (Gain)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีกตัวหนึ่งของสายอากาศ อัตราขยายของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพเจาะจงทิศทาง และค่าประสิทธิภาพของสายอากาศ แต่สภาพเจาะจงทิศทางเป็นค่าที่อธิบายถึงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น และถ้าค่าประสิทธิภาพไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราขยายจะน้อยกว่าสภาพเจาะจงทิศทางดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G = \eta D \quad (2.6)$$

เมื่อ G = อัตราขยาย
 η = ประสิทธิภาพของสายอากาศ
 D = สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

2.3.7 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปประกอบด้วยอัตราส่วนระหว่างอัตราขยายของสายอากาศต่อค่าการชี้ทิศทาง จะได้ค่าประสิทธิภาพดังนี้คือ

$$\eta = \frac{G}{D} \times 100\% \quad (2.7)$$

2.3.8 ความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth:BW)

ความกว้างของแถบความถี่ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศในมาตรฐานที่กำหนดให้อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของการแพร่พลังงาน อัตราการขยาย อิมพีแดนซ์ แบบรูปการแพร่พลังงานความกว้างลำคลื่น การโพลาไรซ์เซชัน และระดับพวยย่อย เป็นต้น ให้อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติที่ความถี่ที่ออกแบบไว้จนทำให้คุณสมบัติเหล่านั้น ผิดไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ใช้งานได้ทางด้านสูงต่อความถี่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ ความกว้างของแถบความถี่มักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของความถี่ใช้งานของแถบความถี่นั้นดังสมการ

$$\%BW = \left(\frac{f_H - f_L}{f_r} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

เมื่อ BW = แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_H = ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านสูง
 f_L = ความถี่ที่ใช้งานได้ทางด้านต่ำ
 f_r = ความถี่กลางของแบนด์วิดท์

ข้อจำกัดเรื่องความกว้างของแถบความถี่ก็เป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของสายอากาศไมโครสตริปเพราะมีค่าประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็สามารถที่จะเพิ่มความกว้างของแถบความถี่ได้โดยเพิ่มความเป็นตัวนำให้กับสายอากาศ อาจจะทำเป็นช่องในตัวสายอากาศ หรือเพิ่มอุปกรณ์ที่เป็นตัวนำเข้าไปเพื่อให้การแมตช์ของตัวการแพร่กระจายคลื่นกับสายนำสัญญาณดีขึ้น

2.3.9 โพลาริเซชัน (Polarization)

การเรียกโพลาริเซชันของสายอากาศว่าเป็นแบบตั้ง [Vertical] หรือแบบนอน [Horizontal] โดยปรกติจะ กำหนดตามระนาบของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะมีแนวขนานกับตัวสายอากาศ ดังนั้น polarization จึงสามารถ สังเกตได้ตามลักษณะสายอากาศ สายอากาศความถี่ต่ำมักเลือกโพลาริเซชัน แบบตั้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์ กับพื้นดิน ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนหลัง ส่วนโพลาริเซชัน แบบนอน สัญญาณจะถูกบกพรอง น้อย ในทางปฏิบัติจะ เลือกใช้กับสายอากาศความถี่สูง

2.3.10 อัตราส่วนหน้า-หลัง (Front to back Ratio)

สายอากาศชนิดทิศทางเดียว จะต้องมีการแพร่กระจายมากที่สุดทางเดียว ฉะนั้น ค่าอัตราส่วนหน้า-หลัง จึงมีความสำคัญ อัตราส่วนนี้หาได้จากค่าการแพร่กระจายในทิศทางที่สูงสุด ต่อค่าการแพร่กระจาย ในทิศทางตรงกันข้าม ในกรณีของสายอากาศเครื่องรับ การรับสัญญาณจากทิศทางตรงกันข้ามได้ด้วยจะทำให้ผลการรับไม่ดี เช่น ความแรงของสัญญาณจะลดลงหากสัญญาณจากอีกด้านมีเฟสตรงกันข้ามกัน หรือเกิด เงาในกรณีเครื่องรับโทรทัศน์รับสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังด้วย

สายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศชนิดหนึ่งที่เป็นที่น่าสนใจและได้รับการพัฒนาจนมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ ด้วยเหตุที่มีขนาดเล็ก แบน มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการประดิษฐ์ในลักษณะที่เป็นแผงสายอากาศและสามารถวางแนบกับพื้นผิวต่างๆ ได้ดี มีราคาถูกสามารถสร้างได้ง่ายโดยอาศัยกรรมวิธีทำแผ่นวงจรพิมพ์ ประสิทธิภาพของสายอากาศไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการไม่ว่าจะเป็นขนาด รูปร่างของแผ่นตัวนำ (Patch) ระบบการป้อนกำลังที่ใช้ และการควบกำลังคลื่นร่วมระหว่างองค์ประกอบ (Mutual Coupling) ของสายอากาศเมื่อใช้ในลักษณะแผงสายอากาศ การวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้ได้สายอากาศที่มีสมรรถนะสูง และสามารถนำไปใช้งานได้ต่อไป โดยทั่วไปสายอากาศไมโครสตริปจะใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ 1 GHz ถึง 10 GHz และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน ทั้งทางกิจการทหารและกิจการพลเรือนทั่วไป

2.4 ทฤษฎีสายอากาศแบบกรวยคู่ (Biconical antenna)

เป็นรูปร่างลักษณะที่ไม่ซับซ้อนที่สามารถใช้กับคุณสมบัติของบรอดแบนด์ได้รูปร่างของสายอากาศไปโคนิคอลล้นั้นเป็นรูปทรงกรวยที่มีขนาดไม่จำกัดวางเข้าด้วยกันไว้ดังในรูปที่ 2.9 นั้น

แสดงในรูปของสายส่งเมื่อใช้ค่าแรงดันอินพุต (V_i) ที่ขั้วจะมีผลออกมาเป็นคลื่นทรงกลมดังในรูปที่ 2.10 ซึ่งในผลสะท้อนในจุดใดๆ ($r, \theta = \theta_c, \phi$) จะมีกระแส (I) ตามพื้นผิวของรูปทรงกรวยและแรงดัน (V) ระหว่างทรงกรวยทั้งสองดังรูปที่ 2.11 สามารถหาคุณลักษณะพิเศษของอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของทรงเรขาคณิตนั้น ดังแสดงการหาค่าตัวแปรระยะของทรงกรวยที่จะทำให้ใช้เป็นสายส่งได้

2.4.1 สนามการแพร่กระจายคลื่น

เริ่มต้นโดยการวิเคราะห์เป็นอย่างแรกหาการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้า (E) และการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างทรงกรวยซึ่งอยู่ในสภาวะกระตุ้นแบบโหมด TEM สนามไฟฟ้า (E) และสนามแม่เหล็ก (H) มีการแพร่แบบเส้นตรงโดยทิศทางตัดขวางกัน ถ้ากำหนดจุดหลายๆจุด (r, θ, ϕ) ค่าแรงดันและกระแสที่อยู่ในจุดต่างๆบนพื้นผิวทรงกรวย ($r, \theta = \theta_c, \phi$) จากกฎของฟาราเดย์เราสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\nabla \times E = -j\omega\mu H \quad (2.9)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้า(โวลต์ต่อเมตร)
 ω คือ ความถี่เชิงมุม(เรเดียน)
 μ คือ ค่าความซาบซึมของสนามแม่เหล็ก หรือ ความสามารถเหนี่ยวนำ
 H คือ สนามแม่เหล็ก(แอมแปร์ต่อเมตร)

ซึ่งถ้าหากแสดงให้อยู่ในพิกัดทรงกลมและซึ่งในสนามไฟฟ้า (E) อย่างเดียวมี E_θ เป็นตัวประกอบอิสระคือ ϕ จะได้

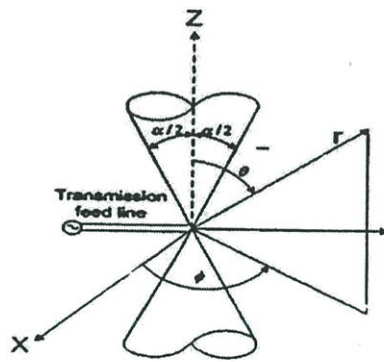
$$\nabla \times E = \hat{a}_\phi \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rE_\theta) = -j\omega\mu(\hat{a}_r H_r + \hat{a}_\theta H_\theta + \hat{a}_\phi H_\phi) \quad (2.10a)$$

เมื่อ E คือสนามไฟฟ้า(โวลต์ต่อเมตร)
 E_θ คือ ขนาดของสนามไฟฟ้าในพิกัด θ (โวลต์ต่อเมตร)
 H_r คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กในพิกัด r (แอมแปร์ต่อเมตร)
 H_θ คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กในพิกัด θ (แอมแปร์ต่อเมตร)
 H_ϕ คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กในพิกัด ϕ (แอมแปร์ต่อเมตร)
 r คือ รัศมีวงกลม(เมตร)
 \hat{a}_r คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยในทิศ r

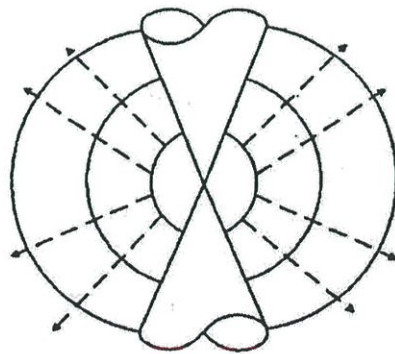
- \hat{a}_θ คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยในทิศ θ
 \hat{a}_ϕ คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยในทิศ ϕ
 ω คือ ความถี่เชิงมุม(เรเดียน)
 μ คือ ค่าความซาบซึ่มของสนามแม่เหล็ก(permeability)หรือความสามารถเหนี่ยวนำ(inductivity)

โดยที่สนามแม่เหล็ก (H) มีส่วนประกอบในทิศทาง H_ϕ อย่างเดียวจำเป็นสำหรับโหมด TEM ในสมการที่(2.10a) สามารถเขียนได้

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(rE_\theta) = -j\omega\mu H \quad (2.10b)$$



รูปที่ 2.6 รูปร่างสายอากาศไปโคนิคอลล [3]



รูปที่ 2.7 การแผ่กระจายคลื่นแบบทรงกลม [3]

สำหรับกฎของแอมแปร์ (Ampere) มีดังนี้

$$\nabla \times H = +j\omega\epsilon E \quad (2.11)$$

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม(เรเดียน)

ซึ่งแสดงในพิกัดทรงกลมและมีส่วนประกอบในทิศทางของสนามไฟฟ้า E_θ อย่างเดียวและส่วนในทิศทางของสนามแม่เหล็ก H_ϕ เป็นตัวประกอบอิสระสำหรับ ϕ คือจะได้

$$\hat{a}_r = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) \right] - \hat{a}_\theta \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) \right] = +j\omega\epsilon (\hat{a}_\theta E_\theta) \quad (2.12)$$

เมื่อ \hat{a}_r คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยในทิศ r

\hat{a}_θ คือ เวกเตอร์ 1 หน่วยในทิศ θ

r คือ รัศมีวงกลม(เมตร)

H_ϕ คือ ขนาดของสนามแม่เหล็กในพิกัด ϕ (แอมแปร์ต่อเมตร)

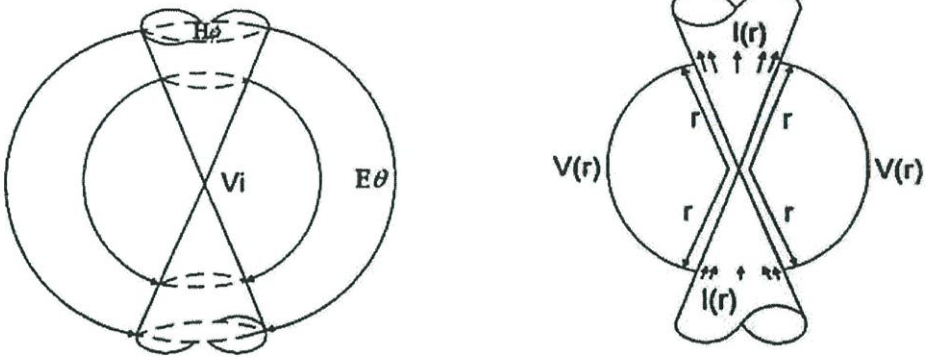
ω คือ ความถี่เชิงมุม(เรเดียน)

ϵ คือค่าความขบซึ่มของสนามไฟฟ้า(permittivity)หรือค่าความสามารถเก็บประจุ (capacitivity)

ซึ่งจะเขียนได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta H_\phi) = 0 \quad (2.13a)$$

$$\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta H_\phi) = -j\omega\epsilon E_\theta \quad (2.13b)$$



รูปที่ 2.8 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าและความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของสายอากาศไปโคเน็คคอล

ซึ่งจะเขียนใหม่จากสมการ (2.13b) ได้เป็น

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) = -j\omega\epsilon H_\phi \quad (2.14)$$

และเมื่อนำไปแทนในสมการ () จะได้สมการในทิศทาง H_ϕ ดังนี้

$$-\frac{1}{j\omega\epsilon r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (rH_\phi) \right] = -j\omega\mu H_\phi \quad (2.15a)$$

หรือ

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} (rH_\phi) = -\omega^2 \mu\epsilon (rH_\phi) = -k^2 (rH_\phi) \quad (2.15b)$$

หรือการแก้สมการของ(2.15a) ได้โดยแทนสมการที่(2.13a) ที่เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับสมการ (2.15a) เมื่อ θ แปรผันของสนามแม่เหล็กในทิศทาง H_ϕ จะได้รูปสมการคือ

$$H_\phi = \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.16)$$

เหมือนการแสดงการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เหมาะสมกับโครงสร้างที่ยาวมากเมื่อสนามในโหมด TEM ดูจากสนามไฟฟ้าที่มีสนามแม่เหล็กที่เป็นอิสระกันและเขียนได้ดังนี้

$$E_\theta = \eta H_\phi = \eta \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (2.17)$$

เมื่อ η คือ ความต้านทานภายใน (intrinsic impedance)

ในรูปที่ 2.8 เราสามารถเห็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในอากาศ (Free space) ระหว่างโครงสร้างทรงกรวยทั้งสองเมื่อจ่ายแรงดันให้จุดที่ตรงกันของทรงกรวยที่มีระยะรัศมี (r) จากจุดศูนย์กลางพิสูจน์โดย

$$V(r) = \int_{a/2}^{\pi-a/2} E \cdot dI = \int_{a/2}^{\pi-a/2} (\hat{a}_\theta E_\theta) \cdot (\hat{a}_r r d\theta) = \int_{a/2}^{\pi-a/2} E_\theta r d\theta \quad (2.18)$$

หรือโดยใช้สมการที่ (2.12)

$$V(r) = \eta H_0 e^{-jkr} \int_{a/2}^{\pi-a/2} \frac{d\theta}{\sin\theta} = \eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[\frac{\cot(\alpha/4)}{\tan(\alpha/4)} \right] \quad (2.19a)$$

$$V(r) = 2\eta H_0 e^{-jkr} \ln \left[\cot \frac{\alpha}{4} \right] \quad (2.19b)$$

เมื่อกระแสที่ไหลผ่านพื้นผิวทรงกรวยที่มีระยะห่างรัศมี (r) จากจุดศูนย์กลางพิสูจน์โดยใช้สมการที่ (2.17) ดังนี้

$$I(r) = \int_0^{2\pi} H_0 r \sin\theta d\phi = H_0 e^{-jkr} \int_0^{2\pi} d\phi = 2\pi H_0 e^{-jkr} \quad (2.20)$$

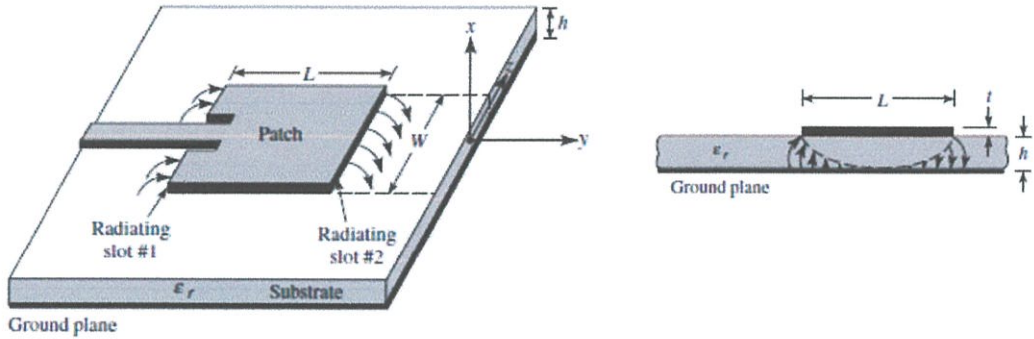
ในรูปที่ 2.7 เราสามารถเห็นแรงดันและกระแสไหลในรัศมีสั้นจากจุดศูนย์กลาง [5]

2.5 ทฤษฎีสายอากาศแบบไมโครสตริป (Microstrip antenna) [2]

เป็นสายอากาศที่นิยมการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่คริสต์ศักราช 1970 ใช้หลักการและเทคนิคของโฟโต้เทค (Photo-tech) ต่อมาได้มีการพัฒนาสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่มีโครงสร้างเป็นระนาบเรียบคล้ายกับสายอากาศแผ่นไมโครสตริป เช่น สายอากาศแบบร่องตัวยาส่งสตริป (Striplines slot antenna) สายอากาศแผ่นแบบโพรบด้านหลัง (Cavity backed printed antenna) และ สายอากาศไดโพลแบบแผ่น (Printed dipole antenna)

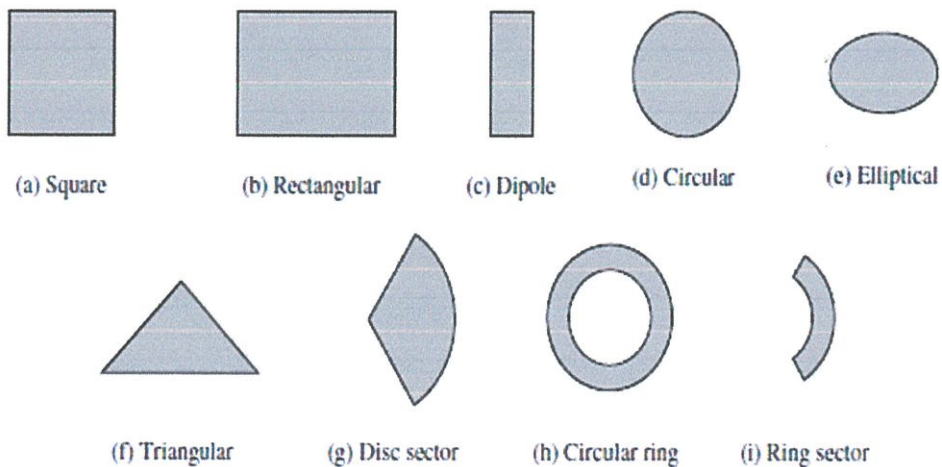
2.5.1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แผ่นตัวนำ วัสดุฐานรอง และระนาบกราวด์ แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป [2]

จากรูปที่ 2.9 พบว่า แผ่นตัวนำ (Patch) เป็นแผ่นโลหะบาง ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่นและสามารถออกแบบให้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปได้หลายรูปแบบ จะขึ้นอยู่กับการใช้งานหรือจุดประสงค์ของการสร้าง เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม รูปวงกลม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบต่างๆ [2]

วัสดุฐานรอง (Substrate) โดยปกติแล้วสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ_r) ของวัสดุฐานรองนั้นจะอยู่ในช่วง $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ โดยขนาดและชนิดของวัสดุฐานรองจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่การใช้งาน แต่โดยส่วนมากจะมีลักษณะบาง จะทำให้สายอากาศมีประสิทธิภาพสูง และมีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น แต่สายอากาศก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย

ระนาบกราวด์ (Ground plane) เป็นแผ่นนำไฟฟ้าที่อยู่ด้านล่างของวัสดุฐานรอง ไดอิเล็กทริก ซึ่งทำหน้าที่เป็นระนาบสร้างเงาหรือกราวด์เพลนให้กับแผ่นไมโครสตริป ซึ่งในทางอุดมคติจะมีขนาดใหญ่มากเป็นอนันต์

สายอากาศไมโครสตริปมีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับสายอากาศชนิดอื่นที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีการความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 100 MHz ถึง 50 GHz ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อดีข้อเสียและการนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศไมโครสตริป [1]

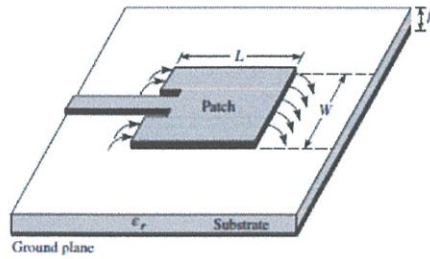
ข้อดี	ข้อเสีย	การนำไปประยุกต์ใช้งาน
1. น้ำหนักเบา	1. แบนด์วิดท์แคบ	1. การสื่อสารผ่านดาวเทียม
2. กระบวนการสร้างไม่ซับซ้อน	2. มีกำลังงานต่ำ	2. การติดต่อทางวิทยุสื่อสาร
3. ไม่ต้องใช้โพรงด้านหลัง	3. มีการแผ่กระจายคลื่นในครึ่งระนาบ	3. เรดาร์ และดรอปปอร์
4. มีการโพลาไรซ์ทั้งแบบวงกลมและเส้นตรงด้วยการเปลี่ยนแปลงจุดบ่อนสัญญาณ	4. ประสิทธิภาพของโลบหลักในการแผ่กระจายไม่ดี	4. ระบบสั่งงานและควบคุม
5. ติดตั้งง่าย	5. ประสิทธิภาพต่ำ	5. เป็นตัวแผ่กระจายคลื่นที่ใช้ในทางการแพทย์
		6. ตัวรับที่ใช้ในการเดินเรือ

2.5.2 รูปแบบการบ่อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป สามารถบ่อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริป นั้นมี 4 วิธี ดังนี้

1) การบ่อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป (Microstrip line)

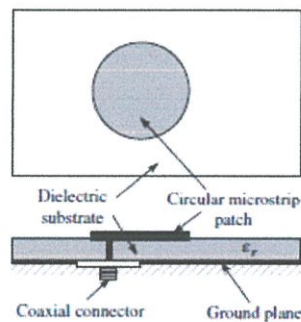
เป็นวิธีการบ่อนสัญญาณเข้าไปที่ขอบของแผ่นไมโครสตริปสายส่งที่ใช้บ่อนสัญญาณทำจากแผ่นตัวนำเดียวกับแผ่นไมโครสตริป ซึ่งวิธีนี้สามารถสร้างและการแมตช์ของสายอากาศ โดยการกำหนดตำแหน่งบ่อนสัญญาณ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การป้อนสัญญาณด้วยสายส่งไมโครสตริป [2]

2) การป้อนสัญญาณโพรบหรือโคแอกเซียล (Probe coaxial feed)

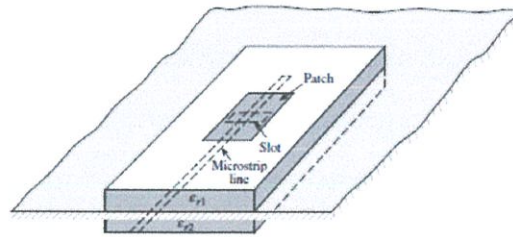
เป็นวิธีการป้อนสัญญาณ โดยตัวนำ (Connector) ที่อยู่ด้านในของโพรบ จะเชื่อมต่อกับแพตช์ที่ใช้ในการแผ่กระจายคลื่น และตัวนำตัวนอก เชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การป้อนสัญญาณโพรบหรือโคแอกเซียล [1]

3) การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด (Aperture coupled feed)

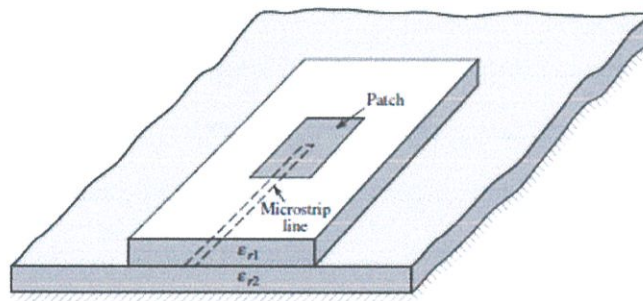
เป็นวิธีการป้อนสัญญาณ โดยไม่ต้องสัมผัสกับแผ่นไมโครสตริปโดยใช้ช่องเปิดเป็นตัวเชื่อมต่อ ซึ่งมีแผ่นไมโครสตริปอยู่ด้านบนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกเป็นมีระนาบกราวด์อยู่ด้านล่าง และที่ระนาบกราวด์นี้จะมีช่องเปิด (Slot) เพื่อแก้ไขการเกิดโหมดอันดับสูง ลดค่าการโพลาไรเซชันไขว้ วิธีนี้เป็นการออกแบบและการสร้างค่อนข้างซับซ้อน โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 1-4 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด [1]

4)การป้อนสัญญาณสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน (Proximity coupled feed)

เป็นวิธีการป้อนสัญญาณที่สร้างยาก สามารถแมตซ์โดยการปรับความยาวของ ส่วนป้อนสัญญาณสตับ (feed stub) และอัตราส่วนของแพตช์ โดยมีแบนด์วิดท์ ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



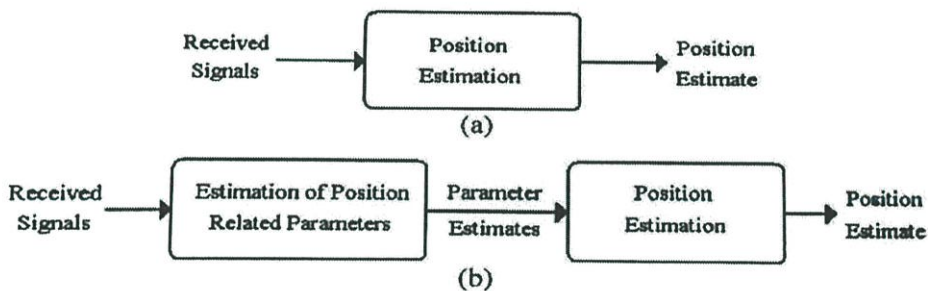
รูปที่ 2.14 การป้อนสัญญาณสัญญาณด้วยการวางไว้ใกล้กัน [1]

2.6 ทฤษฎีพื้นฐานในการหาตำแหน่ง

เมื่อก้าวถึงระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารปัจจุบันนี้ นับว่ามี การนำมาใช้งานกัน อย่างแพร่หลายและมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งมากมาย การหา ตำแหน่งสภาวะแวดล้อมภายในอาคารนั้นยากต่อการคาดเดาเรื่องของการสูญเสียเชิงวิถี ทั้งนี้เพราะ เกิดการสูญเสียหลายวิถีและการลดทอนสัญญาณ การหักเหของสัญญาณและในสภาวะแวดล้อม ต่างกัน คล้ายกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่อยู่ภายในอาคาร ฉะนั้นการหาตำแหน่งภายในอาคาร ต้องอาศัยทฤษฎีต่างๆ ประกอบด้วย โดยตัวอย่างของการนำเอาระบบการหาตำแหน่งมาใช้ใน ปัจจุบัน เช่น การหาตำแหน่งของผู้ป่วยในโรงพยาบาล การหาตำแหน่งของสิ่งของภายในโรงงาน

อุตสาหกรรม การหาตำแหน่งของนักดับเพลิงที่เข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยภายในอาคาร การหาตำแหน่งของวัตถุต่างๆ เป็นต้น

สำหรับการหาตำแหน่งในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นจะมีอยู่สองลักษณะด้วยกัน ในลักษณะแรกจะเป็นการหาตำแหน่งโดยตรงจากสัญญาณที่เดินทางระหว่างตำแหน่งซึ่งจะเรียกว่า Direct positioning [1] และอีกลักษณะหนึ่งจะเป็นการแบ่งการหาตำแหน่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (Two step positioning) โดยในขั้นตอนแรกจะเป็นการเก็บค่าพารามิเตอร์จากสัญญาณแล้วจึงทำการประมาณหาตำแหน่งจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น [2] โดยการหาตำแหน่งทั้งสองลักษณะแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้การหาตำแหน่งแบบสองขั้นตอนมากกว่าเนื่องด้วยการหาตำแหน่งแบบตรงมีความยุ่งยากมากกว่า อีกทั้งการหาตำแหน่งแบบสองขั้นตอนยังให้ผลที่ดีกว่าอีกด้วย



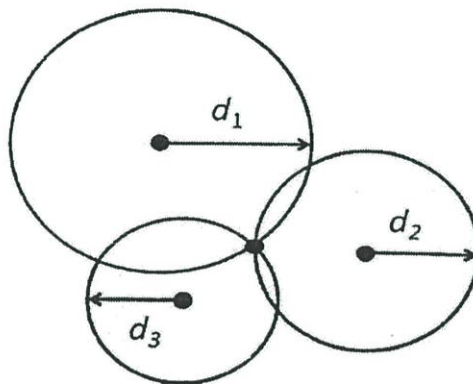
รูปที่ 2.15 (a) การระบุตำแหน่งโดยตรงและ (b) การระบุตำแหน่งแบบสองขั้นตอน [3]

ในการหาตำแหน่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ไม่มีการอ้างอิงตำแหน่ง และช่วงที่อ้างอิงตำแหน่งจากฐานข้อมูล ช่วงที่อ้างอิงแบบแผนการรับข้อมูลบนพื้นฐานเวลาการมาถึงของสัญญาณ ค่าความแรงของสัญญาณความต่างของเวลาในการมาถึงของสัญญาณและทิศทาง การมาถึงของสัญญาณ เมื่อพิจารณาที่ช่วงข้อมูลระหว่างโนดแล้วการประมาณตำแหน่งผ่านข้อมูลเหล่านี้ ช่วงที่แบบแผนที่อ้างอิงให้ความแม่นยำที่สูงกว่าช่วงแบบแผนที่ไม่มีการอ้างอิงสำหรับการหาตำแหน่งในแต่ละสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามในการหาตำแหน่งนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวัดจะขึ้นอยู่กับความต้องการความเที่ยงตรงและข้อจำกัดของเครื่องรับหรือเครื่องส่งอีกด้วย

2.6.1 การพิจารณาค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ (RSS)

RSS เป็นวิธีการพิจารณาตำแหน่งโดยพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณซึ่งถูกลดทอนลงเนื่องจากการสูญเสียในวิถี (Path Loss attenuation) โดยใช้การตัดกันของวงกลมซึ่ง

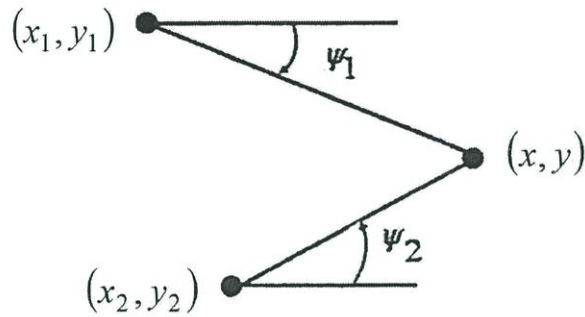
เป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน เราสามารถหาระยะทางโดยการคำนวณจากความแรงของสัญญาณที่รับได้ ด้วยวิธีการนี้จึงต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2.16 อย่างไรก็ตามการหาตำแหน่งโดยวัดค่าความแรงของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์การจางหายหลายวิถี(Multipath fading)และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (Shodowing) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณทำให้การหาตำแหน่งโดยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 2.16 การหาตำแหน่งโดยวิธี Received signal strength [4]

2.6.2 การพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึง (AOA)

AOA เป็นการหาตำแหน่งโดยดูทิศทางของสัญญาณโดยการคำนวณความแตกต่างของเฟสของสัญญาณที่ไปถึงสายอากาศแต่ละตัวที่ใช้อยู่ในชุดรับสัญญาณ โดยในการหาตำแหน่งนั้นต้องมีชุดสายอากาศที่ทำงานเหมือนกันทุกประการจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า Phase array antenna อย่างน้อย 2 ตัวดังแสดงในรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าการหาตำแหน่งด้วยวิธี AOA ทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงอีกทั้งยังต้องเจอปัญหาความผิดพลาดจากปรากฏการณ์กระเจิง Scattering ของคลื่นวิทยุอีกด้วย จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้วิธีในการหาตำแหน่งมากนัก



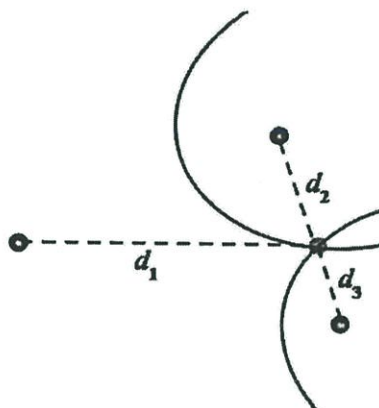
รูปที่ 2.17 การหาตำแหน่งโดยวิธี Angle of arrival (AOA) [4]

2.6.3 การพิจารณาเวลาการมาถึงของสัญญาณ (TOA)

TOA จะมีลักษณะการพิจารณาหาตำแหน่งคล้าย RSS เพียงแต่เปลี่ยนพารามิเตอร์ที่พิจารณาเป็นเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน เป็นการพิจารณาตำแหน่ง โดยใช้การตัดกันของวงกลมเช่นเดียวกับ RSS ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่ภาครับอยู่ห่างจากสถานีฐาน โดยสามารถจะหาระยะทางได้โดยการคำนวณจากเวลาที่สัญญาณจากภาครับเดินทางมาถึงสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันเช่นเดียวกับ RSS แสดงดังรูปที่ 2.16 จึงจะได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ด้วยวิธีการนี้เราไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมอะไรเข้าไปยังอุปกรณ์ทางด้านภาครับแต่ต้องการ Hardware และ Software สำหรับสถานีฐาน อย่างไรก็ตามเทคนิค TOA เมื่อนำมาใช้ภายในอาคารที่มีระยะทางที่สั้น เวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณจะน้อยมากทำให้ยากในการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคนี้ [4]

2.6.4 การพิจารณาค่าความต่างของเวลา(TDOA)

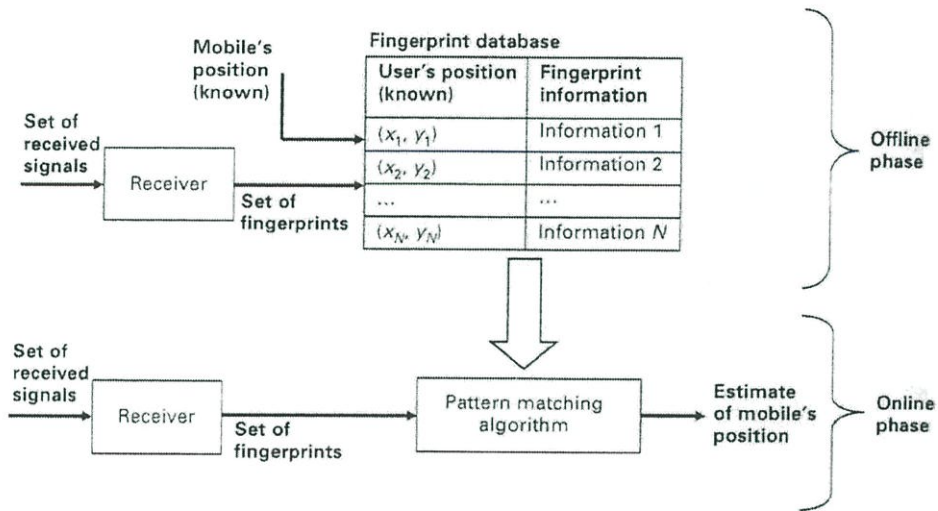
วิธีการหาตำแหน่งด้วยวิธีของ TDOA มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ TOA เนื่องจาก TOA พิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางของแต่ละสถานีฐาน ส่วนวิธี TDOA จะวัดความต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐานแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟของ Hyperbolic ซึ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการจึงต้องใช้เส้นกราฟอย่างน้อย 2 เส้นมาตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานีดังแสดงในรูปที่ 4 สิ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือแต่ละสถานีฐานต้องมีการเข้าจังหวะที่ตรงกัน อย่างไรก็ตามเช่นเดียวกับเทคนิค TOA เมื่อนำมาใช้ภายในอาคารที่มีระยะทางที่สั้น เวลาที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณจะน้อยมากทำให้ยากในการพิจารณาหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคนี้



รูปที่ 2.18 การหาตำแหน่งโดยวิธี Time difference of arrival (TDOA) [4]

2.6.5 การพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง (Fingerprinting)

วิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง (Location pattern or Fingerprinting) จะมีลักษณะคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ โดยที่จะเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการนำมาพิจารณาเป็นฐานข้อมูลชุดที่ 1 และเก็บค่าข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลทดสอบ แล้วนำข้อมูลทั้งสองชุดเปรียบเทียบความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 หลังจากนั้นทำการแสดงตำแหน่งโดยเปรียบเทียบค่าที่ใกล้เคียงที่สุดโดยเทคนิคนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สถานีฐานจำนวนมากเหมือนกับเทคนิคอื่นๆ เพราะเมื่อมีสถานีฐานเพียงอย่างน้อย 1 สถานีฐานก็สามารถหาตำแหน่งได้ ข้อเสียของการพิจารณาหาตำแหน่งด้วยวิธีการนี้คือ จำเป็นต้องมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการพิจารณาในปริมาณมากเพื่อเป็นในฐานข้อมูลได้ และยังต้องใช้เวลานานในการเก็บค่าเอกลักษณ์นอกจากนั้นแล้วหากบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่มาก เทคนิคนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้สำหรับการหาตำแหน่งภายนอกอาคารอีกด้วย [5]



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมของวิธี UWB-Fingerprinting [6]

2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิค UWB-Fingerprinting ที่ใช้สำหรับการหาตำแหน่ง

ในการหาตำแหน่งโดยวิธีการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ของสัญญาณแถบกว้างยั้งนั้นก่อนอื่นจะขอกกล่าวถึงสัญญาณที่ส่งของแถบกว้างยั้ง ซึ่งในที่นี้นั้นได้กำหนดให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมเพื่อที่จะได้ต่อการคำนวณและวิเคราะห์ หลังจากนั้นก็ได้ทำการวิเคราะห์ว่าสัญญาณที่ได้รับ และจะขอกกล่าวถึงวิธีการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ของแถบกว้างยั้ง ค่าพารามิเตอร์และวิธีที่ใช้ในการสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ของสัญญาณแถบกว้างยั้ง และยังกล่าวถึงวิธีการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของแถบกว้างยั้งเพื่อใช้ในการประมาณหาตำแหน่ง ท้ายสุดเป็นการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของการพิจารตำแหน่งของแถบกว้างยั้ง

2.7.1 สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยั้ง

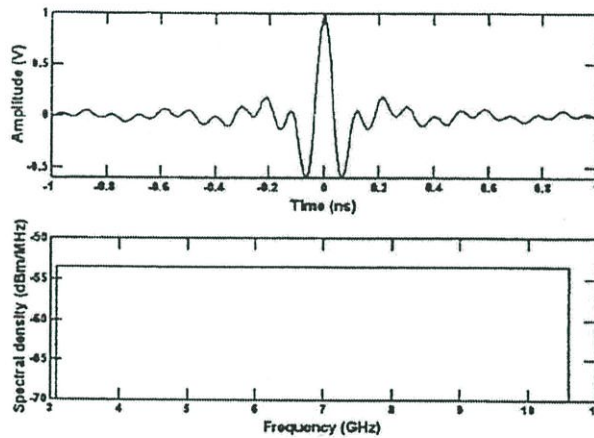
สัญญาณส่งแบบแถบกว้างยั้งสำหรับโครงการนี้ ได้กำหนดให้มีลักษณะเป็นรูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่รูปคลื่นแถบผ่านสี่เหลี่ยมในโดเมนเวลา (Time domain) และฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมในโดเมนความถี่ (Frequency domain) สามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$v_i(t) = \frac{A}{f_b} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (2.21)$$

$$V_i(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_b} & \text{if } |f - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 0 & \text{if } |f - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (2.22)$$

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

จะเห็นว่ารูปคลื่นแถบสี่เหลี่ยมผ่านนี้มีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้อยู่ในช่วง 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz นั่นคือจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ $-f_H$ ถึง $-f_L$ และ f_L ถึง f_H มีเฟสเป็นศูนย์ รูปคลื่นนี้เป็นแบบฟังก์ชันคู่ และมีส่วนประกอบกระแสตรง (Direct Current:DC) เป็นศูนย์



รูปที่ 2.20 รูปคลื่นและความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณสี่เหลี่ยม

2.7.2 สัญญาณที่รับได้

สัญญาณที่รับได้นั้นจะอยู่ในรูปของโดเมนความถี่เนื่องจากว่าตอนที่ได้ส่งสัญญาณออกมานั้นได้ทำการแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่แล้วจึงส่งผ่านอากาศออกมา เพราะฉะนั้นสัญญาณที่รับได้นั้นจึงเป็นสัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่ด้วย โดยสามารถวิเคราะห์หาได้จากการนำฟังก์ชันความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่งคูณกับฟังก์ชันการถ่ายโอน ความถี่ของช่องสัญญาณ จึงสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (2.23)$$

เมื่อ $V_t(f)$ คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณส่ง

$H_c(f)$ คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนความถี่ของช่องสัญญาณ ซึ่งได้จากการวัด

แต่สำหรับการวิเคราะห์ในส่วนที่เกี่ยวข้องนั้นจำเป็นต้องแปลงสัญญาณที่รับได้ในโดเมนทางความถี่เป็น โดเมนทางเวลา เนื่องจากต้องหาค่าการสูญเสียเชิงวิถีซึ่งจะพิจารณาในทางโดเมน

เวลาจึงต้องทำการแปลงสัญญาณที่รับได้จากโดเมนความถี่เป็นโดเมนทางเวลาซึ่งจะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4

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

2.7.3 การพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง

การพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ของสัญญาณแถบกว้างยิ่งนั้นมีลักษณะคล้ายกับการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของมนุษย์ จะมีหลักการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอนดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 นั่นคือจะมีการเก็บค่าฐานข้อมูลที่เหมาะสมไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยค่าพารามิเตอร์ของการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง นั้นจะใช้เป็นระยะห่างของแต่ละจุดความหนาบางของเส้นเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ความเข้มอ่อนของเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง โดยที่ได้กล่าวมานี้จะเป็นการเก็บแบบการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง แต่สำหรับการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง แบบแถบกว้างยิ่งจะเก็บค่าพารามิเตอร์เป็นค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss) และค่าการประวิงเวลา (Delay time) และอีกส่วนหนึ่งจะเป็นการนำเอาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ทดสอบมาเปรียบเทียบกับเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ต้นแบบเพื่อหาตำแหน่งที่เราต้องการใช้

2.7.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง (UWB-Fingerprinting)

ในการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่ว่าจะเป็นระดับของกำลังงาน และเวลาประวิงที่เกิดขึ้นปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสัญญาณที่รับได้ทั้งสิ้นเมื่อทำการส่งสัญญาณจากภาคส่งไปยังภาครับโดยผลที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะต้องทำการตรวจสอบเบื้องต้นด้วยวิธีการทดสอบจากนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ นั้นจำเป็นต้องนำมาเพื่อวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบ และการเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวไปแล้วโดยใช้ขั้นตอนนี้มีความสำคัญพอๆ กับขั้นตอนการทดสอบซึ่งมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจในพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ ดังนี้

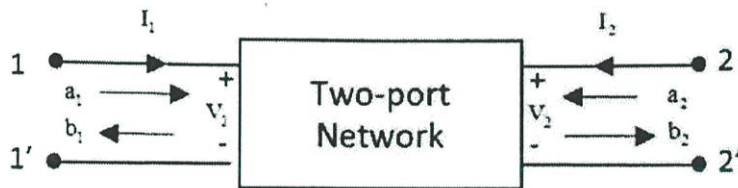
2.7.4.1 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านช่องสัญญาณ

สำหรับขั้นตอนของการทดสอบนั้นจะเป็นลักษณะการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน(Transmission coefficient:) สัญญาณจากพอร์ตที่หนึ่งไปยังพอร์ตที่สองของเครื่องวิเคราะห์ โครงข่ายแบบเวกเตอร์ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว สามารถหาได้จากหลักการของพารามิเตอร์การกระจัดกระจาย (Scattering parameter) หรือเรียกว่า S-parameter ซึ่งมีนิยามตามเมตริกซ์การกระจัดกระจาย (Scattering matrix) ของโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต ดังสมการที่ 2.25 และแสดงในรูปที่ 2.21

$$\bar{b} = \bar{S}\bar{a} \quad (2.25)$$

โดยที่

\bar{a} คือ เวกเตอร์การส่งผ่าน
 \bar{b} คือ เวกเตอร์การสะท้อน
 \bar{S} คือ เวกเตอร์การกระจาย



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมโครงข่ายแบบ 2 พอร์ต

ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ดังสมการที่ 2.26 และ 2.27

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

โดยที่

- a_1 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตหนึ่ง
- b_1 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตหนึ่ง
- a_2 คือ สัญญาณที่ส่งผ่านเข้าไปยังพอร์ตสอง
- b_2 คือ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายังพอร์ตสอง

ซึ่งสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้สามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (2.28)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_1 \right) \quad (2.29)$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} + \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (2.30)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\sqrt{Z_0}} - \sqrt{Z_0} I_2 \right) \quad (2.31)$$

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

จากสมการที่ 2.12, 2.13, 2.14 และ 2.15 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการกระจายดังสมการที่ 2.16 และ 2.17

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12} \quad (2.33)$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22} \quad (2.34)$$

โดยที่

- S_{11} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตหนึ่ง
- S_{22} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตสอง
- S_{12} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน(Forward)
- S_{21} คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านผกผัน(Reverse)

สำหรับพารามิเตอร์ของการกระจายของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ตยังสามารถที่จะกำหนดในเทอมของคลื่นส่งผ่านและคลื่นสะท้อนได้ดังนี้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.35a)$$

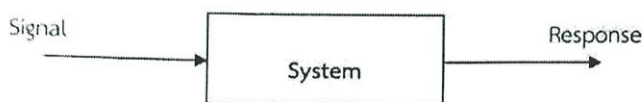
$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.35b)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.35c)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.35d)$$

2.7.4.2 ผลตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณ

เมื่อทดสอบช่องสัญญาณโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ จะต้องเข้าใจในเรื่องของระบบสัญญาณโดยระบบคือกลุ่มที่อยู่รวมกัน ซึ่งจะต้องสามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดความสำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ต้องการ โดยสัญญาณคือปริมาณทางกายภาพบางอย่างที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบเรียกว่า สัญญาณเข้าหรือสัญญาณอินพุต(Input signal) ของระบบ และสัญญาณออกหรือสัญญาณเอาต์พุต(Output signal) ซึ่งเป็นปริมาณทางกายภาพที่ออกมาจากระบบ หรือเรียกผลตอบสนอง(Response) ของระบบ โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบดังรูปที่ 2.8 ซึ่งผลตอบสนองดังกล่าวได้แสดงถึงคุณสมบัติของระบบ ละจากการทดสอบผลที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณนั้นจะแปรผันตรงกับฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่(Frequency transfer function) ของช่องสัญญาณโดเนฟังก์ชันถ่ายโอนทางความถี่ดังกล่าวนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองความถี่ของสัญญาณที่ทำการพิจารณาจะประกอบด้วยขนาดสัญญาณที่ส่งผ่าน และผลตอบสนองทางเฟส(Phase response) ของสัญญาณโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสัญญาณกับฟังก์ชันถ่ายโอนของช่องสัญญาณสามารถกำหนดตามสมการที่ 2.19 และแสดงดังรูปที่ 2.10

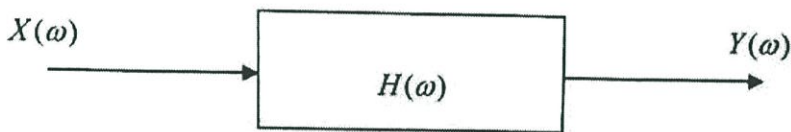


รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์การถ่ายโอนระบบ

$$S_{21}(\omega) \propto H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (2.36)$$

โดยที่

$Y(\omega)$ คือ เอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่
 $X(\omega)$ คือ อินพุตของระบบในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของระบบในโดเมนความถี่

2.7.4.3 ทฤษฎีการสูญเสียเชิงวิถี (Path loss)

ในระบบการสื่อสารไร้สายนั้นเป้าหมายหลักของการจำลองการแพร่กระจายคลื่นคือ การคาดการณ์ถึงค่าความสูญเสียกำลังงานของสัญญาณ PL เนื่องจากการแพร่กระจายผ่านช่องสัญญาณโดยพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างระดับกำลังงานที่ใช้ส่งและระดับกำลังงานที่รับได้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะแสดงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบล (Decibel) [11] ดังแสดงในสมการที่ 5

$$PL[\text{dB}] = 20 \log \left[\frac{v_t(t)}{v_r(t)} \right] \quad (2.37)$$

โดยที่ v_t คือ ระดับสัญญาณที่ใช้ส่ง
 v_r คือ ระดับสัญญาณที่รับได้

โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานในระบบแถบกว้างยิ่ง PL_{UWB} นั้นจะพิจารณาที่กำลังงานสูงสุดของสัญญาณที่ใช้ส่งและกำลังสูงสุดของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง (d) โดยมีนิยามเป็นไปตามสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

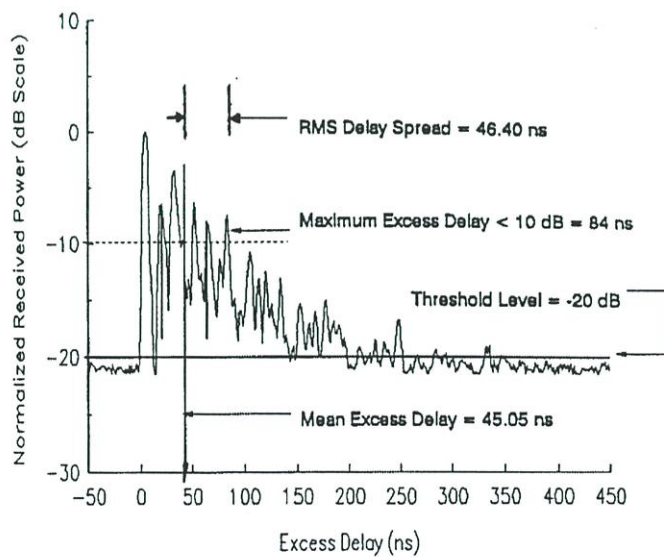
$$PL_{UWB}(d)[dB] = 20 \log \left[\frac{\max |v_t(t)|}{\max |v_r(t,d)|} \right] \quad (2.38)$$

โดยในสมการที่ 6 ได้กำหนดให้ขนาดของสัญญาณที่ใช้ส่งมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$PL_{UWB}(d)[dB] = -20 \log [\max |v_r(t,d)|] \quad (2.39)$$

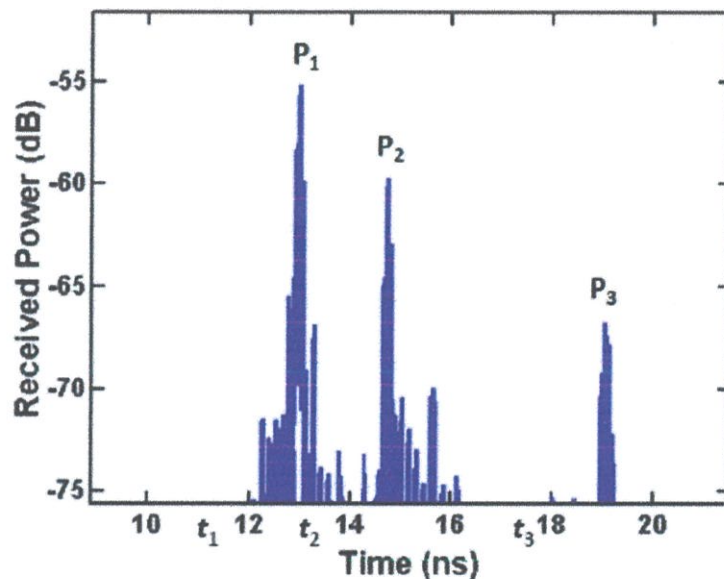
2.7.4.2 ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน (Power delay profile: PDP)

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับกำลังงานของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับที่เวลาต่างๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสัญญาณที่มีการสะท้อนในหลายทิศทางหรือที่เรียกว่าสัญญาณหลายวิถีโดยจะเรียกว่า ภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน ซึ่งตัวอย่างของค่าการประวิงเวลาได้แสดงดังรูปที่ 2.21 โดยจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่อเวลาที่เข้ามาถึงและนอกจากนั้นยังสามารถนำไปพิจารณาถึงผลการกระจายทางเวลา (Time dispersion) อันประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาประวิง (Mean excess delay) และ ค่าการแผ่ของเวลาประวิง (RMS delay spread) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างภาพหน้าตัดข้างการประวิงกำลังงาน [7]

จากที่เคยกล่าวมาข้างต้นสัญญาณแถบกว้างยังเป็นสัญญาณที่มีความละเอียดทางเวลา มาก กำลังงานของรูปคลื่นที่มาจากวิถีต่างๆ ซึ่งจะพิจารณารูปคลื่นทั้งหมด 3 วิถีที่มีกำลังมากที่สุด ซึ่งในโครงการนี้ได้นำเอาทฤษฎีช่องสัญญาณตรงแบบสองทิศทาง (Double directional channel) มาทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งโดยทำการเก็บค่าพารามิเตอร์จากสายอากาศส่งที่ 1 และ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ของสัญญาณแถบกว้างยั้งนั้นจะประกอบไปด้วยค่าการสูญเสียเชิงวิถี และค่าการประวิงเวลาของวิถี 1, 2 และ 3 จากรูปที่ 8 จะได้การสูญเสียเชิงวิถีที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเป็น $PL_1 = -P_1$, $PL_2 = -P_2$ และ $PL_3 = -P_3$ ตามลำดับ การเก็บค่าพารามิเตอร์นี้จะทำการเก็บทั้ง 2 สายอากาศส่งส่วนการประวิงเวลาของวิถี 1, 2 และ 3 มีค่าเป็น t_1 , t_2 และ t_3 ตามลำดับ โดยพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกเก็บเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ต้นแบบของสัญญาณแถบกว้างยั้งในแต่ละตำแหน่งและเก็บไว้ในฐานข้อมูล ใช้คู่ลำดับ (x, y) แทนพิกัดตำแหน่งแกน x และแกน y



รูปที่ 2.25 รูปคลื่นในการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้าง UWB-Fingerprinting

2.7.5 วิธีพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของสัญญาณแถบกว้างยั้ง

ในวิธี UWB-Fingerprinting นั้น ขั้นตอนแรกจะทำการหาพารามิเตอร์จากกำลังของสัญญาณที่รับได้เพื่อสร้างลายลักษณ์ต้นแบบ ของสายอากาศส่งทั้ง 4 อัน โดยพารามิเตอร์ของฐานข้อมูลมีพารามิเตอร์เป็น p_{r1}, p_{r2}, p_{r3} และ p_{r4} และมีพิกัดคือ (m, n) ทั้งหมด 25 จุด ส่วนพารามิเตอร์จากกำลังของสัญญาณที่รับได้ที่จะใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบคือ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} และ

p_{a4} และมีพิกัดคือ (i,j) ทั้งหมด 81 จุด โดยค่าความต่างของลายลักษณ์ $e_f(m,n)$ ในตำแหน่ง (m,n) หาได้จากสมการ 2.28

$$e_f(m,n) = \left[\begin{aligned} & [Pa1(i,j) - Pr1(m,n)]^2 + [Pa2(i,j) - Pr2(m,n)]^2 \\ & + [Pa3(i,j) - Pr3(m,n)]^2 + [Pa4(i,j) - Pr4(m,n)]^2 \end{aligned} \right] \quad (2.40)$$

2.7.6 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง

ในการวิเคราะห์หาความเที่ยงตรงของการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่งของนั้น จะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดของระยะทาง โดยกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_e, y_e) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง และกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดที่ถูกต้อง ค่าความผิดพลาดของระยะทาง e_d จะสามารถคำนวณได้จาก

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (2.41)$$

ค่าผิดพลาดระยะทางนี้จะเป็พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเที่ยงตรงของการหาตำแหน่งโดยใช้วิธีการพิจารณาเอกลักษณ์เฉพาะตำแหน่ง ซึ่งจะมีความเที่ยงตรงมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

3.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป Circular Patch

3.1.1 การคำนวณรูปร่างของสายอากาศด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

3.1.1.1 การคำนวณขนาดของสายอากาศ

1) กำหนดช่วงความถี่ที่ต้องการ สำหรับปริญญาโทเลือก ช่วงความถี่เท่ากับ 3.1-10.6 GHz ตามมาตรฐานช่วงความถี่ที่ได้กำหนดไว้โดยของคณะกรรมการกิจการ การสื่อสารแห่งประเทศไทย (FCC)

2) ขนาดของแผ่นทองแดงส่วนแพร่กระจายคลื่น ในส่วนนี้ จะ กำหนดวัสดุที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่น คือ ทองแดง และขนาดของลายทองแดงจะถูกกำหนดด้วย ความถี่ที่ใช้งาน โดยออกแบบลายทองแดงให้เป็นรูปวงกลม จะสามารถกำหนดขนาดได้จากการ คำนวณสูตร

$$R = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{F\pi}{2h} \right) + 1.7726 \right]}} \quad (3.1)$$

เมื่อ R = Patch radius (mm)
 h = Substrate thickness (mm)
 ϵ = Dielectric effective constant

หาค่า F ได้จาก

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_0 \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791 \times 10^9}{3.1 \times 10^9 \times \sqrt{4.3}} = 1.36 \quad (3.2)$$

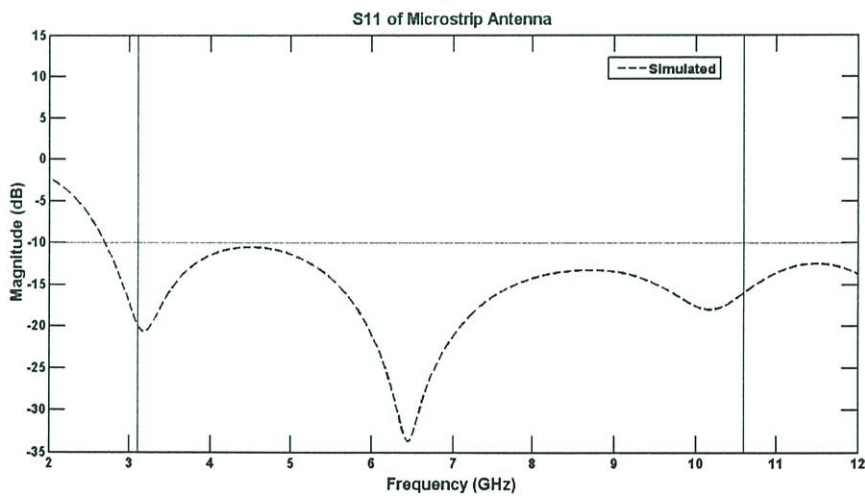
แทนค่า F ในสมการที่ 3.1 จะได้ $R = 13$ มิลลิเมตร

- 3) ขนาดของวัสดุฐานรอง กำหนดตามความเหมาะสมจากรัศมีของแผ่นทองแดง
- 4) กำหนดขนาดของระนาบกราวด์ ออกแบบให้ได้ช่วงความถี่ที่ต้องการ

3.1.1.2 การจำลองสายอากาศ

จากการออกแบบและคำนวณค่าสายอากาศแบบไมโครสตริป ทำให้ทราบค่าโครงสร้างของสายอากาศโดยคร่าวๆ แต่ยังไม่ทราบถึงคุณสมบัติโดยรวม จึงต้องนำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นสายอากาศจำลอง สำหรับปริญญาโทเล่มนี้เป็นการจำลองสายอากาศจากโปรแกรมจำลองสายอากาศ (CST Microwave Studio) หากค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ต้องทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางอย่างของโครงสร้าง เช่น ความยาวสายส่ง ความกว้างสายส่งรัศมีของแผ่นตัวนำทรงกลม รวมทั้งความกว้างความยาวของกราวด์ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นก่อนนำไปสร้างขึ้นจริง ผลจากการจำลองสายอากาศถูกแสดง ดังนี้

- 1) ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient) ของสายอากาศไมโครสตริปแสดงใน รูปที่ 3.1

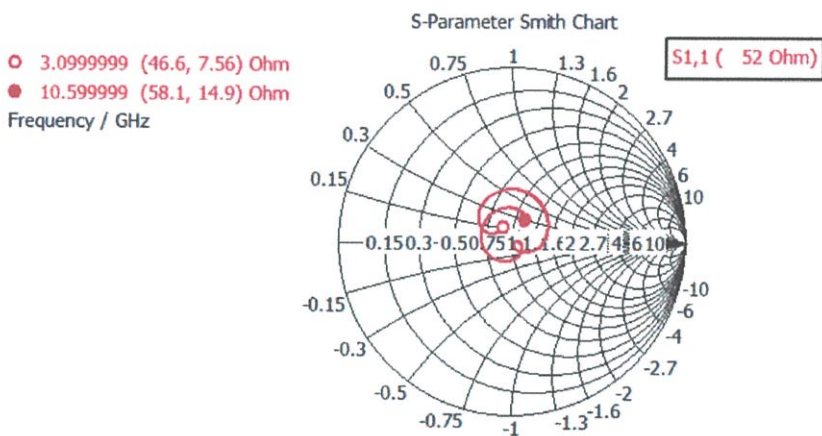


รูปที่ 3.1 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศ

จากผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศไมโครสตริป จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 3.1 GHz มีค่าเท่ากับ -21 dB และที่ความถี่ 10.6 GHz มีค่าเท่ากับ -15 dB ส่วนที่ความถี่อื่นๆระหว่างช่วง 3.1-10.6 GHz ก็มีค่าต่ำกว่า -10 dB นั้นแสดงว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปนี้สามารถแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ 3.1-10.6 GHz ได้ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจึงสามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้

2) ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

ดังรูปที่ 3.2

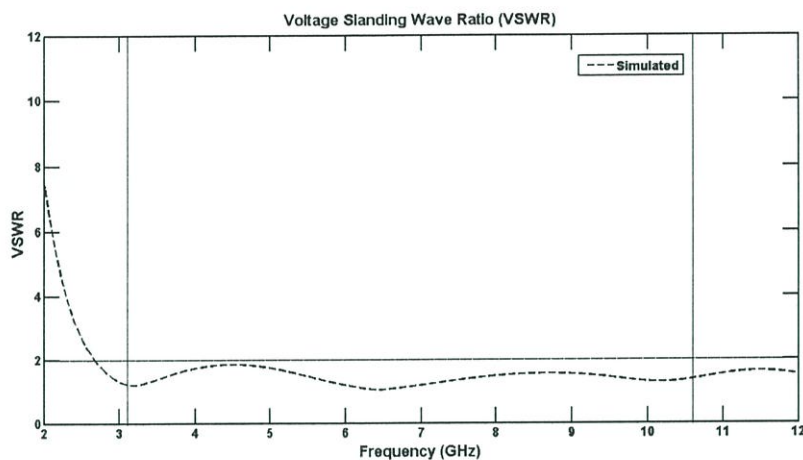


รูปที่ 3.2 ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

จากการจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปในรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 3.1 GHz ค่าอิมพีแดนซ์ มีค่าเท่ากับ 46.6+7.56i โอห์ม, ที่ความถี่ 10.6 GHz ค่าอิมพีแดนซ์ มีค่าเท่ากับ 58.1+14.9i โอห์ม S_{11} มีค่า 52 โอห์ม

3) ผลการจำลองค่า VSWR ของสายอากาศไมโครสตริป ดังรูปที่

3.6



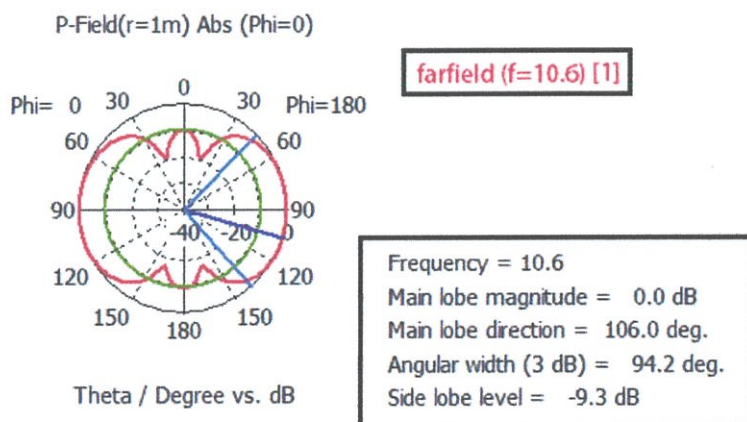
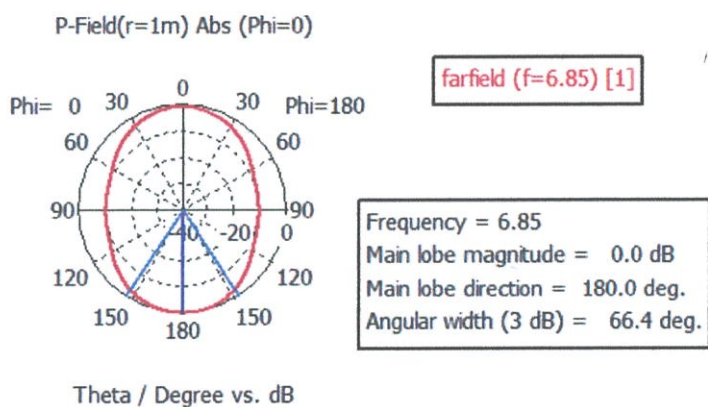
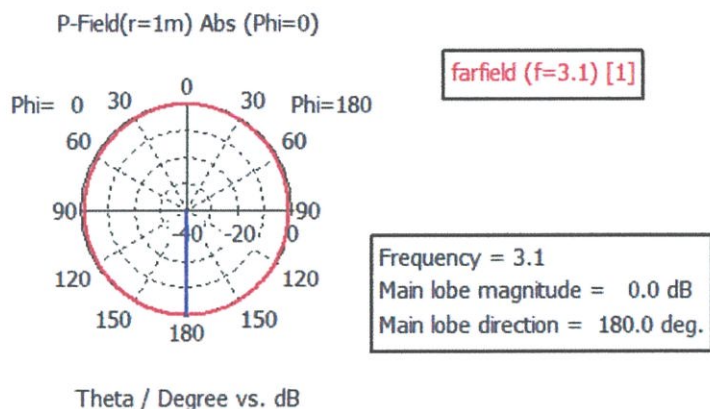
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองค่า VSWR

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่าความถี่ที่นำไปใช้ได้ต้องมีค่า VSWR น้อยกว่า 2 ดังนั้นค่าความถี่ที่ใช้ได้นั้นจะครอบคลุมความถี่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz

4) ผลการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริบ

การจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริบต้องคำนึงถึงย่านความถี่ที่ใช้งานด้วย ในปริญญาโทเล่มนี้ใช้ช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz ดังนั้นในการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นจึงต้องวัดสามความถี่ คือ ความถี่ต้น 3.1 GHz, ความถี่กลาง 6.85 GHz และความถี่ปลาย 10.6 GHz ผลที่ได้จากการจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นดังนี้

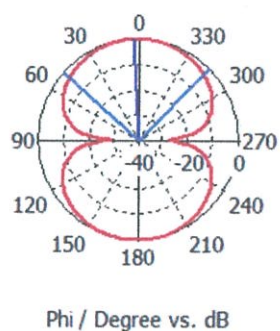
แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ต้น 3.1 GHz, ความถี่กลาง 6.85 GHz และความถี่ปลาย 10.6 GHz ถูกแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า
ที่ความถี่ 3.1 GHz, 6.85 GHz และ 10.6 GHz

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ต้น 3.1 GHz, ความถี่กลาง 6.85 GHz และความถี่ปลาย 10.6 GHz ถูกแสดงดังรูปที่ 3.5

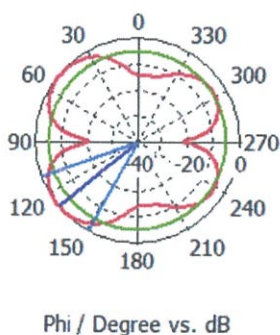
P-Field($r=1m$) Abs (Theta=90)



farfield ($f=3.1$) [1]

Frequency = 3.1
Main lobe magnitude = 0.0 dB
Main lobe direction = 3.0 deg.
Angular width (3 dB) = 93.6 deg.

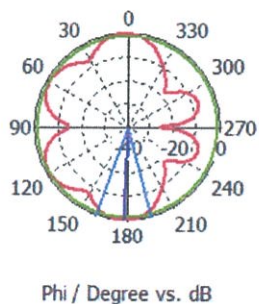
P-Field($r=1m$) Abs (Theta=90)



farfield ($f=6.85$) [1]

Frequency = 6.85
Main lobe magnitude = 0.0 dB
Main lobe direction = 130.0 deg.
Angular width (3 dB) = 41.6 deg.
Side lobe level = -4.7 dB

P-Field($r=1m$) Abs (Theta=90)

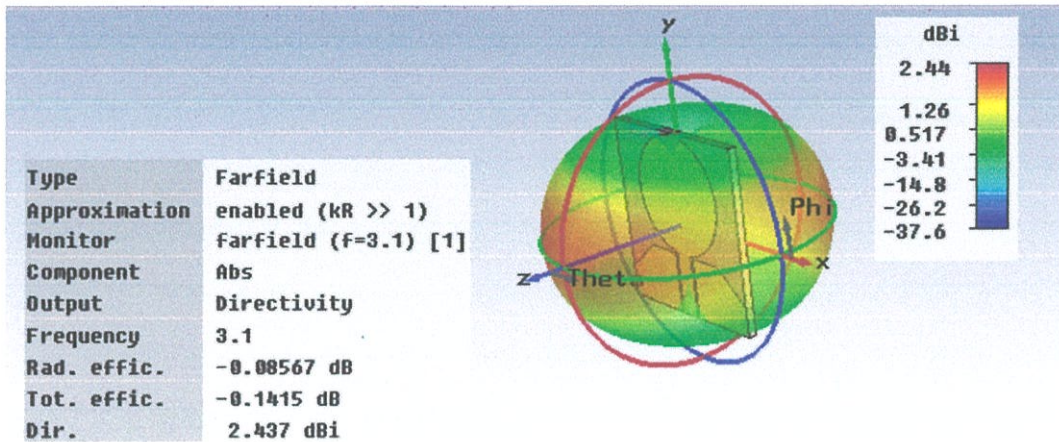


farfield ($f=10.6$) [1]

Frequency = 10.6
Main lobe magnitude = 0.0 dB
Main lobe direction = 178.0 deg.
Angular width (3 dB) = 35.0 deg.
Side lobe level = -1.1 dB

รูปที่ 3.5 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1, 6.85 และ 10.6 GHz

แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเทียบกับสายอากาศ



รูปที่ 3.6 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเทียบกับสายอากาศ

จากรูป 3.6 เห็นว่าเมื่อนำกราฟโพลาร์ทั้งสองของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า รูปที่ 3.4 และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็ก รูปที่ 3.5 มาตั้งฉากซึ่งกันและกันก็จะได้กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่เป็นสามมิติ เมื่อนำมาวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าสายอากาศดังกล่าวมีทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นรอบตัวสายอากาศ

จากผลการจำลองสายอากาศแบบไมโครสตริป จะเห็นได้ว่าผลของการจำลองจะทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ความถี่ 3.1 GHz, 6.85 GHz และ 10.6 GHz เนื่องจากเป็นสายอากาศแบบแถบกว้าง จึงมีแบนด์วิดท์เป็นช่วงกว้าง การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จึงไม่สามารถพิจารณาเฉพาะความถี่ศูนย์กลางได้อย่างสายอากาศแถบความถี่แคบ ดังนั้นสายอากาศนี้จึงพิจารณาที่ความถี่ 3 ช่วงเพื่อให้สามารถพิจารณาค่าพารามิเตอร์ได้ครอบคลุมทั้งแถบความถี่

3.1.1.3 สร้างและทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ

จากการจำลองสายอากาศแบบไมโครสตริป ทำให้ทราบค่าโครงสร้างต่างๆ ของสายอากาศรวมทั้งคุณสมบัติโดยรวมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในหัวข้อนี้จึงต้องนำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ใช้ติดบนร่างกาย เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติในขั้นตอนต่อไปได้ สำหรับการสร้างสายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นมีวิธีสร้าง ดังนี้

- 1) นำค่าต่างๆของโครงสร้างของสายอากาศที่ได้จากการจำลองสายอากาศด้วยโปรแกรมจำลองสายอากาศ CST MICROWAVE STUDIO มาสร้างด้วยขนาดจริง
- 2) นำแบบที่สร้างขึ้นจากข้อที่ 1) สร้างลงบนแผ่น FR4 ที่มีความหนา 1.6 มิลลิเมตร และมีความหนาของทองแดงประมาณ 0.035 มิลลิเมตร
- 3) หลังจากได้แผ่นสายอากาศแล้ว ให้บัดกรีหัวต่อชนิด SMA 50 โอห์มกับสายนำสัญญาณของสายอากาศ
- 4) ทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศที่สร้างขึ้นในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเป็นหลักโดยการใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ (Vector Network Analyzer: VNA) เมื่อคุณสมบัติในเรื่องดังกล่าวผ่านแล้วให้สร้างสายอากาศคู่เหมือนของสายอากาศนั้นอีกอันหนึ่ง เพื่อใช้วิเคราะห์คุณสมบัติอื่นๆต่อไป

3.2 การออกแบบสายอากาศไปโคนิคอลล

ในการออกแบบสายอากาศไปโคนิคอลลขั้นตอนแรกเราจะต้องมีการกำหนด หรือคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ออกแบบก่อน จากนั้นจึงทำการออกแบบสายอากาศไปโคนิคอลลแล้วจึงค่อยนำไปสู่กระบวนการสร้างสายอากาศไปโคนิคอลล

3.2.1 การกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งาน

เนื่องจากสายอากาศไปโคนิคอลล เป็นสายอากาศแถบความถี่กว้างจึงต้องกำหนดช่วงความถี่ที่ใช้งานให้เหมาะสม กับงานที่ใช้โดยในโครงการนี้ต้องการสายอากาศที่ทำงานที่ย่านความถี่ 3.1GHz-10.6GHzและในกรณีที่ศึกษาเราจะใช้ย่านความถี่กลางคือ 6.85 GHz เป็นตัวพิจารณา

3.2.2 การกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไปโคนิคอลล

ในการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า ของสายอากาศไปโคนิคอลลเพื่อให้เหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ต่อกับสายอากาศ จึงต้องพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งที่ใช้กับสายอากาศไปโคนิคอลลซึ่งโครงงานนี้ใช้สายนำสัญญาณแบบ semi rigid coaxial ที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ดังนั้นความต้านทานของสายอากาศต้องเท่ากับ 50 โอห์มด้วยเพื่อให้เหมาะสมกัน

จากสมการ

$$Z_c = Z_{in} = \frac{\eta}{\pi} \ln[\cot(\alpha/4)] \quad ; \quad \eta = 120\pi \quad , \quad Z_{in} = 50\Omega \quad (3.3)$$

จะได้

$$50 = 120 \ln[\cot(\alpha/4)]$$

$$50/120 = 0.416 = \ln[\cot(\alpha/4)]$$

$$e^{0.416} = \cot(\alpha/4)$$

$$1.516 = \cot(\alpha/4)$$

$$1/1.516 = \tan(\alpha/4)$$

$$0.66 = \tan(\alpha/4)$$

$$\tan^{-1} 0.66 = \alpha/4$$

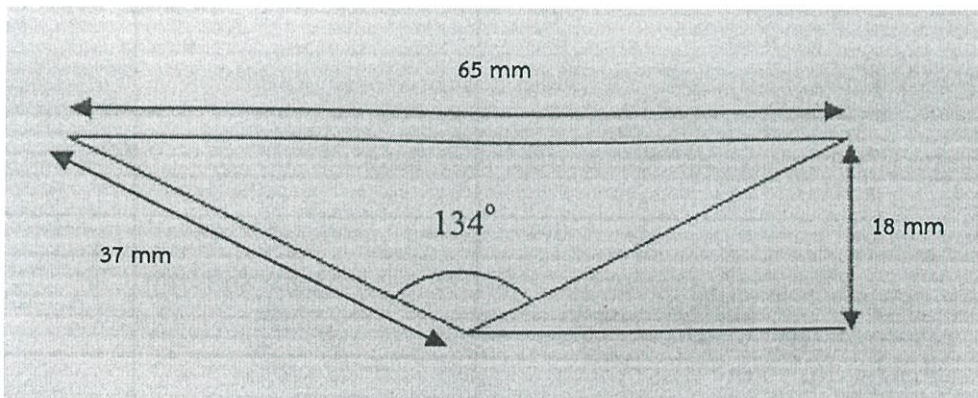
$$33.42 \times 4 = \alpha$$

$$\therefore \alpha = 133.68^\circ \cong 134^\circ$$

โดยที่ α คือมุมของกรวยและมุมครึ่งหนึ่งของกรวย $\alpha/2 = 67^\circ$

เมื่อลากเส้นตัด จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ด้านเข้า และมุมครึ่งหนึ่งของกรวยจากสมการที่(3.3) ที่อิมพีแดนซ์ด้านเข้าเท่ากับ 50 โอห์ม จะได้มุมครึ่งหนึ่งของกรวยมีค่าประมาณ 70 องศาและจะได้มุมของกรวยทั้งหมดประมาณ 140 องศา

3.2.3 ขนาดความยาวด้านต่างๆ และมุมของกรวย



รูปที่ 3.7 ความยาวด้านต่างๆ และมุมของกรวย

3.2.4 กระบวนการสร้างสายอากาศโบโคนิคอล

จากขนาดความยาวด้านต่างๆของกรวยที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อนำวัสดุคือ แผ่นทองเหลือง มาใช้ทำเป็นกรวย ก็จะได้กรวยแผ่นทองเหลือง ดังรูปที่ 3.8



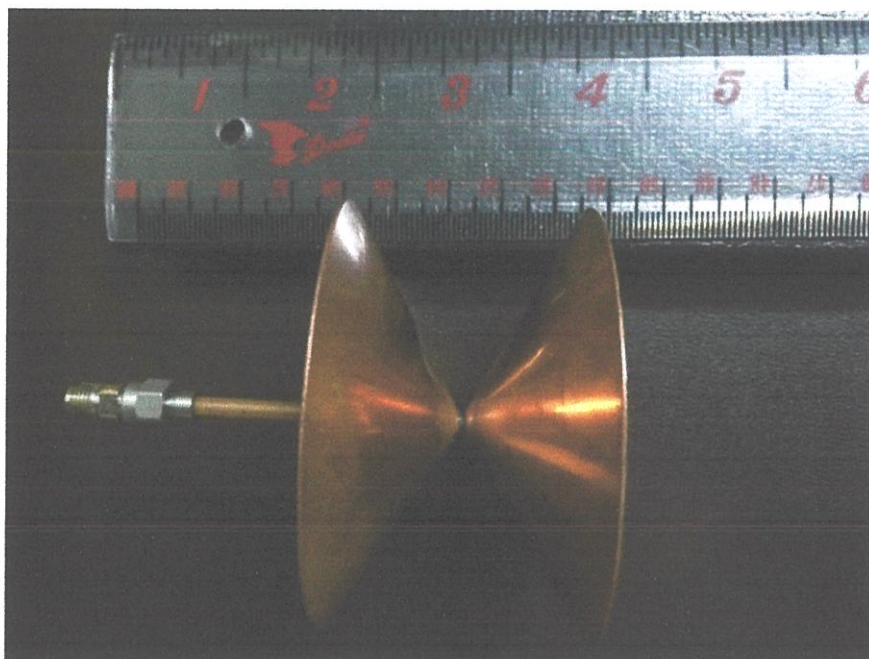
รูปที่ 3.8 กรวยที่ทำจากแผ่นทองเหลือง

จัดเตรียมอุปกรณ์

- 1) กรวยที่ทำจากแผ่นทองเหลืองจำนวน 2 อัน
- 2) สาย semi rigid ที่มีความต้านทาน 50 โอห์ม
- 3) หัวคอนดักเตอร์
- 4) ตะกั่ว บัดกรี และน้ำยาประสาน
- 5) หัวแร้ง จะต้องใช้ที่มีกำลังความร้อนสูง เพราะทองเหลืองมีความหนาอาจบัดกรีไม่ติด
- 6) ตะไบ และกระดาษทราย สำหรับตกแต่งสายอากาศ
- 7) สว่านสำหรับเจาะรู

3.2.4 การสร้างสายอากาศโบโคนิคอล

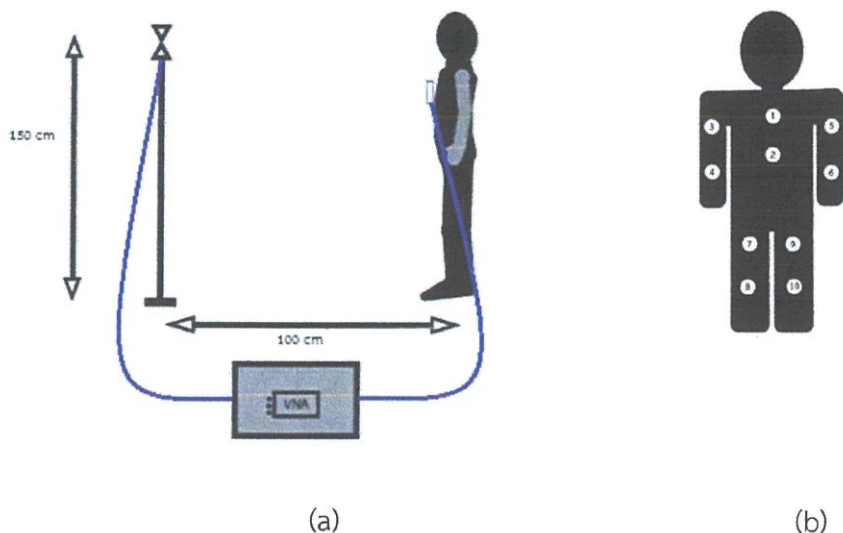
นำแผ่นทองเหลืองรูปทรงกรวย มาทำการเจาะรูที่ศูนย์กลาง ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.25 มิลลิเมตร นำสาย semi rigid ด้านหนึ่งไปต่อกับตัวคอนดักเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งปลอกสาย semi rigid ออกให้เหลือแต่ตัวนำทองแดงยาว 5 มิลลิเมตร นำแผ่นทองเหลืองทรงกรวยมาประกอบเข้าสาย semi rigid ด้วยการบัดกรีและแผ่นวงกลมประกอบให้ติดกับลวดตัวนำของสาย semi rigid โดยไม่ให้นำแผ่นทองเหลืองทั้งสองสัมผัสกันจะได้สายอากาศดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายอากาศโบโคนิคอลลี่นำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกันในขั้นตอนสุดท้าย

3.3 การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย

การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศไว้บนร่างกาย จะใช้สายอากาศด้านรับติดบนร่างกายในจุดต่างๆที่ได้กำหนดไว้รวม 10 จุด ซึ่งในแต่ละจุดจะติดไว้ที่ส่วนต่างๆของร่างกาย ดังรูปที่ 1(b) โดยหันสายอากาศด้านรับออกจากร่างกาย และสายอากาศด้านส่งจะวางไว้คงที่ที่ความสูง 150 เซนติเมตร ไม่มีการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และสายอากาศด้านส่งห่างจากสายอากาศด้านรับเป็นระยะทาง 100 เซนติเมตร ดังรูปที่ 1(a) และวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่างเพื่อทำการเปรียบเทียบผล



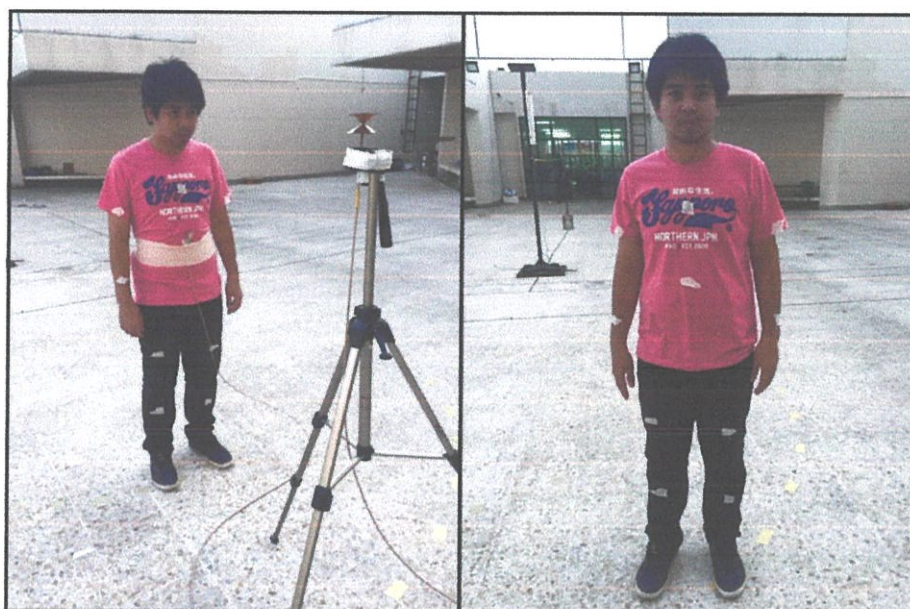
รูปที่ 3.10 การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย (แบบจำลอง)

จากรูปที่ 1(b) นั้นจุดวงกลมคือสายอากาศด้านรับที่ตำแหน่งต่างๆบนร่างกายทั้ง 10 จุดได้แก่ บริเวณลำตัว 2 จุด หน้าแข้งซ้ายขวา ต้นขาซ้ายขวา ท่อนแขนซ้ายขวา และต้นแขนซ้ายขวา ซึ่งความสูงของแต่ละจุดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความสูงของสายอากาศด้านรับที่ตำแหน่งต่างๆบนร่างกาย

ตำแหน่งของสายอากาศด้านรับ	ความสูงของสายอากาศด้านรับจากพื้น
จุดที่ 1	130 เซนติเมตร
จุดที่ 2	110 เซนติเมตร
จุดที่ 3	120 เซนติเมตร
จุดที่ 4	90 เซนติเมตร
จุดที่ 5	120 เซนติเมตร
จุดที่ 6	90 เซนติเมตร
จุดที่ 7	60 เซนติเมตร
จุดที่ 8	30 เซนติเมตร
จุดที่ 9	60 เซนติเมตร
จุดที่ 10	30 เซนติเมตร

และเมื่อนำแบบจำลองที่ได้ออกแบบขั้นนี้ไปทำการทดลองจริง แสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การออกแบบการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย (แบบวัดจริง)

ในปริศยานิพนธ์นี้ การออกแบบจำลองวัดช่องสัญญาณได้ถูกออกแบบให้มีพารามิเตอร์ในการวัดช่องสัญญาณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3 – 11 GHz
ประเภทสายอากาศส่ง	สายอากาศแบบกรวยคู่
ประเภทสายอากาศรับ	สายอากาศแบบไมโครสตริป
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
การวางสายอากาศด้านส่ง	แนวตั้ง
การวางสายอากาศด้านรับ	แนวตั้ง
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	150 เซนติเมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	เปลี่ยนตามจุดตำแหน่งบนร่างกาย
จำนวนจุดที่วัดบนร่างกาย	10 จุด
ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับร่างกาย	100 เซนติเมตร

จากตารางที่ 3.2 ความสูงของสายอากาศด้านส่งถูกกำหนดให้เป็น 150 เซนติเมตร เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สูงกว่าทุกตำแหน่งของสายอากาศด้านรับ ส่วนความสูงสายอากาศด้านรับ จะปรับเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่างๆบนร่างกาย ความถี่ที่ใช้ในการวัดจะอยู่ในช่วง 3 - 11 GHz

3.4 การออกแบบการวัดช่องสัญญาณสำหรับการหาตำแหน่ง

การออกแบบจำลองวัดช่องสัญญาณ จะใช้สถานที่บริเวณทางเดินหน้าลิฟท์ ของอาคาร 12 ชั้น ชั้นที่ 3 (E12-3) การออกแบบจำลองวัดช่องสัญญาณได้ถูกออกแบบให้มีพารามิเตอร์ ในการวัดช่องสัญญาณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดช่องสัญญาณ

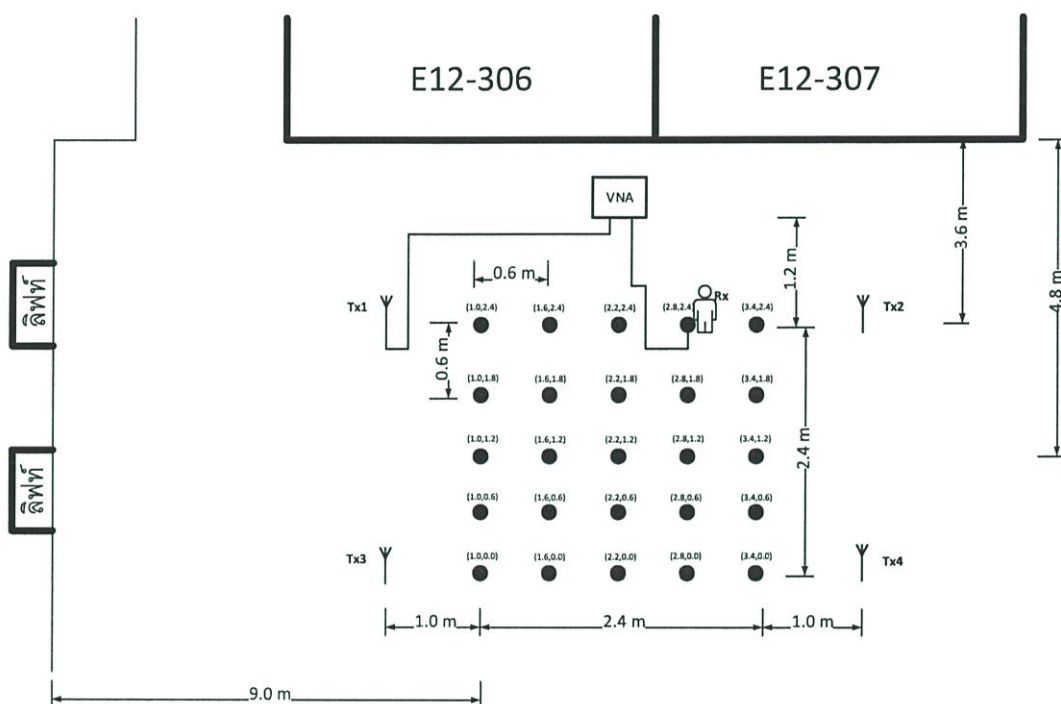
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
ช่วงความถี่	3 – 11 GHz
จำนวนจุดความถี่	801 จุด
ประเภทสายอากาศส่ง	สายอากาศแบบกรวยคู่
ประเภทสายอากาศรับ	สายอากาศแบบไมโครสตริป
การวางสายอากาศด้านส่ง	แนวตั้ง
การวางสายอากาศด้านรับ	แนวตั้ง
ความสูงของสายอากาศด้านส่ง	1.3 เมตร
ความสูงของสายอากาศด้านรับ	1.3 เมตร
ความยาวของสายนำสัญญาณด้านส่ง	5.0 เมตร
ความยาวของสายนำสัญญาณด้านรับ	5.0 เมตร

จากตารางที่ 3.3 ความสูงของสายอากาศด้านส่งถูกกำหนดให้เป็น 1.3 เมตร เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สูงเท่ากับตำแหน่งของสายอากาศด้านรับ คือ 1.3 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ ความยาวของสายนำสัญญาณด้านส่งเท่ากับ 5 เมตร และความยาวของสายนำสัญญาณด้านรับเท่ากับ 5 เมตร ซึ่งยาวรวมกันไม่เกิน 10 เมตร เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a

การออกแบบแบบจำลองในการหาตำแหน่งจะแบ่งเป็น แบบจำลองสำหรับฐานข้อมูล และแบบจำลองสำหรับการทดสอบ โดยแบบจำลองสำหรับฐานข้อมูลจะมีจำนวนข้อมูลที่น้อยกว่าแบบจำลองการทดสอบ เนื่องจากการใช้งานจริงเป็นไปได้ยากที่จะเก็บข้อมูลทุกๆตำแหน่ง ในการออกแบบจึงต้องทำการสุ่มข้อมูลขึ้นมาเพื่อทดสอบนั่นเอง

3.4.1 แบบจำลองสำหรับฐานข้อมูล

การออกแบบแบบจำลองการหาตำแหน่งสำหรับฐานข้อมูล จะใช้สถานที่และพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2 มาใช้ในการออกแบบแบบจำลองนี้ ซึ่งจากการออกแบบจะได้แบบจำลองสำหรับฐานข้อมูล ดังนี้



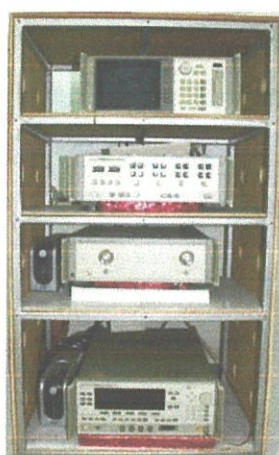
รูปที่ 3.12 แบบจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารสำหรับฐานข้อมูล

แบบจำลองการหาตำแหน่งสำหรับฐานข้อมูลนี้ จะใช้ตำแหน่งหรือจุดในการวัดทั้งหมด 25 จุด แบ่งออกเป็นตามแนวแกน X 5 จุด และตามแนวแกน Y 5 จุด ซึ่งมีพิกัดของแต่ละจุดต่างๆ ดังรูปที่ 3.12 และแต่ละจุดในแนวแกน X ห่างกัน 0.6 เมตร แต่ละจุดในแนวแกน Y ห่างกัน 0.6 เมตรเช่นกัน จะทำการวัดโดยใช้สายอากาศส่ง 4 จุด คือ Tx1, Tx2, Tx3, และ Tx4 โดยจะเก็บผลการทดลองของแต่ละสายอากาศส่งมาเป็นข้อมูลสำหรับฐานข้อมูล

เข้าไปแทรกทั้งแกนX และแกนY จะอยู่ตรงกลางระหว่างจุดเดิม ซึ่งทุกๆจุดห่างจากจุดเดิม 0.3 เมตร ดังรูปที่ 3.13 ดังนั้นแบบจำลองสำหรับการทดสอบจะมีจำนวนข้อมูลหรือจุดที่ใช้ในการวัดมากกว่าแบบจำลองสำหรับฐานข้อมูล จะทำการวัดโดยใช้สายอากาศส่ง 4 จุด คือ Tx1, Tx2, Tx3, และ Tx4 โดยจะเก็บผลการทดลองของแต่ละสายอากาศส่งมาเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบ

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์



รูปที่ 3.14 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์

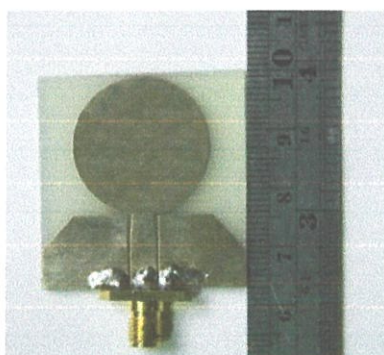
จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์มีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบอยู่ด้วยโดยรายชื่อเครื่องที่ประกอบอยู่เมื่อเรียงลำดับจากบนลงล่าง คือ 1 จอแสดงผล (Monitor) 2 ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (S-Parameter Test) 3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบสองพอร์ต (Network Analyzer) และ 4 เครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Synthesized Sweeper) ระบบของการทดสอบนั้นองค์ประกอบสำคัญในการทดสอบช่องสัญญาณแบบแถบกว้าง ยืนยันจะใช้เครื่องทดสอบเฉพาะซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์ข่ายแบบเวกเตอร์รุ่น HP-8510C ชุดทดสอบพารามิเตอร์การกระจายรุ่น HP-8514B และเครื่องสังเคราะห์ความถี่ (Frequency synthesized sweeper) รุ่น HP-83620A เป็นอุปกรณ์หลักในการทดสอบดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 ซึ่งจะถูควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ที่เชื่อมต่อผ่านช่องสื่อสารแบบ GPIB (General purpose interface bus) โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติที่สามารถทดสอบสัญญาณในโครงข่ายหนึ่งพอร์ตและสองพอร์ต ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบแบบสองพอร์ต โดยพอร์ตที่หนึ่งคือพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ โดยที่ปลาย

ของพอร์ตทั้งสองจะถูกต่อด้วยสายอากาศ และทำการทดสอบในโดเมนความถี่ก่อนที่จะถูกนำผลการทดสอบไปวิเคราะห์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.5.2 สายอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

1) สายอากาศไมโครสตริป

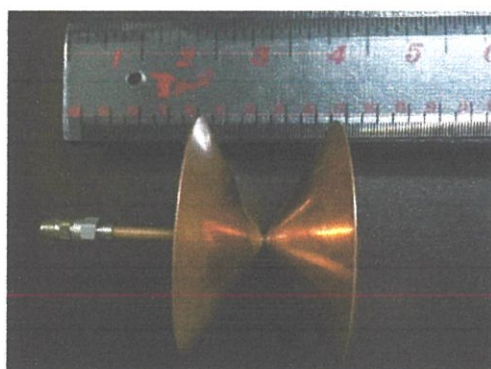
สายอากาศไมโครสตริปดังรูปที่ 4 เป็นสายอากาศที่สร้างขึ้นตอบสนองความถี่กว้าง ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ใช้ในการทดสอบคุณลักษณะของสายอากาศ และใช้เป็นตัวรับสัญญาณบนร่างกาย



รูปที่ 3.15 สายอากาศแบบไมโครสตริป

2) สายอากาศแบบกรวยคู่

สายอากาศแบบกรวยคู่ดังรูปที่ 5 เป็นสายอากาศที่ตอบสนองความถี่กว้าง ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานในความถี่ย่านตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว ใช้เป็นตัวส่งสัญญาณไปยังสายอากาศรับบนร่างกาย



รูปที่ 3.16 สายอากาศแบบกรวยคู่

3.5.3 หัว calibrate

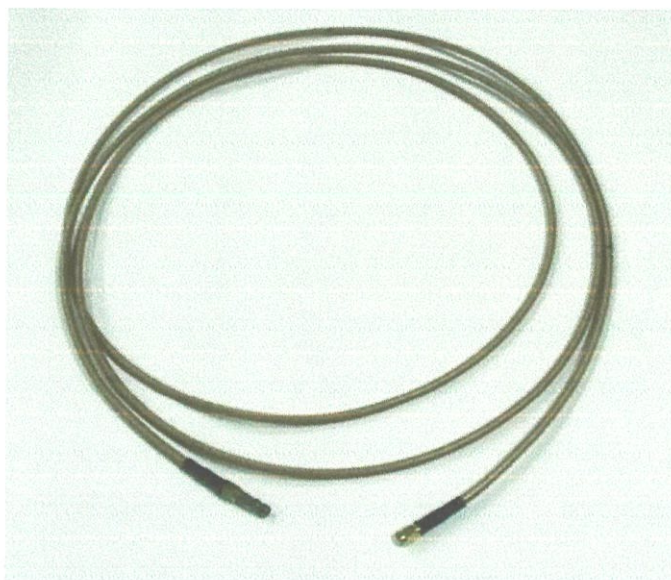
ชุด Calibrate เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับสัญญาณให้เป็นระบบมาตรฐาน ซึ่งจะประกอบด้วยตัวคอนเนคเตอร์ SMA ชนิด Open, Short และ Load 50 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หัว calibrate

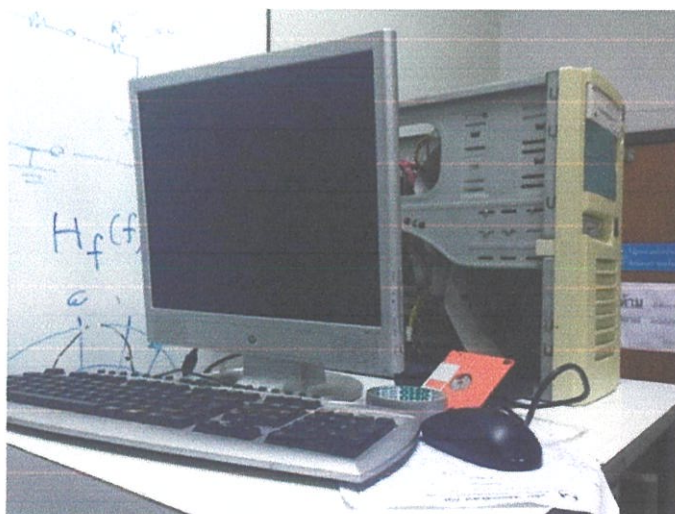
3.5.4 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณ เป็นสายนำสัญญาณที่ปลายด้านหนึ่งถูกเชื่อมเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ และปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศ เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณ โดยจะต่อสายนำสัญญาณเข้ากับพอร์ตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายแบบเวกเตอร์ทั้งสองพอร์ต ซึ่งพอร์ตที่หนึ่งเป็นพอร์ตที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ส่วนพอร์ตสองจะใช้ในการรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 สายนำสัญญาณ

3.5.5 คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.19 คอมพิวเตอร์

บทที่ 4

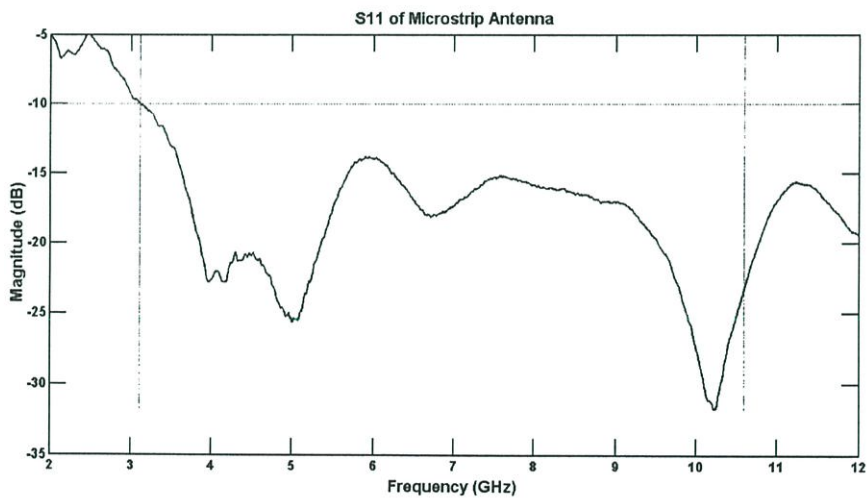
ผลการทดลอง

จากการออกแบบการจัดเก็บผลการวัดและการจำลองของการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง ได้มีการดำเนินการจัดเก็บผลการทดสอบ โดยแบ่งเป็นผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพสายอากาศแบบไมโครสตริป ผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพสายอากาศแบบไบโคไนคอล ผลจากการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ และผลการทดลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสตริป ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไมโครสตริป

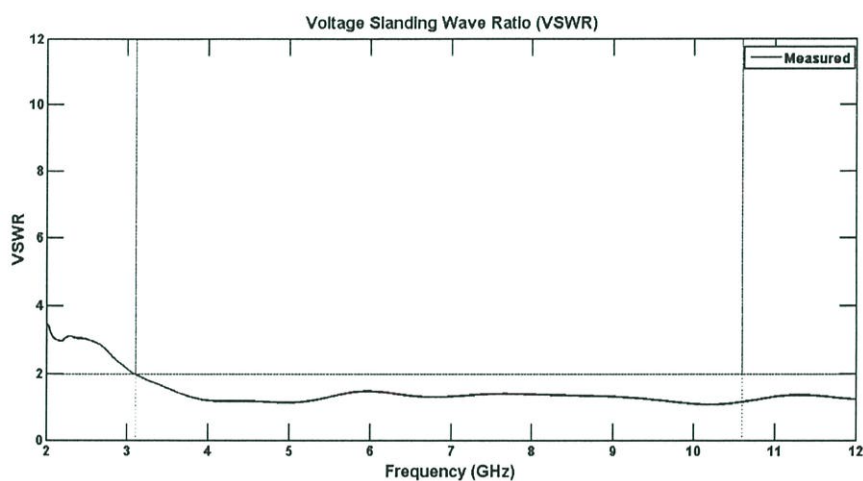


รูปที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากการทดสอบพารามิเตอร์ S_{11} ของสายอากาศแบบไมโครสตริป ดังรูปที่ 4.1 พบว่าผลการทดสอบช่วงความถี่ 3.1 GHz ถึง 12 GHz มีค่าต่ำกว่า -10 dB นั้นหมายความว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นสามารถแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ 3.1 – 10.6 GHz ได้ ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจึงสามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้

4.1.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากการทดสอบพารามิเตอร์ VSWR ของสายอากาศแบบไมโครสตริป ดังรูปที่ 4.2 พบว่า ผลการทดสอบช่วงความถี่ 3.1 - 12 GHz มีค่าต่ำกว่า 2 นั้นหมายความว่าสายอากาศแบบไมโครสตริปนั้นสามารถแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ 3.1 - 10.6 GHz ได้ ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจึงสามารถใช้งานในช่วงความถี่นี้ได้



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบ VSWR ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

4.1.3 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริปได้ผลการทดสอบดังรูป

ที่ 4.3



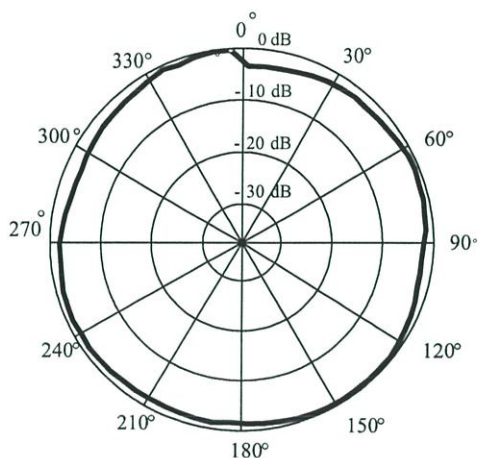
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากรูปที่ 4.3 การทดสอบค่าของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริป แสดงให้เห็นในช่วงของความถี่ 2 – 12 GHz จะพบว่าในช่วงความถี่ประมาณ 3 – 12 GHz มีค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ในระดับของเส้นประวงกลมที่ 2 จากด้านในหรือมีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 50 โอห์ม นั่นเอง ดังนั้นสายอากาศแบบไมโครสตริปจึงค่อนข้างจะแมตซ์หรือสามารถแพร่กระจายคลื่นได้โดยมีการสะท้อนกลับของสัญญาณเพียงเล็กน้อย

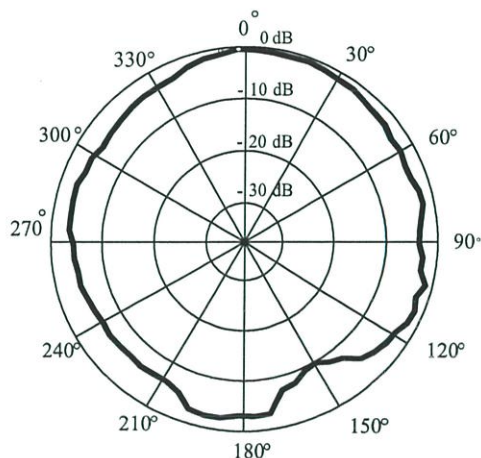
4.1.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไมโครสตริป

จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ต้น 3.1 GHz ความถี่กลาง 6.85 GHz และความถี่ปลาย 10.6 GHz พบว่าสายนำสัญญาณที่ใช้มีปัญหาตั้งแต่ช่วงความถี่ 9 GHz ขึ้นไป จึงไม่สามารถวัดผลที่แท้จริงที่ความถี่ 10.6 GHz ได้ ดังนั้นผู้ทดลองจึงวัดสัญญาณที่ความถี่ 8 GHz ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดที่ใช้ได้แทน โดยได้ผลการทดสอบดังนี้

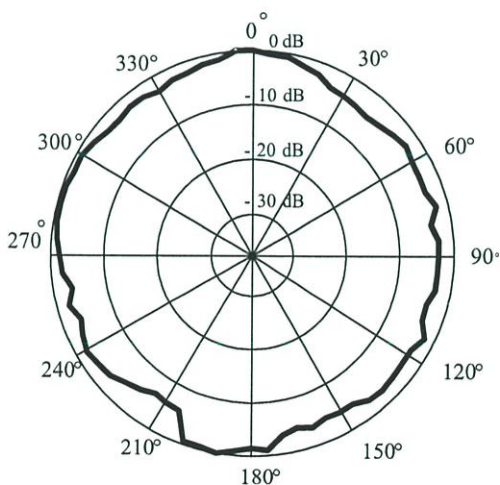
1) ผลการทดสอบเมื่อวางสายอากาศแบบไมโครสตริปในระนาบสนามไฟฟ้านั้นคือวางแนวขนานกับพื้นโลก ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.4



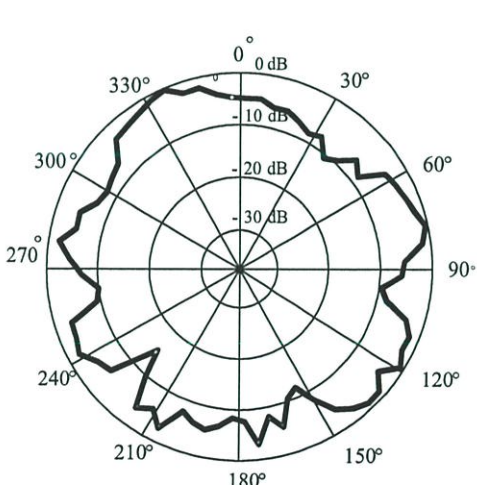
ก.



ข.



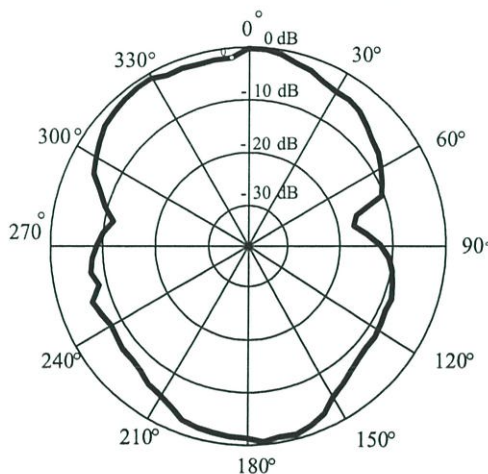
ค.



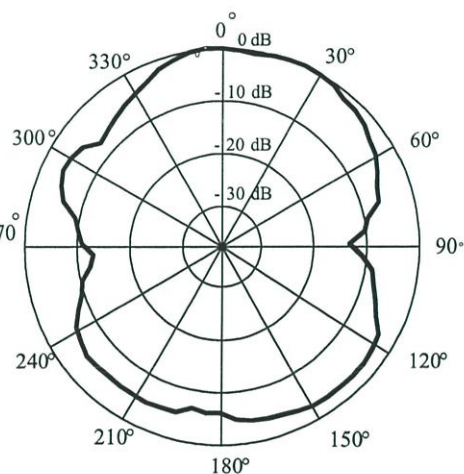
ง.

- รูปที่ 4.4 ก. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz
 ข. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 6.85 GHz
 ค. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 8 GHz
 ง. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 10.6 GHz

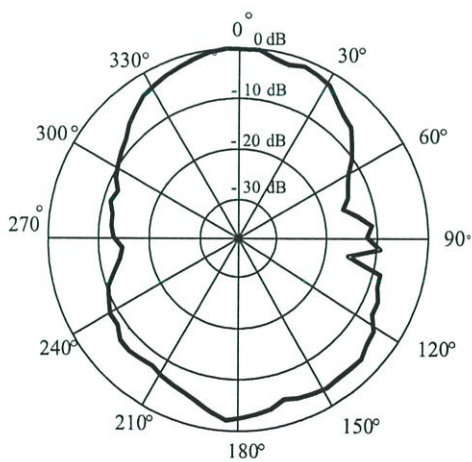
2) ผลการทดสอบเมื่อวางสายอากาศแบบไมโครสตริปในระนาบสนามแม่เหล็ก นั่นคือวางแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.5



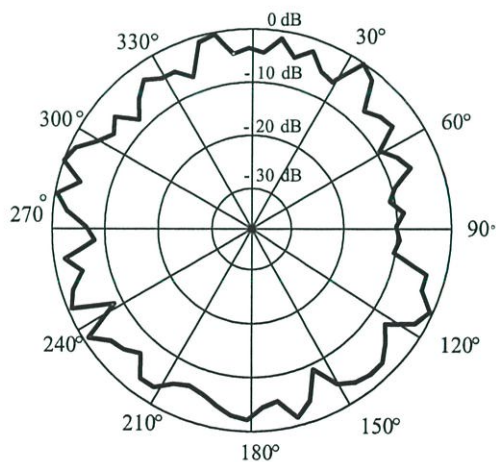
ก.



ข.



ค.



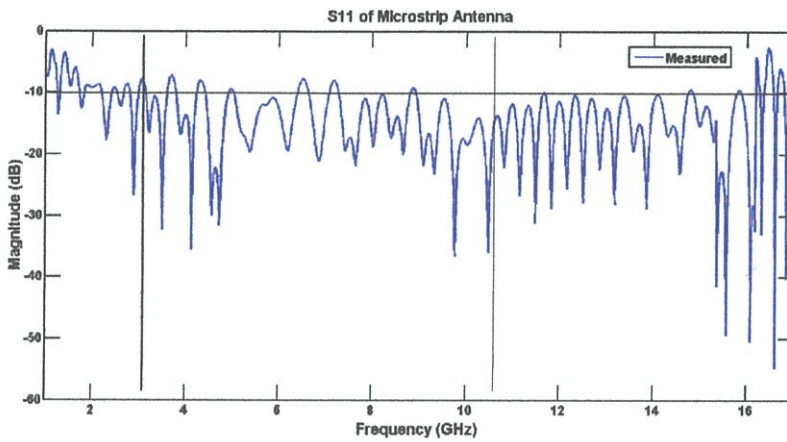
ง.

- รูปที่ 4.5 ก. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz
 ข. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 6.85 GHz
 ค. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 8 GHz
 ง. แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 10.6 GHz

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล

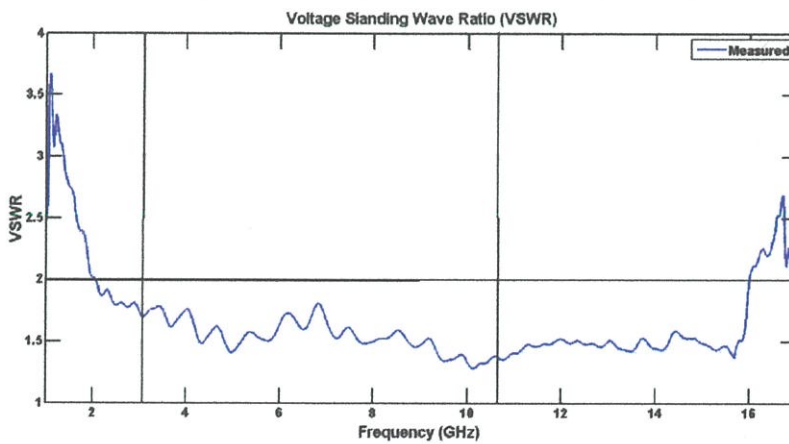
จากการทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล



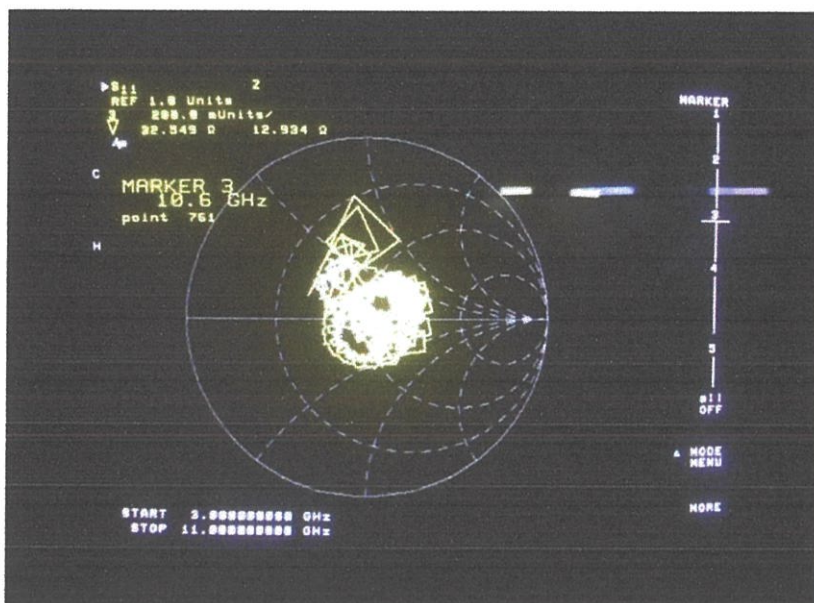
รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล

4.2.2 ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศไบโคนิคอลล



รูปที่ 4.7 ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของสายอากาศแบบไบโคนิคอลล

4.2.3 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไปโคนิคอล



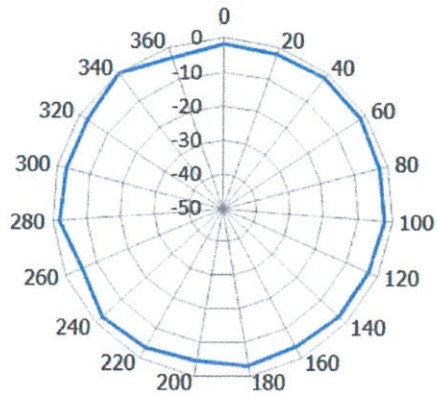
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไปโคนิคอล

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบค่าของอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไปโคนิคอล แสดงให้เห็นในช่วงของความถี่ 3.1-10.6 GHz โดยมีลูกศรชี้ที่ความถี่ 10.6 GHz ซึ่งอิมพีแดนซ์มีค่าอยู่ใกล้เคียง 50 โอห์ม ดังนั้นสายอากาศนี้จึงค่อนข้างจะแมตซ์หรือมีสามารถแพร่กระจายคลื่นได้โดยมีการสะท้อนกลับของสัญญาณเพียงเล็กน้อย

4.2.4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไปโคนิคอล

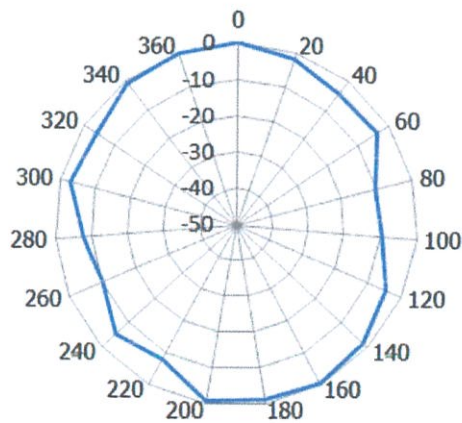
จากการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบไมโครสตริปที่ความถี่ต้น 3.1 GHz ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

1) ผลการทดสอบเมื่อวางสายอากาศไปโคนิคอลในระนาบสนามไฟฟ้า
ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 3.1 GHz

2) ผลการทดสอบเมื่อวางสายอากาศไปโคนิคอลในระนาบสนามแม่เหล็ก
ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.10

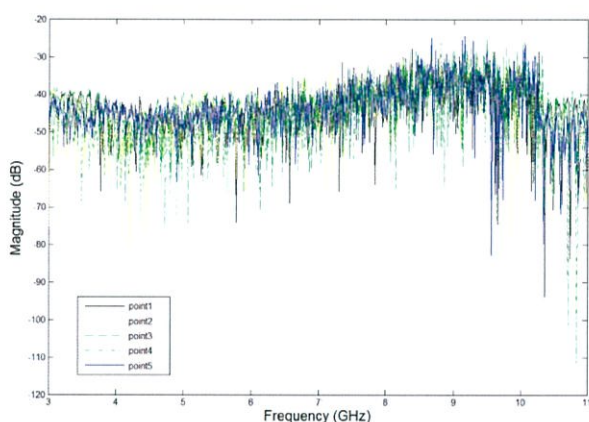


รูปที่ 4.10 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 3.1 GHz

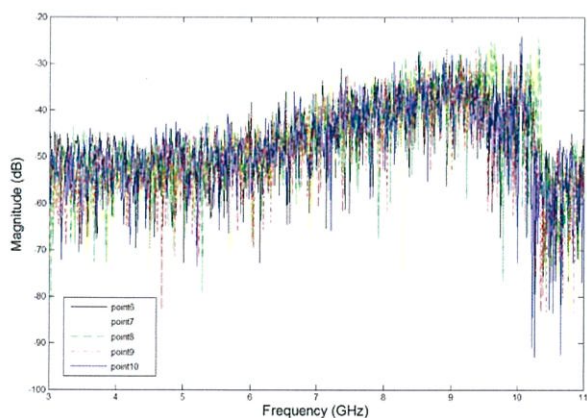
4.3 ผลการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์

จากการออกแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ และการวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศไว้บนร่างกาย ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งเป็นระยะ 1 เมตร โดยจะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัด คือ ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณ (Channel transfer function) มาทำการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และเปรียบเทียบผลที่ได้

4.3.1 ผลการวัดขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์

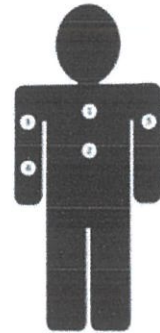
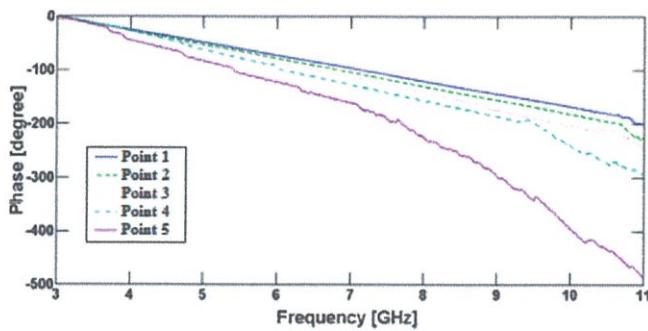


รูปที่ 4.11 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 1-5

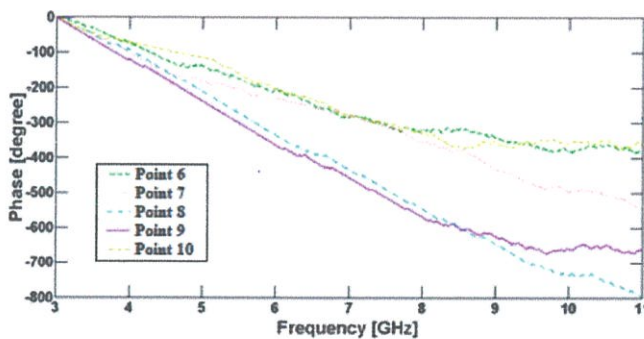


รูปที่ 4.12 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 6-10

4.3.2 ผลการวัดเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์



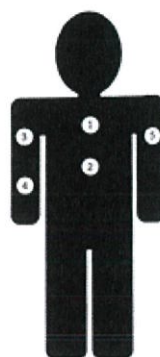
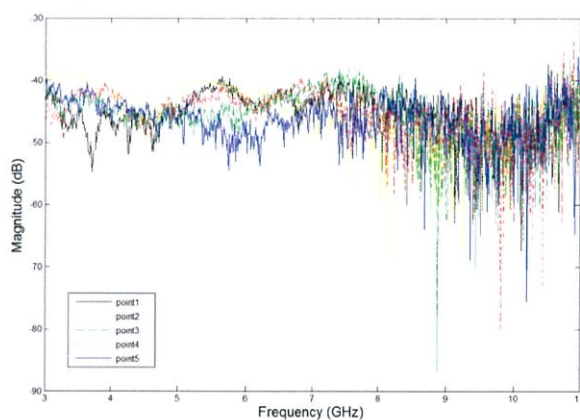
รูปที่ 4.13 เฟสของการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 1-5



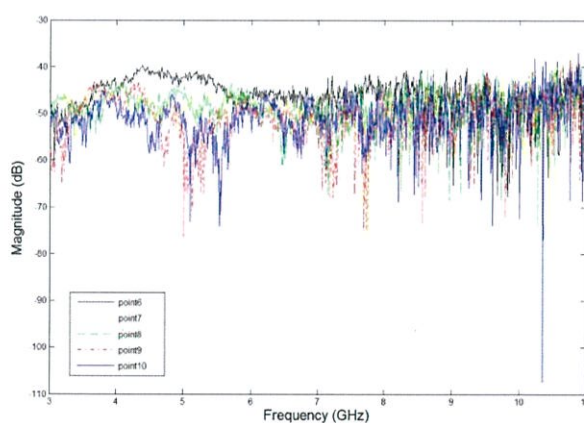
รูปที่ 4.14 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 6-10

รูปที่ 4.11, 4.13 และ รูปที่ 4.12, 4.14 แสดงขนาดและเฟสของของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 1-5 และแสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์ จุดที่ 6-10 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าขนาดของสัญญาณของจุดที่ 1-5 จะอยู่ในช่วงประมาณ -30 dB ถึง -70 dB และผลการทดลองพบว่าขนาดของสัญญาณของจุดที่ 6-10 จะอยู่ในช่วงประมาณ -33 dB ถึง -80 dB และ จะกล่าวได้ว่าระยะทางเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดทอนในการถ่ายโอนช่องสัญญาณได้

4.3.3 ผลการวัดขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่างเมื่ออ้างอิงความสูงของตำแหน่งจากแบบจำลอง

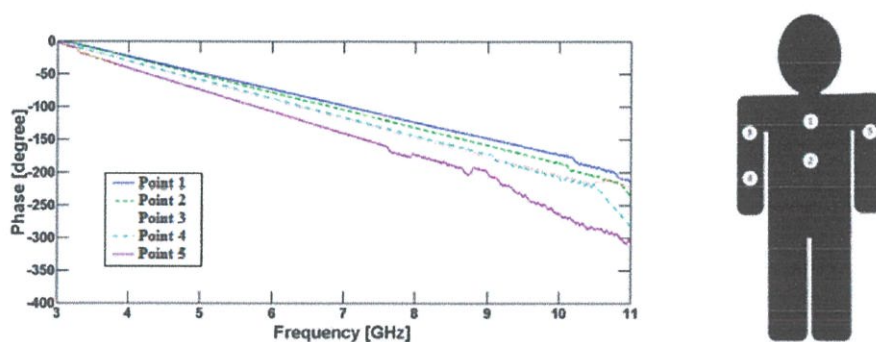


รูปที่ 4.15 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 1-5

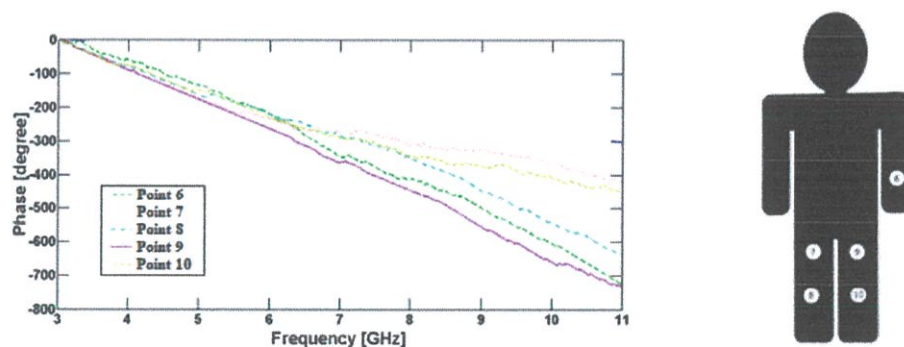


รูปที่ 4.16 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 6-10

4.3.4 ผลการวัดเฟสของการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่างเมื่ออ้างอิงความสูงของตำแหน่งจากแบบจำลอง



รูปที่ 4.17 เฟสของการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 1-5

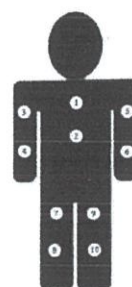
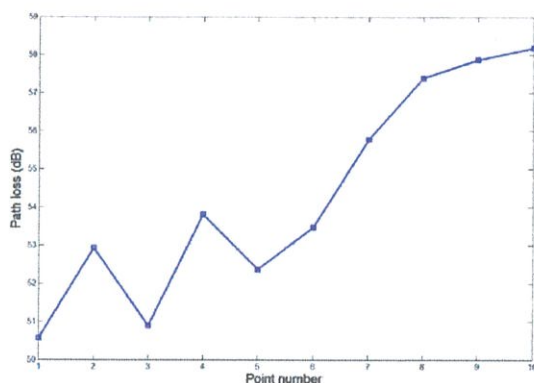


รูปที่ 4.18 ขนาดฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 6-10

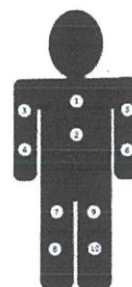
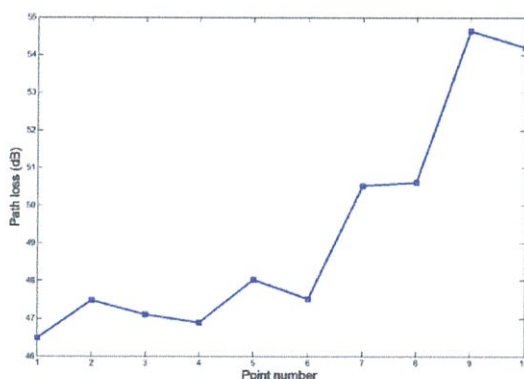
รูปที่ 4.15, 4.17 และ รูปที่ 4.16, 4.18 แสดงขนาดและเฟสของของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 1-5 และแสดงขนาดและเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง จุดที่ 6-10 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าขนาดและเฟสของสัญญาณของจุดที่ 1-5 และ ขนาดและเฟสของสัญญาณของจุดที่ 6-10 เมื่อเทียบกับขนาดและเฟสของของฟังก์ชันการถ่ายโอนสัญญาณบนร่างกายมนุษย์แล้วจะพบว่า ร่างกายมนุษย์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดทอนในการถ่ายโอนช่องสัญญาณได้

4.3.5 ผลการสูญเสียเชิงวิถี

จากการออกแบบแบบจำลองวัดช่องสัญญาณของตำแหน่งบนร่างกายทั้งหมด 10 จุด เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศไว้บนร่างกายมนุษย์ และวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่างเมื่ออ้างอิงความสูงของตำแหน่งจากแบบจำลอง ได้ผลการวิเคราะห์หาการสูญเสียเชิงวิถีของจุดที่ 1 ถึง 10 ดังรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 ตามลำดับ

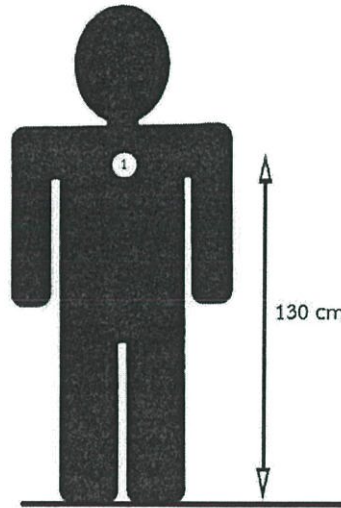


รูปที่ 4.19 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการวัดช่องสัญญาณของตำแหน่งบนร่างกาย



รูปที่ 4.20 ค่าการสูญเสียเชิงวิถีจากการวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง

จากผลการวิเคราะห์หาการสูญเสียเชิงวิถีในแต่ละตำแหน่งบนร่างกาย พบว่า Point 1 จากการวัดช่องสัญญาณของตำแหน่งบนร่างกาย มีค่าการการสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุด คือ 50.57 dB และ Point 1 จากการวัดช่องสัญญาณกรณีสายอากาศอยู่ในพื้นที่ว่าง มีค่าการการสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุด คือ 46.48 dB ดังนั้น Point 1 ของแบบจำลองที่ได้ออกแบบขึ้น คือตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการวางสายอากาศไว้บนร่างกายมนุษย์ แสดงดังรูปที่ 4.21

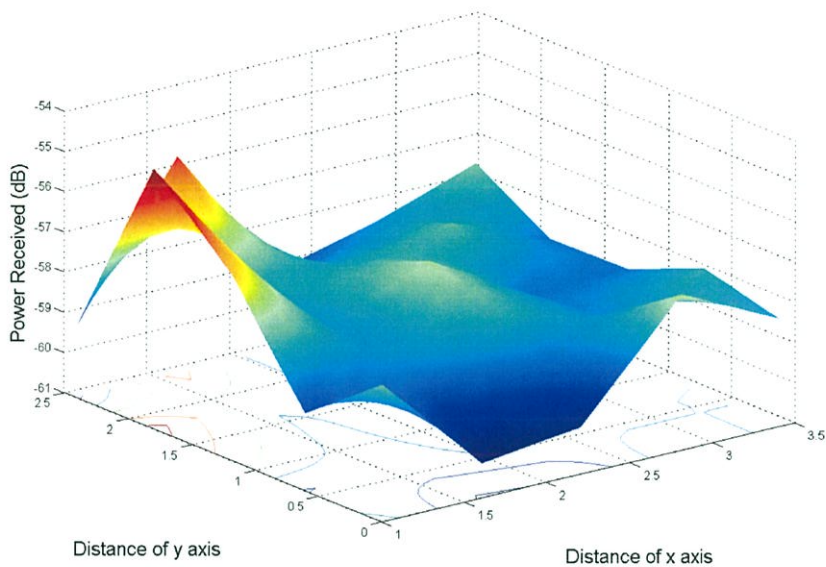


รูปที่ 4.21 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศบนร่างกายมนุษย์

4.4 ผลการทดลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร

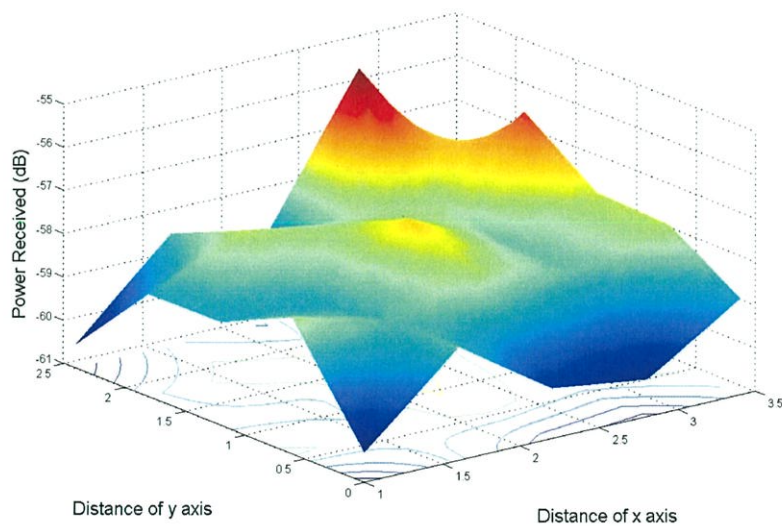
4.4.1 ความแรงของสัญญาณที่รับได้

ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงในรูปของกำลังงานของกำลังงานที่รับได้ในหน่วยเดซิเบล ซึ่งจะแสดงระยะทางจริงในหน่วยเมตรในแนวแกน x และแนวแกน y ตามแบบจำลองของฐานข้อมูลซึ่งระยะห่างแต่ละตำแหน่งเท่ากับ 0.6 เมตร ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx1, Tx2, Tx3 และ Tx4 แสดงได้ดังรูปที่ 4.22, รูปที่ 4.23, รูปที่ 4.24 และ รูปที่ 4.25 ตามลำดับ



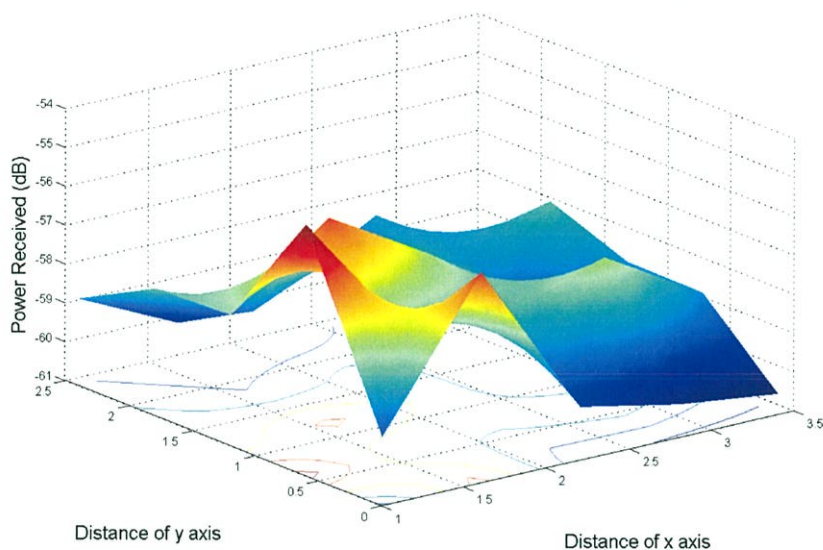
รูปที่ 4.22 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx1

จากรูปที่ 4.22 คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx1 กำลังงานที่รับได้สูงสุด มีค่าเป็น -54.55 เดซิเบล ที่พิกัด (1.0,1.8) และ กำลังงานที่รับได้ต่ำสุด มีค่าเป็น -60.14 เดซิเบล ที่พิกัด (1.6,0.0)



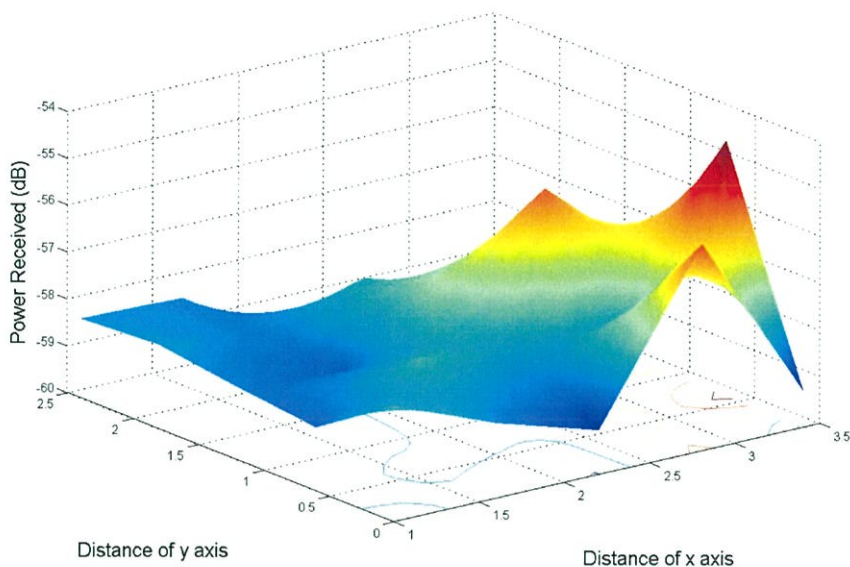
รูปที่ 4.23 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx2

จากรูปที่ 4.23 คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx2 กำลังงานที่รับได้สูงสุด มีค่าเป็น -55.60 เดซิเบล ที่พิกัด (2.8,2.4) และ กำลังงานที่รับได้ต่ำสุด มีค่าเป็น -60.47 เดซิเบล ที่พิกัด (1.0,0.0)



รูปที่ 4.24 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx3

จากรูปที่ 4.24 คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx3 กำลังงานที่รับได้สูงสุด มีค่าเป็น -54.65 เดซิเบล ที่พิกัด (1.0,0.6) และ กำลังงานที่รับได้ต่ำสุด มีค่าเป็น -60.60 เดซิเบล ที่พิกัด (34,0.0)

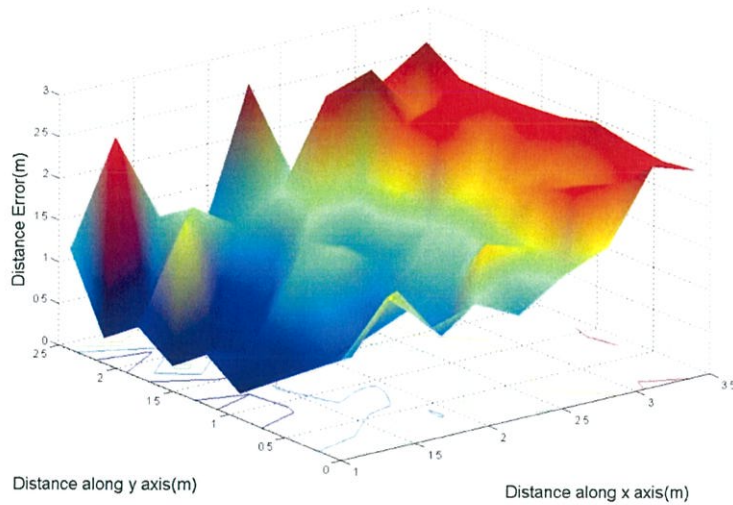


รูปที่ 4.25 ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx4

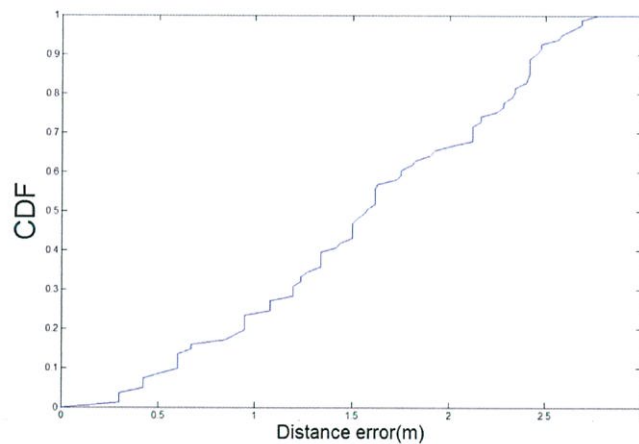
จากรูปที่ 4.25 คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่เกิดจากสายอากาศส่ง Tx4 กำลังงานที่รับได้สูงสุด มีค่าเป็น -55.25 เดซิเบล ที่พิกัด (3.4,0.6) และ กำลังงานที่รับได้ต่ำสุด มีค่าเป็น -59.50 เดซิเบล ที่พิกัด (2.8,2.4)

4.4.2 ผลการทดลองแสดงความผิดพลาดของระยะทางและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง

ประสิทธิภาพความแม่นยำในการหาตำแหน่งในโครงงานนี้จะพิจารณาจากความผิดพลาดของระยะทาง จะแสดงในรูปแบบของความผิดพลาดของระยะทางในแนวแกน x และแกน y ตามแบบจำลองสำหรับการทดสอบ และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง โดยการทดลองหาตำแหน่งในโครงงานนี้ได้ใช้พารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่รับได้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค UWB-Fingerprinting ความผิดพลาดของระยะทางและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง แสดงดังรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.26 ความผิดพลาดของระยะทางของการหาตำแหน่ง



รูปที่ 4.27 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง

จากรูปที่ 4.26 ความผิดพลาดของระยะทางของการหาตำแหน่ง จะพบว่าความผิดพลาดของระยะทางมากที่สุดเท่ากับ 2.76 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (2.8,2.1) ความผิดพลาดของระยะทางน้อยที่สุดเท่ากับ 0.30 เมตร เกิดขึ้นที่พิกัด (1.0,0.9) และแสดงเป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดของระยะทาง CDF ดังรูปที่ 4.27 พบว่าการทดลองหาตำแหน่งนี้มีค่าผิดพลาดกลางของระยะทางมีค่าเท่ากับ 1.38 เมตร แต่ค่าผิดพลาดของระยะทางที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้สูงสุดมีค่าเท่า 2.76 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

1) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศแบบไมโครสตริปในบทที่ 4 พบว่าสายอากาศใช้งานได้จริงในช่วงความถี่ที่ต้องการคือความถี่ช่วงสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง 3.1-10.6 GHz ซึ่งตามผลการจำลองคุณลักษณะสายอากาศที่ใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์จำลองขึ้น ซึ่งผลการจำลองนั้นสามารถใช้งานในช่วงความถี่ 3.1-10.6 GHz ได้ ดังนั้นสายอากาศไมโครสตริปจึงเหมาะสมกับช่วงความถี่สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

2) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติและประสิทธิภาพของสายอากาศโบโคนิคอลล ในบทที่ 4 พบว่าสายอากาศใช้งานได้จริงในช่วงความถี่ที่ต้องการคือความถี่ช่วงสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง 3.1-10.6 GHz และสามารถแพร่กระจายคลื่นในช่วงความถี่ 3.1 GHz – 10.6 GHz ได้ ดังนั้นสายอากาศดังกล่าวจึงเหมาะสมกับช่วงความถี่สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่ง

3) จากการทดลองวัดช่องสัญญาณบนร่างกายเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางสายอากาศนั้น ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถี ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด จะมีค่าการสูญเสียเชิงวิถีน้อยที่สุด คือ จุดที่ 1 จากแบบจำลองการวัดช่องสัญญาณบนร่างกาย มีค่าการสูญเสียเชิงวิถี เท่ากับ 50.5 dB

4) จากผลการทดสอบการหาตำแหน่ง พบว่า ค่าผิดพลาดกลางของระยะทางมีค่าเท่ากับ 1.38 เมตร แต่ค่าผิดพลาดของระยะทางที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้สูงสุดมีค่าเท่า 2.76 เมตร

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินงาน

สำหรับปัญหาที่พบในทางทฤษฎีและปฏิบัตินั้นเกิดขึ้นหลายประการได้แก่

5.4.1 การขึ้นรูปกรวยทำให้ขนาดและมุม ของกรวยเปลี่ยนแปลง ไม่ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ และทำให้คุณสมบัติของสายอากาศเปลี่ยนไปด้วย

5.4.2 การวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไม่สามารถวัดได้ตามเงื่อนไขทางทฤษฎีที่ต้องการ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านสถานที่และเครื่องมือในการทดลองซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับของพลังงานมายังสายอากาศได้

5.4.3 การวัดช่องสัญญาณในการเก็บข้อมูลของการหาตำแหน่งนั้นใช้เวลานานมากถึง 10 ชั่วโมง เพราะต้องทำการทดลองวัดทุกๆ ตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ และทำการวัดจากสายอากาศส่งทั้งหมด 4 อัน ซึ่งเวลานานมากๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคารด้วยสัญญาณแถบกว้างยิ่ง โดยทำการออกแบบและสร้างสายอากาศขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองหาตำแหน่งนี้ พบว่าสายอากาศที่สร้างขึ้นมานั้น ได้แก่ สายอากาศแบบไมโครสตริป ที่ความถี่ 3.1 – 10.6 GHz และ สายอากาศไปโคนิคอลล ที่ความถี่ 3.1 – 10.6 GHz สามารถใช้งานได้จริง บนช่วงความถี่ 3.1 – 10.6 GHz แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำสายอากาศไปทำการทดลองจำลองการหาตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร นั้นพบว่ามีความผิดพลาดของระยะทางเกิดมากพอสมควร อาจเป็นเพราะสภาพแวดล้อมในอาคารที่ทำให้เกิดค่าผิดพลาดระหว่างตำแหน่ง

บรรณานุกรม

- [1] F. Nekoogar. Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications, New Jersey: Prentice Hall, 2005.
- [2] D. A. Gratton. Developing Practical Wireless Applications. Boston, MA: Elsevier Inc., 2006.
- [3] พูนศักดิ์ ธี้อดุลเดชา. สายอากาศ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.
- [4] A. Toak, N. Kandil, S. Affes and S. Georges. "Neural Networks for Fingerprinting-Based indoor Localization Using Ultra-Wideband," Journal of Communications, Vol. 4, No. 4, pp. 267-275, May 2009.
- [5] J.Sangthong, S.promwong and P.supanakoon. "*comparison of UWB Fingerprinting with Vertical and Horizontal Polarizations for Indoor Localization.*" International Conference on Electrical/ Electronics Computer Telecommunications and Information Technology 2010 (ECTI-con 2010). Pp.588-592
- [6] J.Sangthong, S.promwong and P.supanakoon. "Study on Indoor Localization Using UWB Fingerprinting," The 3rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (TISD 2010), pp.1223-1227, Nong Khai, Thailand, May 4-6, 2010.
- [7] A. J. Weiss, "*Direct position determination of narrowband radio frequency transmitters,*" IEEE Sig. Processing Lett, pp. 513-516, May 2004
- [9] H. T. Friis, "*A Note on a Simple Transmission Formula,*" Proc. IRE, Vol. 34, no 5, pp.254-256, May 1964.
- [10] Z. Sahinoglu, S.Gezi, I.Guvenc "Ultra-wideband Positioning System," Cambridge, 2008.
- [11] Y. Tiawornan, S. Promwong, P. Supanakoon, N. Sukutamtanti, R. Muanghlua, "Experimental Study of Indoor/Outdoor Propagation Loss for Ultra Wideband impulse Radio System," ECTI-CON 2006, pp. 650-653, May 2006.