

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**แบบแผนการดีเทคตำแหน่งของวิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่
ส่วนบุคคลแบบไร้สาย**

**ULTRA WIDEBAND RADIO POSITION DETECTION SCHEME FOR
WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS**



นาย วุฒิชัย ป้อมคำ
นาย สนิท เตียวฉิม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **62873**
วัน,เดือน,ปี **23 ส.ค. 2549**

b. 111 23 111
i.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

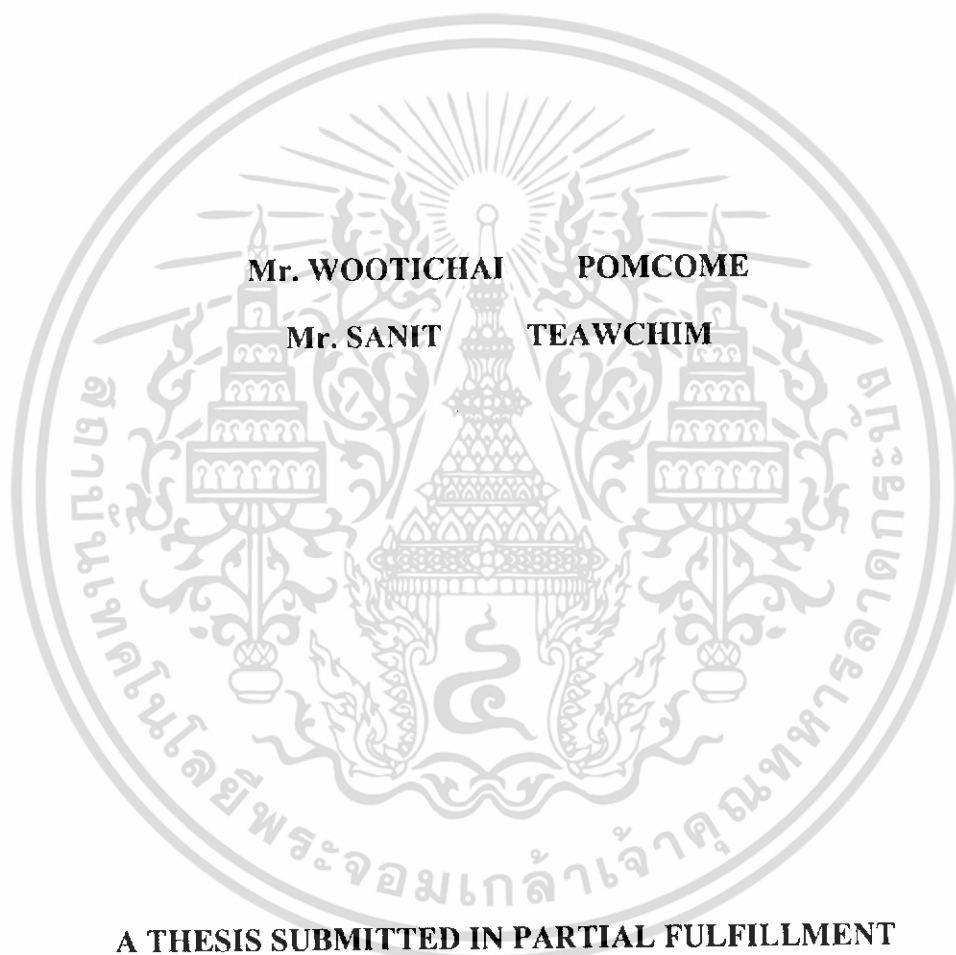
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ULTRA WIDEBAND RADIO POSITION DETECTION SCHEME FOR
WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร แผนกการตีพิมพ์ตำแหน่งของวิทยุแถบกว้างสำหรับโครงข่ายพื้นที่
ส่วนบุคคลแบบไร้สาย

ชื่อนักศึกษา นายวุฒิชัย ป้อมคำ รหัสนักศึกษา 46015684
นายสนิธ เดียวจิม รหัสนักศึกษา 46015687

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์ มนชนก ศรีเสื่อขาม

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมสารสนเทศ

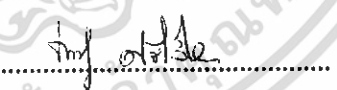
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2548

ปริญญาบัตรฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่เรียบร้อยแล้ว


.....
(อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร


.....
(อาจารย์ มนชนก ศรีเสื่อขาม)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แบบแผนการติดตั้งตำแหน่งของวิทยุแถบกว้างยิ่งสำหรับโครงข่ายพื้นที่
ส่วนบุคคลแบบไร้สาย

ชื่อนักศึกษา นายวุฒิชัย ป้อมคำ รหัสนักศึกษา 46015684
นายสนธิ เตียวจิม รหัสนักศึกษา 46015687

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์
อาจารย์ มนชนก ศรีเสื่อขาม

ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบโครงข่ายสื่อสารแบบไร้สายเป็นระบบที่นิยมใช้กันเพิ่มมากขึ้น สำหรับ
โครงข่ายนี้เป็นการศึกษา และวิเคราะห์ถึงการสืบหาตำแหน่งของการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์
โดยเป็นการทดลองการย้ายตำแหน่งของสายอากาศและคุณลักษณะของสายอากาศแต่ละตำแหน่ง
เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของตำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณสำหรับนำมาวิเคราะห์หา
ตำแหน่งในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่จะนำมาใช้ในสำนักงาน เพื่อ
ความสะดวกในการใช้งาน

Thesis Title Ultra Wideband Radio Position Detection Scheme For
Wireless Personal Area Networks

Student Mr. Wootichai Pomecome ID 46015684
Mr. Sanit Teawchim ID 46015687

Advisor Mr. Sathaporn Promwong
Miss Monchanok Sriseukham

Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic 2005

Abstract

In present , wireless communication network system which is population system , for this project is study and analysis to detection position of Ultra Wideband , by experiment is move position of antennas and study about characteristic of Ultra Wideband signal for each the position to compare efficiency , purpose find the best position use for Wireless Personal Area Network (WPAN) that network use for in office and other Which network comfortable to application

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งได้สำเร็จเป็นผลงานอย่างนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้หากไม่ได้ได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ก่อนอื่นก็ต้องเริ่มต้นจากอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้แก่ อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์ และอาจารย์ มนชนก ศรีเสือขาม ซึ่งเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษาต่างๆ เป็นอันมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ ที่กำลังจะนำมาใช้งาน โดยอาจารย์ได้คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนการทำปริญญานิพนธ์นี้ ซึ่งทำให้โครงการนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความบริบูรณ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ เพื่อนๆ พี่ทั้งในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศและเพื่อนต่างภาควิชา ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา จึงสำเร็จได้

ท้ายสุดนี้ทางคณะผู้จัดทำ ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสำคัญที่สุดในชีวิต ที่ทำให้มีทุกวันนี้ คอยให้กำลังใจตลอดมาในการทำปริญญานิพนธ์นี้และในการเรียน คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆ ด้านเรื่อยมาจนประสบความสำเร็จดังทุกวันนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 ลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์	7
2.2.1 เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์เรดิโอฟรีควเอนซ์	8
2.2.2 ส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก	8
2.2.3 การที่ใช้กำลังในการส่งที่ใช้น้อยมาก	8
2.2.4 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ	8
2.2.5 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน	9
2.2.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี	9
2.2.7 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา	9
2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์	10
2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ในสหรัฐฯ	10
2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์ในยุโรป	11
2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง	13
2.4.1 นิยามของสัญญาณแถบกว้างยิ่ง	13
2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์	14

ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.3	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซคลิก	14
2.2.4	สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลต	15
2.5	เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบอูตร้าไวด์แบนด์	15
2.5.1	การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์	15
2.5.2	การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์	16
2.5.3	การมอดูเลตแบบสองเฟส	16
2.6	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)	17
2.7	แพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	18
2.7.1	แพทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก ไดรเรกชันเนล และออมนิไดเรกชันเนล	18
2.7.2	แพทเทิร์นหลัก	19
2.7.3	โลบของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น	19
2.7.4	บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ	20
2.8	เกน (Gain)	20
2.9	ประสิทธิภาพของสายอากาศ	22
2.10	ประสิทธิภาพของบีม	23
2.11	แบนด์วิดท์	24
2.12	ระบบสื่อสาร โดยพื้นฐาน	24
2.12.1	อุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุต	25
2.12.2	เครื่องส่ง	26
2.12.3	ช่องทางสื่อสาร	26
2.12.4	ความถี่และความยาวคลื่น	26
2.12.5	สัญญาณรบกวน (noise)	27
2.12.6	เครื่องรับ	27
2.13	ลักษณะการเกิดคลื่น	28
2.14	คุณสมบัติของคลื่น	29
2.14.1	การสะท้อนของคลื่น	30
2.14.2	การหักเหของคลื่น (Refraction)	31
2.14.3	การแพร่กระจายคลื่น	32
2.14.4	การแทรกสอดของคลื่น (Interference)	33

จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
2.15. คุณสมบัตินอื่นที่เกิดขึ้นกับคลื่น	34
2.15.1 การดูดกลืน (ABSORPTION)	35
2.15.2 การกระจัดกระจาย (SCATTERING)	35
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์	36
3.1 การวิเคราะห์สัญญาณอูตราไวด์แบนด์	36
3.2 รูปแบบการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formular)	38
3.3 ดีเลย์สเปรด(Delay spread)	38
3.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)	39
3.5 ฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม(Cumulative Distribution Function)	39
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลอง	41
4.1 แบบจำลองการทดลอง (Model)	41
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	43
บทที่ 5 ผลการทดลอง	44
5.1 พาสลอส (path loss)	44
5.2 ผลของการทดลองของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น และฟังก์ชันฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน	52
5.3 เกนของสัญญาณ (Path Gain)	55
5.4 ผลทดลองของ อาร์เอ็มเอสดีเลย์สเปรด (RMS Delay Spread)	62
5.5 สรุปการทดลองบทที่ 5	70
บทที่ 6 บทสรุปและแนวทางการวิจัยในอนาคต	71
บรรณานุกรม	72
ภาคผนวก	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 1.1	ขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์	3
รูปที่ 2.1	ลักษณะการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไวต์แบนด์ใช้กับระบบโอเอ็มเน็ตเวิร์ค	7
รูปที่ 2.2	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบ แถบกว้างยิ่งภายในอาคาร	12
รูปที่ 2.3	ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี (FCC) และ อีทีเอสไอ (ETSI) ของระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์ ภายนอกอาคาร	13
รูปที่ 2.4	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	14
รูปที่ 2.5	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซคลิกทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	14
รูปที่ 2.6	รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเลตทั้งใน โดเมนเวลาและ โดเมนความถี่	15
รูปที่ 2.7	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ	16
รูปที่ 2.8	สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์	16
รูปที่ 2.9	สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส	17
รูปที่ 2.10	แพทเทิร์นของสายอากาศซีทีศทาง (ออมนิไดเรกชันแนล)	19
รูปที่ 2.11	ระบบสื่อสารพื้นฐาน	25
รูปที่ 2.12	ภาคตัดขวางของลูกคลื่น	28
รูปที่ 2.13	คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่น (4 ลักษณะ)	30
รูปที่ 2.14	การสะท้อนของคลื่นวิทยุ	31
รูปที่ 2.15	การหักเหของคลื่นวิทยุ	31
รูปที่ 2.16	การเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุ	32
รูปที่ 2.17	การแทรกสอดของคลื่น ในทางตรงและหลังจากสะท้อนจากพื้นดิน	33
รูปที่ 2.18	Radiation Pattern with interference	34
รูปที่ 3.1	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี	39
รูปที่ 3.2	ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี	40
รูปที่ 4.1	แบบจำลองการทดลอง	42
รูปที่ 5.1	path loss ที่ระยะ 3 เมตร	46
รูปที่ 5.2	path loss ที่ระยะ 5 เมตร	48
รูปที่ 5.3	path loss ที่ระยะ 7 เมตร	51
รูปที่ 5.4	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ระยะ 3 เมตร	52

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปต่อ

หัวข้อ	หน้า
รูปที่ 5.5 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ระยะ 5 เมตร	52
รูปที่ 5.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ระยะ 7 เมตร	53
รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันที่ระยะ 3 เมตร	54
รูปที่ 5.8 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันที่ระยะ 5 เมตร	54
รูปที่ 5.9 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันที่ระยะ 7 เมตร	55
รูปที่ 5.10 ค่าเกินของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 3 เมตร	57
รูปที่ 5.11 ค่าเกินของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 5 เมตร	59
รูปที่ 5.12 ค่าเกินของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 7 เมตร	62
รูปที่ 5.13 RMS ดีเลย์สเปรคที่ระยะ 3 เมตร	65
รูปที่ 5.14 RMS ดีเลย์สเปรคที่ระยะ 5 เมตร	67
รูปที่ 5.15 RMS ดีเลย์สเปรคที่ระยะ 7 เมตร	70



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	11
ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร	12
ตารางที่ 2.3 ย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น	27
ตารางที่ 5.1 ค่าพาสลอสทุกตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตร	44
ตารางที่ 5.2 ค่าพาสลอสทุกตำแหน่งที่ระยะ 5 เมตร	46
ตารางที่ 5.3 ค่าพาสลอสทุกตำแหน่งที่ระยะ 7 เมตร	49
ตารางที่ 5.4 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 3 เมตร	55
ตารางที่ 5.5 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 5 เมตร	58
ตารางที่ 5.6 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะ 7 เมตร	60
ตารางที่ 5.7 ค่าอาร์เอ็มเอสดีเลย์สเปรคที่ระยะ 3 เมตร	63
ตารางที่ 5.8 ค่าอาร์เอ็มเอสดีเลย์สเปรคที่ระยะ 5 เมตร	65
ตารางที่ 5.9 ค่าอาร์เอ็มเอสดีเลย์สเปรคที่ระยะ 7 เมตร	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาที่ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งหากเทียบกับในอดีต ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสร้างความรวดเร็วและสะดวกสบายแก่ผู้ใช้เป็นอย่างมาก แต่ก็ยังมีบางประการที่ยังทำให้เกิดความยุ่งยากเกี่ยวกับอุปกรณ์คือเรื่องของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อโครงข่าย โดยในปัจจุบันมีความต้องการในการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งาน และเริ่มมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายภายในอาคารสำนักงาน หรือการเชื่อมต่อเครือข่ายเพื่อความบันเทิงภายในแหล่งที่พักอาศัย โดยมีเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายกำลังเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์และกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของเทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สายมีอยู่มากมาย และมีอิสระในการใช้งานและติดตั้งทำให้เรามีความสะดวกสบายมากขึ้นในการที่จะติดต่อหรือโอนถ่ายข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายทำให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันระหว่างเครื่องต่อเครื่องหรือเชื่อมต่อกันแบบเป็นเครือข่าย ไม่จำเป็นต้องใช้สายเพื่อเป็นตัวนำสัญญาณให้ยุ่งยากและดูเกะกะอีกต่อไป

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อถึงกัน หรือเชื่อมต่อเข้าด้วยกันกับเครือข่ายจากตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณได้อย่างอิสระ ยกตัวอย่างเช่นถ้าเราใช้งานโน้ตบุ๊กเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอยู่ในบ้านแล้วอยากจะไปทำงานมาเป็นบริเวณนอกบ้านเป็นเรื่องที่ยุ่งยากพอสมควรถ้าเรายังใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต แต่ในยุคปัจจุบันนี้ก็กลับเป็นเรื่องง่ายไปเสียแล้ว เมื่อเราได้นำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามาใช้ภายในอาคารที่พักอาศัยทำให้เราทำงานได้สะดวกมากขึ้น เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่นิยมใช้เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย ไวไฟ (Wi-Fi) บลูทูธ (Bluetooth) และเทคโนโลยีคลื่นสั้น (Short-length)

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันได้เกิดกระแสความสนใจในวงกว้างเกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง (Ultra wideband :UWB) ซึ่งคาดว่าจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารข้อมูลครั้งใหญ่ด้วยความสามารถที่เหนือกว่าเทคโนโลยีเดิมอย่างเห็นได้ชัดในด้านความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล การใช้พลังงานที่ต่ำ รวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่นๆ แต่ก่อนที่เราจะนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้งานสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องมา

ศึกษาและวิเคราะห์ว่าการวางอุปกรณ์ต่างๆ นั้นจะวาง ณ ตำแหน่งไหน แล้วจึงทำให้ระบบการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้น ใช้งานแล้วเกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด

สำหรับปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ก็จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงการตรวจสอบหาตำแหน่งของการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่ง โดยเป็นการทดลองการย้ายตำแหน่งของสายอากาศ และคุณลักษณะของสายอากาศแต่ละตำแหน่ง เพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของตำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณสำหรับนำมาวิเคราะห์หาตำแหน่งในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล(WPAN) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่จะนำมาใช้ในอาคารสำนักงาน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาค่ากำลังงานของสัญญาณที่สายอากาศที่ได้รับของแต่ละตำแหน่ง
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่รับสัญญาณ ได้ดีที่สุด
- 1.2.2 เพื่อนำค่าผลของการวิเคราะห์สัญญาณไปเปรียบเทียบในการใช้งานจริง

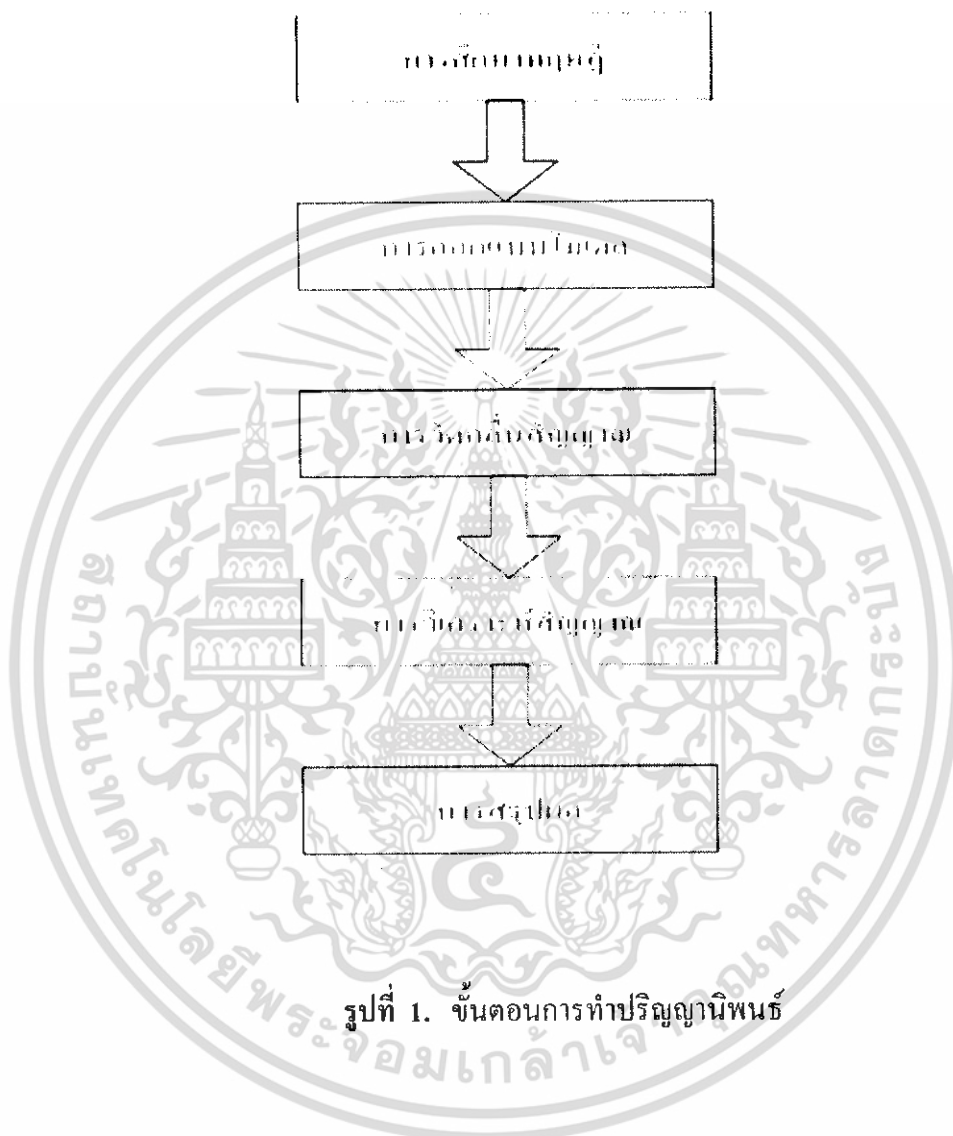
1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 วัดค่าสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์ที่สายอากาศทางด้านรับ
- 1.3.2 นำค่าสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์ที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง
- 1.3.3 วิเคราะห์ ค่า Transmission Gain , Bit Error Rate และ Delay Spread
- 1.3.4 นำกำลังของสัญญาณที่สายอากาศรับได้ไปเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้มีการศึกษาวางแผนและทำงานตามขั้นตอนดังรูป



1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ โดยเป็นการศึกษาถึงทฤษฎีของระบบอุตสาหกรรมอัตโนมัติถึงส่วนที่เกี่ยวข้องและส่วนที่ต้องการนำมาใช้ในภาววิเคราะห์ในโครงการนี้
2. สร้างแบบจำลองการทดลองตามแนวทางที่ต้องการศึกษา โดยที่การออกแบบนั้นจะเป็นไปตามแนวคิดของโครงการนี้ที่ต้องการศึกษาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทำการวัดคลื่นสัญญาณ โดยเป็นการเก็บข้อมูลของตัวโครงการนี้ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์
4. วิเคราะห์สัญญาณ ในการวิเคราะห์นั้น จะเป็นการหาค่าที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบถึงค่าของตำแหน่งต่างๆ โดยที่ยึดหลักตามทฤษฎีที่ใช้
5. การสรุปผลการทดลองจากโครงการนี้ เป็นการกล่าวถึงภาพรวมของโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์

กล่าวนำ

ก่อนที่จะเราจะทำการทดลอง เราต้องมารู้จักกับ อุลตราไวด์แบนด์ (Ultra-Wideband : UWB) และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สำหรับเทคโนโลยีไร้สายในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นไวไฟ (Wi-Fi) หรือ บลูทูธ (Bluetooth) ล้วนเป็นระบบที่เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่แคบ ขณะที่ระบบอุลตราไวด์แบนด์เป็นการส่งผ่านคลื่นวิทยุความถี่ที่กว้าง การสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์ นั้นมีใช้มาช้านานมาก โดยเริ่มจากที่ มาร์โคนี (Marconi) ที่ได้ทำการทดลองเครื่องส่งสปาร์กแก๊ป (spark gap) ในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกในปี ค.ศ. 1901 หลังจากนั้นเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ได้ถูกนำมาใช้ในกองทัพสหรัฐฯ ต่อมาในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1960-1990 ได้มีการคิดที่จะนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ทางการพาณิชย์เนื่องจากพบว่าเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ เหมาะที่จะนำมาใช้กับการติดต่อสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัยสูง และด้วยความที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่กว้างทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก จึงเริ่มมีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังต่อมาในเดือนพฤษภาคม ปี ค.ศ. 2000 ทางคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission : FCC) ได้ออกหนังสือ Notice of Proposed Rule Making (NPRM) ซึ่งเชิญชวนให้หน่วยงานต่าง ๆ นำเสนอข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกฎข้อบังคับของ เอฟซีซี (FCC) เพื่อควบคุมและจำกัดการส่งสัญญาณของการสื่อสารอุลตราไวด์แบนด์ โดยข้อบังคับใหม่นี้ได้ถูกประกาศใช้เมื่อเดือน กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2002 ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของสวิตซ์ตัดต่อความเร็วสูง ทำให้ระบบการสื่อสารอุลตราไวด์แบนด์ได้รับความสนใจสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสาร โดยระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์นั้น เป็นระบบการสื่อสาร ไร้สายที่มีวิวัฒนาการที่เร็ว ด้วยการใช้แบนด์ความถี่ที่กว้างมากประกอบกับการที่ใช้กำลังส่งที่น้อย ซึ่งสัญญาณของระบบอุลตราไวด์แบนด์นั้นเป็นระบบที่มีความแตกต่างจากระบบการสื่อสารแบบไร้สายระบบอื่นอยู่สองประการคือ การส่งสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์จะเป็นการส่งสัญญาณแบบอิมพัลส์ ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้นๆ แต่กลับใช้พลังงานในระดับต่ำเพียง 0.0001 มิลลิวัตต์ต่อเมกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้ภายในระยะทาง 10 เมตร การสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์ นอกจากนี้นี้ยังสนับสนุนการสร้างพื้นที่โครงข่ายส่วนบุคคลที่เรียกว่า Personal Area Network (PAN) ซึ่งช่วยให้เราสามารถจัดการข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปมาได้หลากหลาย พร้อมทั้งยังมีการส่งคลื่นโดยที่ไม่ต้องนำสัญญาณไปทำการมอดูเลทกับคลื่นพาห์ และอีกประการหนึ่งสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์จะใช้แบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดขึ้นในการส่งมากกว่า 25% ของแถบความถี่กลางหรือมีการใช้แถบความถี่มากกว่า 1.5 GHz (กิกะเฮิร์ตซ์) ซึ่งมากกว่าค่าแถบความถี่ของระบบไร้สายที่ใช้กันทั่วไป โดยเอฟซีซี (FCC) ได้กำหนดระดับความหนาแน่นของกำลังการส่งต่อความถี่ในการส่งสัญญาณในระบบอุตสาหกรรมไร้สายไว้ไม่เกิน -41 dBm/MHz (เดซิเบลเมตรต่อเมกะเฮิร์ตซ์) และนอกเหนือจากคุณสมบัติข้างต้นแล้วอุตสาหกรรมไร้สายยังได้รับการวางตำแหน่งในฐานะเทคโนโลยีที่สามารถใช้ประสิทธิภาพของคลื่นความถี่ได้คุ้มค่าที่สุด โดยทาง FCC หรือคณะกรรมการบริหารความถี่ของสหรัฐอเมริกา ตั้งความหวังไว้ว่าเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สาย จะเข้ามาช่วยลดปัญหาความขาดแคลนของช่องสัญญาณที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการแบ่งสรรช่วงความถี่ในปัจจุบัน จะมีการกำหนดความถี่คลื่นสูงสุดและต่ำสุด และจะต้องมีคลื่นความถี่อีกช่วงหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนป้องกันไม่ให้คลื่นในแต่ละย่านความถี่รบกวนซึ่งกันและกัน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ทุกครั้งที่มีการจัดย่านความถี่ใหม่ ก็จะมีช่วงความถี่ที่ต้องสูญเสียไปมากขึ้นด้วย

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมไร้สายได้รับการกำหนดให้อยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.15.3a โดยมีย่านความถี่ที่ถูกกำหนดโดย คณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission) อยู่ที่ 3.1 - 10.6 GHz (กิกะเฮิร์ตซ์) ซึ่งเป็นย่านความถี่เดียวกันกับการสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้ การกำหนดความถี่ในย่านดังกล่าวจะช่วยป้องกันปัญหาการรบกวนของสัญญาณวิทยุกับเทคโนโลยีสื่อสารภาคพื้นอื่น ๆ ที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวเคยถูกห้ามนำมาใช้งานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง อันเนื่องมาจากในช่วงแรกเทคโนโลยีดังกล่าวได้รับการพัฒนาเพื่อการใช้งานในหน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา รวมถึงความกังวลอันเนื่องมาจากความถี่ของอุตสาหกรรมไร้สายที่แตกต่างจากความถี่วิทยุทั่วไป ซึ่งได้ส่งผลให้หลายฝ่ายกังวลว่าอุตสาหกรรมไร้สายจะไปรบกวนระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อย่างระบบ Global Positioning System (GPS) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบการบิน เป็นต้น

หากเราเปรียบเทียบระบบอุตสาหกรรมไร้สายกับเทคโนโลยีอย่างไวไฟ (Wi-Fi) หรือบลูทูธ (Bluetooth) แล้วก็จะพบว่า อุตสาหกรรมไร้สาย มีประสิทธิภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีดังกล่าวทั้งด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลการใช้พลังงานที่ต่ำ รวมถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ โดยอุตสาหกรรมไร้สาย จะมีความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลที่สูง และยังสามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 480 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) และหากเปรียบเทียบกับบลูทูธ (Bluetooth) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน อุตสาหกรรมไร้สายจะให้ความสามารถในการรับส่งข้อมูลสูงกว่า บลูทูธ (Bluetooth) ถึง 100 เท่าเลยทีเดียว ซึ่งด้วยความเร็วในระดับดังกล่าว อุตสาหกรรมไร้สายจึงเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ประเภทโฮมเอนเตอร์เทนเมนต์ภายในบ้าน โดยตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เราจะเห็นได้ในอนาคตอันใกล้ก็คือการที่โทรศัพท์สามารถส่งรายการไปยังหน้าจอโทรศัพท์ เครื่องอื่นๆ ได้แบบไร้สายโดยไม่มีปัญหาการกระตุกของสัญญาณภาพการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายโอนภาพ จากกล้องวิดีโอไปยังคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย และหากเป็นการใช้งานภายในสำนักงาน อุลตราไวด์แบนด์ก็จะเข้ามาช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้งสายเคเบิลต่างๆ ได้เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 ลักษณะการนำเทคโนโลยีอุลตราไวด์แบนด์ใช้กับระบบโอมเน็ตเวิร์ค

จากการที่เทคโนโลยีนี้มีประโยชน์อย่างมาก จึงได้มีการศึกษาวิจัยในด้านต่างๆ เกี่ยวกับอุลตราไวด์แบนด์ สำหรับปริญญาโทรุ่นนี้จะนำเสนอการศึกษาแบบแผนการหาตำแหน่งของคลื่นวิทยุอุลตราไวด์แบนด์สำหรับโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคล ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

2.2 ลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์

ถ้าจะกล่าวถึงระบบอุลตราไวด์แบนด์ หรือรวมถึงอิมพัลส์ (impulse) พัลส์แคบ (short – pulse) สัญญาณที่ไม่ใช่ไซน์ซoidal (non- sinusoidal) สัญญาณที่ปราศจากคลื่นพาห์ (carrier less) แถบกว้างขูดชิง (super wideband) การอัดพัลส์แบบเอเฟอเร็ตอย่างเร็ว (fast frequency chirp) และพัลส์แบบโมโน (mono – pulse) ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเด่นที่น่าสนใจ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสาร เทคโนโลยีการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์ จะมีลักษณะและจุดเด่นหลาย

เอกสารนี้ประสงค์ต่อไปนี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้คลื่นพาห์ เรดิโอฟรีแควนซี (Radio Frequency, RF)

เหมือนกับระบบอื่นเนื่องจากการส่งสัญญาณของระบบอุตราไวต์แบนด์เป็นการส่งสัญญาณแบบพัลส์ (pulse) โดยจะเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาดประมาณ 0.2 ns (นาโนวินาที) จึงทำให้มีความหนาแน่นแถบความถี่สเปกตรัลเดนซิตี (spectral density) ที่กว้างมาก และด้วยเหตุจากการส่งสัญญาณแบบพัลส์ทำให้การส่งข้อมูลจึงมีลักษณะเป็นแบบการส่งเป็นดิจิทัลโดยด้านรับจะสืบทอด (detection) รูปคลื่นแล้วทำการแปลงเป็นข้อมูลได้

2.2.2 ส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก

เนื่องจากการที่อุตราไวต์แบนด์มีขนาดแบนด์วิดท์ที่กว้างมากทำให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลได้มาก โดยอุตราไวต์แบนด์จะมีความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลสูงสุดถึง 480 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ที่ระยะทางประมาณ 2 เมตร และความเร็ว 110 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ที่ระยะทางประมาณ 10 เมตร จากการที่ส่งข้อมูลในปริมาณมากเมื่อเทียบกับระบบอย่าง ไวต์ไฟด์ ที่สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ซึ่งมากกว่าถึง 6 เท่า และหากนำไปเปรียบเทียบกับบลูทูธ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมสำหรับเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบันจะเร็วกว่าถึง 100 เท่า

2.2.3 การที่ใช้กำลังในการส่งที่ใช้น้อยมาก

จากการที่ส่งสัญญาณที่เป็นแบบพัลส์แคบจึงทำให้ duty cycle มีค่าที่ต่ำ จึงเป็นสาเหตุให้ระบบนี้มีการใช้กำลังที่ต่ำไปด้วย และยังปลอดภัยสำหรับบุคคลที่ใช้งานด้วย

2.2.4 เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยและมีต้นทุนต่ำ

ความซับซ้อนและต้นทุนที่ต่ำของระบบอุตราไวต์แบนด์ เกิดจากลักษณะของเบสแบนด์ (baseband) ของการส่งสัญญาณที่ไม่เหมือนกับระบบการส่งสัญญาณวิทยุแบบอื่นๆ โดยที่เครื่องส่งจะทำการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณที่น้อยมากๆ ในโดเมนทางเวลาซึ่งสามารถที่จะแพร่กระจายคลื่นออกไป โดยที่ไม่ต้องใช้ในการเพิ่มความถี่ทางคลื่นวิทยุหรือคลื่นพาห์รวมเข้าไป สำหรับในส่วนของการรวมสัญญาณวิทยุนั้นจะเป็นการนำเอาสัญญาณเบสแบนด์รวมเข้าไปกับคลื่นพาห์เพื่อย้ายสัญญาณ ไปยังแถบความถี่ที่มีคุณลักษณะในการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ ซึ่งสัญญาณจะถูกแพร่กระจายได้ดีโดยปราศจากความถี่ในการเพิ่มการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงขึ้น (up-conversion) และการเพิ่มกำลังให้สูงขึ้น (amplification) โดยในกระบวนการกลับกัน การแปลงความถี่ลง (down conversion) และตัวผลิตความถี่ (local oscillator)

2.2.5 มีระดับของสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน (noise)

เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่ำและลักษณะเฉพาะในการสุ่มเทียบ (pseudo - random) ของสัญญาณส่งจึงทำให้สัญญาณแบบอุตราไวต์แบนด์นี้มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้การตรวจหาสัญญาณทำได้ยากและยังปรากฏในเอกสารทางการวิจัยว่าการส่งสัญญาณไม่ผ่านการกรองที่ถี่สูงเกินไป อาจทำให้การรบกวนเพิ่มขึ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นไม่ก่อให้เกิดผลการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบคลื่นความถี่วิทยุอื่น ๆ เนื่องจากสัญญาณของระบบแถบกว้างยิ่งนั้นมีการแพร่กระจายกำลังงานในระดับต่ำโดยอยู่ในระดับของสัญญาณระบบกวน (noise floor) จึงทำให้ระบบอื่นมองว่าสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนี้คือสัญญาณรบกวนเลขถูกกำจัดออกจากพิจารณาของระบบ

2.2.6 มีความต้านทานต่อคลื่นหลายวิถี (multipath)

และการรบกวนของสัญญาณใกล้เคียงในระบบการมอดูเลตทางเวลา (time modulation) แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงในระดับหลักร้อยเมกะบิตต่อวินาที อีกทั้งยังได้ถูกประเมินในส่วนของจำนวนของผู้ใช้งานในระบบการสื่อสารแบบคลื่นวิทยุแบบอิมพัลส์ว่าได้จำนวนที่มากกว่าระบบทั่วไปและเนื่องด้วยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณส่งที่กว้างจึงทำให้ได้รับผลจากคลื่นหลายวิถีอย่างมาก เมื่อระบบมีแบนด์วิดท์ที่กว้างนั้นทำให้เกิดความแตกต่างทางความถี่อย่างมากซึ่งรวมเข้ากับการส่งสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งมีการมอดูเลตทางเวลานั้นมีความต้านทานต่อการแพร่กระจายของคลื่นหลายวิถีรุนแรงและการรบกวนหรือแทรกสอดจากสัญญาณความถี่ใกล้เคียงได้

2.2.7 มีความละเอียดสูงในโดเมนเวลา

สำหรับการกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์ใช้ในระบบติดตาม (tracking) ด้วยพัลส์ที่มีลักษณะทางโดเมนเวลาที่แคบมาก ๆ หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณน้อยมาก ๆ นั้นหมายถึง ระบบคลื่นวิทยุแบบแถบกว้างยิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถควบคุมจังหวะและคำนวณเวลาได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากกว่าระบบดาวเทียมบอกพิกัด (global positioning system : GPS) และระบบคลื่นวิทยุแบบอื่น ๆ อีกทั้งด้วยคุณสมบัติในการทะลุผ่านวัสดุได้ดีจึงทำให้สัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งที่มีการมอดูเลตทางเวลาถูกนำมาใช้งานในระบบเรดาร์ระยะสั้น เช่น ในการช่วยเหลือชีวิตและปฏิบัติการป้องกันอาชญากรรม เช่นเดียวกับการใช้ในงานสำรวจและในอุตสาหกรรมการทำเหมือง เป็นต้น

2.3 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอุลตราไวด์แบนด์

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นมาในการสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งนั้นคือการจัดสรรความถี่ในการใช้งานซึ่งได้มีกลุ่มทำงานในสหรัฐอเมริกาได้พยายามทำการจำกัดของข้อกำหนดในการใช้งานช่วงความถี่ของเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งจากกฎข้อบังคับเดิมของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มงานนี้ก็ก่อตั้งขึ้นอย่างเป็นทางการ โดยใช้ชื่อว่า Ultra – Wideband Working Group (UWBWG) เพื่อทำการเจรจาข้อตกลงร่วมกับ FCC เช่นเดียวกันกับในยุโรปก็ได้มีการหาข้อตกลงการจัดสรรคลื่นความถี่และการสอดแทรกของความถี่วิทยุซึ่งในปัจจุบันยังไม่มี การกำหนดแถบความถี่สำหรับการใช้งานในระบบแถบกว้างในสถาบันกำหนดมาตรฐานทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรคมนาคมแห่งสหภาพยุโรป (European Telecommunications Standards Institute : ETSI) หรือสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU)

2.3.1 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอูตราไวด์แบนด์ในสหรัฐอเมริกา

ในปี ค.ศ. 1998 FCC ได้ออกประกาศเกี่ยวกับการตรวจสอบหรือ Notice of Inquiry (NOI) โดยถึงแม้ว่าจะได้คาดการณ์ถึงระดับกำลังงานที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณที่มีระดับต่ำมาก ๆ แล้วก็ตาม ยังมีกลุ่มผู้ที่สนับสนุนในระบบเดิมที่มีใช้งานกันอยู่ได้ทำการต่อต้านการนำระบบแถบกว้างยิ่งมาใช้งานสำหรับการสื่อสารของพลเรือนซึ่งเรียกร่องโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ถึงการเพิ่มขึ้นของระดับการสอดแทรกในแถบความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัด อาทิเช่น แถบความถี่ในการกระจายสัญญาณโทรทัศน์ แถบความถี่ที่สำรองไว้สำหรับคลื่นวิทยุทางดาราศาสตร์และระบบ GPS โดยที่องค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกาหรือ FAA (Federal Aviation Administration) ได้แสดงความเป็นห่วงต่อการแทรกสอดของสัญญาณที่มีต่อระบบความปลอดภัยในกิจการการบินและทิศทางในการค้นคว้าเกี่ยวกับเครื่องส่งในระบบแถบกว้างยิ่งด้วยเช่นกันต่อมาเมื่อเทคโนโลยีแถบกว้างยิ่งได้ถูกนำเสนอสำหรับการนำมาใช้ในงานกิจการการสื่อสารของพลเรือนซึ่งยังไม่ได้มีการกำหนดใดๆ สำหรับลักษณะสัญญาณที่จะนำมาใช้ จึงได้มีหน่วยงานหนึ่งที่ชื่อว่า DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) ได้ทำการออกข้อกำหนดฉบับที่หนึ่งสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งซึ่งอยู่บนพื้นฐานอัตราส่วนแบนด์วิดท์ (B_f) ของสัญญาณโดยต้องมีค่ามากกว่า 0.25 โดยสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 2.1 (Taylor, 1995)

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

โดยที่ f_L คือความถี่ต่ำสุดและ f_H คือความถี่สูงของแถบความถี่ที่ใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2002 FCC ได้ออกกฎส่วนรับระบบแถบกว้างยิ่งซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของการแพร่กระจายกำลังงานฉบับที่หนึ่งสำหรับระบบแถบกว้างยิ่งและยังอนุญาตให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในลักษณะทางการค้าอีกด้วย โดยรายงานล่าสุดของคำประกาศและระเบียบการฉบับที่หนึ่งได้เผยแพร่ต่อสาธารณชนในวันที่ 22 เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 ซึ่งในเอกสารได้กล่าวถึงการอนุญาตใช้งานในระบบแถบกว้างยิ่งทั้ง 4 ประเภทและการกำหนดขอบเขตการแพร่กระจายพลังงานสำหรับการใช้ในประเภทต่างๆ โดยจากนิยามข้างต้นได้ทำการลดค่าการจำกัด B_f ไว้ไม่ให้ต่ำกว่า 0.2 ตามสมการที่ 2.1 และข้อจำกัดการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.1 สำหรับใช้ในการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอกอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงานโดย FCC สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ความถี่ (MHz)	ภายใน	ภายนอก
	EIRP in dBm	EIRP in dBm
960 – 1610	-75.3	-75.3
1610 – 1990	-53.3	-63.3
1990 – 3100	-51.3	-61.3
3100 – 10600	-41.3	-41.3
สูงกว่า 10600	-51.3	-61.3

2.3.2 กฎข้อบังคับของระบบการสื่อสารแบบอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

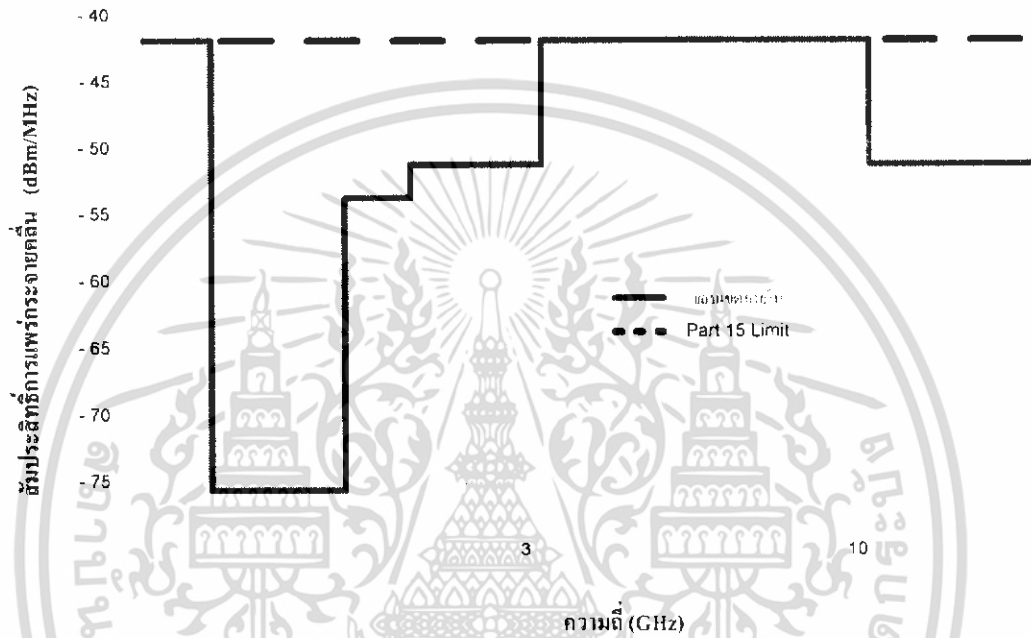
ปัจจุบัน โครงร่างของข้อกำหนดระบบแถบกว้างยิ่งในทวีปยุโรปอยู่ในช่วงรอข้อมูลทางเทคนิคที่เกี่ยวกับผลกระทบของระบบแถบกว้างยิ่งบนระบบเดิมที่มีใช้กันอยู่โดยทางยุโรปนั้น บางส่วนของข้อกำหนดจะรัดกุมกว่าของทางสหรัฐอเมริกา เพราะทางด้านยุโรปนั้นในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ต้องแสดงให้เห็นว่าส่งผลกระทบน้อยหรือไม่ส่งผลกระทบต่อระบบเดิมที่มีอยู่โดยข้อกำหนดการแพร่กระจายกำลังงานสำหรับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคารที่กำหนดโดย ไอทียู (ITU) หรือ อีทีเอสไอ (ETSI) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดในการแพร่กระจายกำลังงาน โดย ETSI สำหรับการใช้งานในการสื่อสารทั้งภายในและภายนอกอาคาร

	ขอบเขตความถี่ [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
ภายใน	$-51.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(f/10.6)$
ภายนอก	$-61.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(f/10.6)$

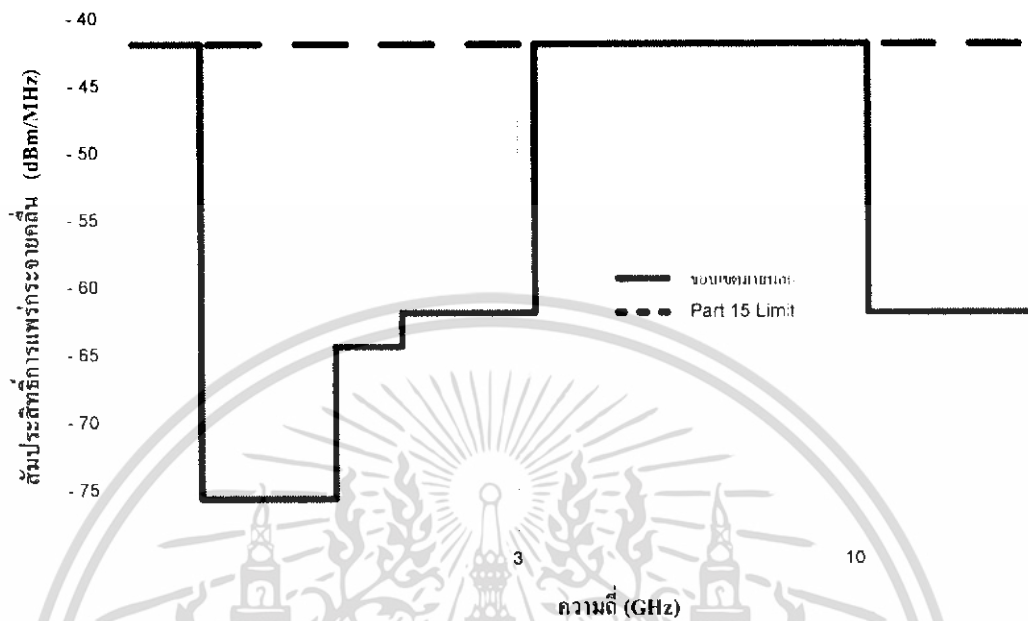
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งระหว่าง FCC และ ETSI ภายในและภายนอกอาคารตามลำดับ



รูปที่ 2.2 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย FCC และ ETSI ของระบบแถบกว้างยิ่งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ข้อกำหนดการจำกัดสเปกตรัมความถี่โดย เอฟซีซี (FCC) และ อีทีเอสไอ (ETSI) ของระบบอุลตราไวด์แบนด์ ภายนอกอาคาร

2.4 รูปแบบของสัญญาณในระบบการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์

2.4.1 นิยามของสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์

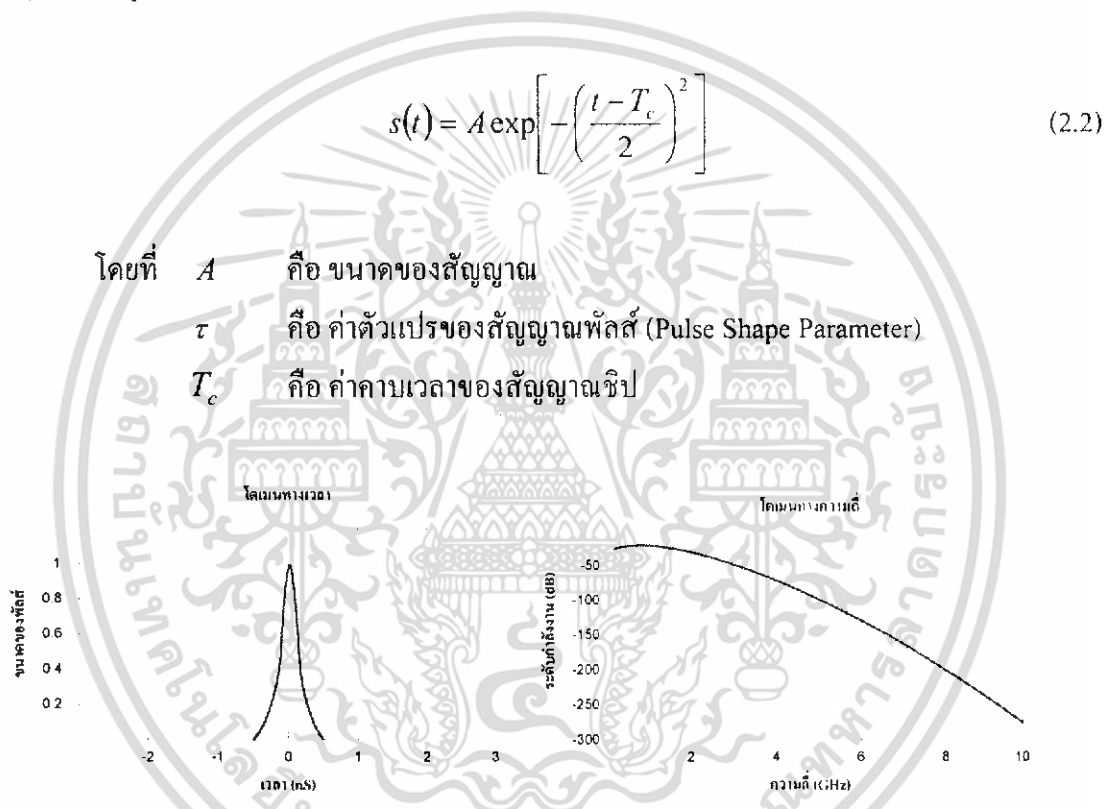
ถ้าจะกล่าวถึงลักษณะเฉพาะโดยทั่วไปของสัญญาณอุลตราไวด์แบนด์และระบบของสัญญาณแล้ว ก็น่าจะเกี่ยวกับการสื่อสารระบบอุลตราไวด์แบนด์และระบบการวัด เช่น การสื่อสารความเร็วสูงภายในบ้านหรือแม้กระทั่งอุปกรณ์เครือข่ายทางธุรกิจ โดยอุปกรณ์นั้นต้องทำงานอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 3.1 ถึง 10.6 GHz (กิกะเฮิร์ตซ์) ซึ่งอุปกรณ์นั้นจะถูกออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถที่จะทำงานได้ภายในอาคารเท่านั้นหรือต้องเข้ากันได้กับอุปกรณ์ขนาดมือถือ ซึ่งอาจจะถูกนำมาใช้ในลักษณะการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยตัวแพร่กระจายคลื่นแถบกว้างยิ่งนั้นต้องทำการออกแบบและตรวจสอบเพื่อรับรองว่าการแพร่กระจายคลื่นในช่วงแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 dB (เดซิเบล) ลงมาจากระดับสูงสุดของสเปกตรัมที่กำหนดไว้ต้องอยู่ภายในแถบความถี่ของระบบแถบกว้างยิ่งอีกทั้งช่วงแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดวัด ณ ตำแหน่งที่ต่ำกว่าระดับสูงสุดของการแพร่กระจายลงมา 10 dBm (เดซิเบลเมตร) หรือเท่ากับ 500 MHz (เมกะเฮิร์ตซ์) โดยระดับที่ยินยอมให้แพร่กระจายกำลังงานสำหรับสัญญาณแบบแถบกว้างยิ่งนั้นถูกกำหนดไว้ที่ -41.3 dBm/MHz (เดซิเบลเมตรต่อเมกะเฮิร์ตซ์) ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ในรูปแบบของสัญญาณในระบบอุลตราไวด์แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้สัญญาณพัลส์แบบเกาส์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสามารถที่จะแยกเป็นประเภทต่างๆ ของสัญญาณได้ดังนี้

2.4.2 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์

ประเภทของรูปคลื่นที่เรียกว่ารูปคลื่นแบบเกาส์ (Gaussian waveform) นั้นได้มาจากการที่มีนิยามทางคณิตศาสตร์เหมือนกับฟังก์ชันเกาส์ ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำโดยส่วนสำคัญของรูปคลื่นแบบเกาส์นั้นคือพัลส์แบบเกาส์ซึ่งมีนิยามเป็นไปตามสมการ 2.2 และแสดงรูปคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 2.4



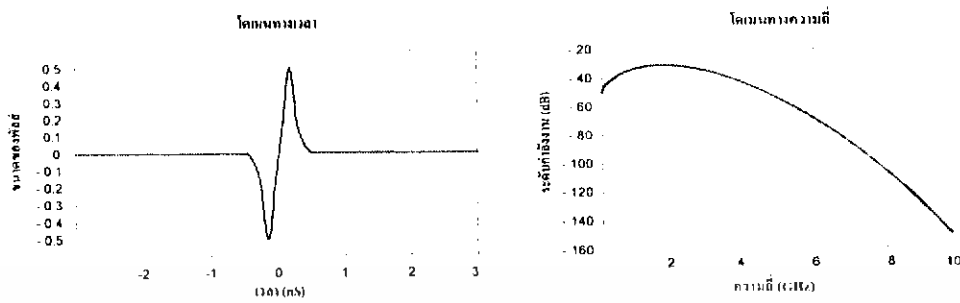
รูปที่ 2.4 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.4.3 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมนไซเคิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมนไซเคิล (Gaussian monocycle) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.3 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.5

$$s(t) = \frac{2A}{\tau} \sqrt{\exp} \times \exp^{-2x\left[\frac{(t-T_c)}{\tau}\right]^2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

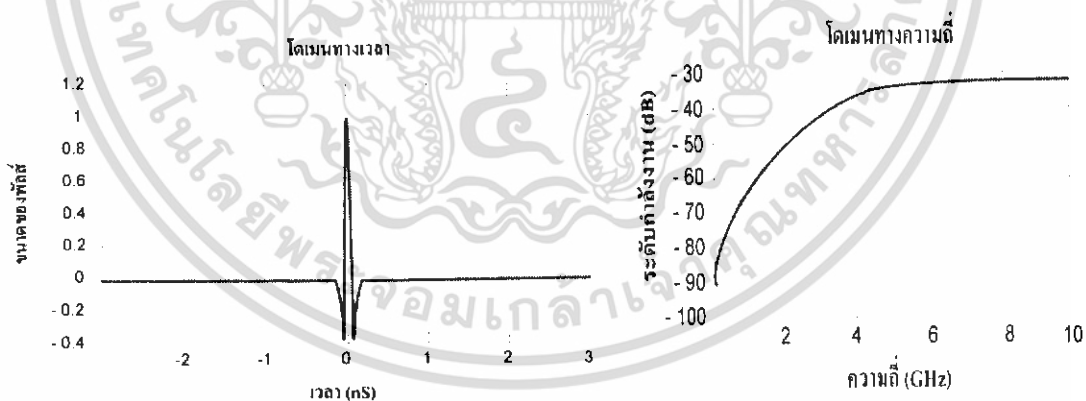


รูปที่ 2.5 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์โมโนไซคลิกทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.4.4 สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเบิล

สัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเบิล (Gaussian doublet) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอนุพันธ์อันดับสองของพัลส์แบบเกาส์โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 2.4 และแสดงรูปสัญญาณดังรูปที่ 2.6

$$s(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.6 รูปสัญญาณพัลส์แบบเกาส์ดับเบิลทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

2.5 เทคนิคการมอดูเลตในระบบการสื่อสารแบบอูตร้าไวด์แบนด์

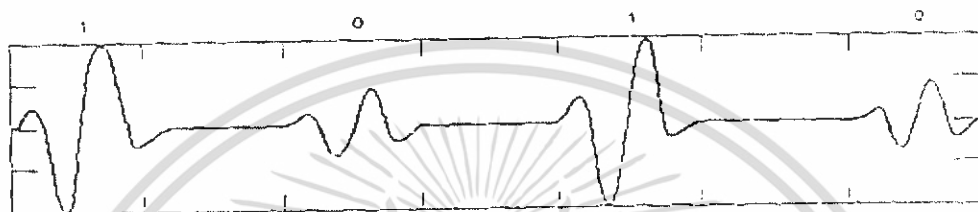
การส่งข้อมูลข่าวสารในระบบอูตร้าไวด์แบนด์นั้น มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มส่วนของข้อมูลข่าวสารที่เป็นดิจิทัลเข้าไปในสัญญาณพัลส์แบบอนาล็อกหรือในความหมายของการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในระบบอุตราไวด์แบนด์นั้นวิธีการมอดูเลตอยู่มากมายที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งในที่นี้จะขอ ยกตัวอย่างถึงวิธีการทั่วไปของการมอดูเลตดังนี้

2.5.1 การมอดูเลตทางขนาดของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางขนาดของพัลส์ (PAM) นั้นจะต้องอยู่บนพื้นฐานการเข้ารหัส สัญญาณข้อมูลกับขนาดของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในรูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณอุตราไวด์แบนด์ที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ ตามขนาด โดยมีทั้งหมด 4 ระดับ



รูปที่ 2.7 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตแบบพัลส์ตามขนาด 4 ระดับ

2.5.2 การมอดูเลตทางตำแหน่งของพัลส์

การมอดูเลตสัญญาณทางตำแหน่งพีพีเอ็ม (PPM) นั้นจะทำการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตาม ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ โดยที่ตำแหน่งของสัญญาณพัลส์ที่ใช้แทนสัญญาณข้อมูลสามารถมีได้ สองตำแหน่งหรือมากกว่านั้น โดยมีในรูปที่ 2.8 แสดงการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ตามตำแหน่งปกติ (Nominal - Position) และบิต "1" จะแทนตำแหน่งพัลส์ที่อยู่ก่อนตำแหน่งปกติ โดยช่วงเวลา ประวิงเวลาระหว่างตำแหน่งของสัญญาณทั้งสองต้องมีค่าที่มากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแทรกสอด กันระหว่างสัญญาณอิมพัลส์

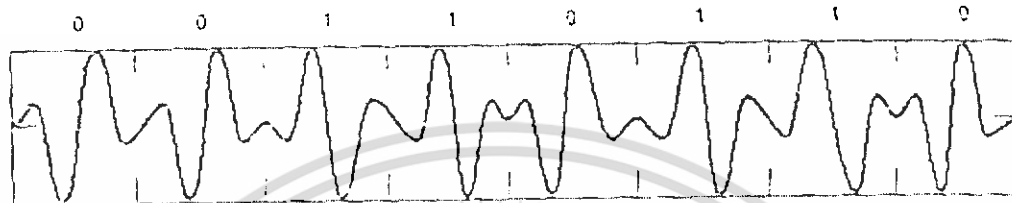


รูปที่ 2.8 สัญญาณที่ทำการมอดูเลตทางตามตำแหน่งของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การมอดูเลตแบบสองเฟส

การมอดูเลตสัญญาณแบบสองเฟส (Bi-phase) นั้นจะอยู่พื้นฐานของการเข้ารหัสสัญญาณข้อมูลตามเฟสของสัญญาณพัลส์ โดยที่ในกรณีนี้จะแทนสัญญาณข้อมูลหนึ่งบิตด้วยสัญญาณพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ซึ่งการมอดูเลตสัญญาณพัลส์แบบสองเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแบบสองเฟส

2.6 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลในมาตรฐานใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สายคือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (subcarrier) หลายๆ ความถี่ โดยแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

OFDM เป็นเทคนิคการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ เมื่อช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นขนาดเล็กๆ N ช่องแต่ละช่องมีขนาดเท่ากับขนาดของสัญลักษณ์บิตเรต (Bit rate) ดิจิตอลทางด้านสัญญาณดิจิตอลความเร็วสูงที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อยๆ ที่มีความถี่ต่ำกว่าจะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย 1 สัญญาณ และนำสัญญาณทั้งหมดส่งขนานกันออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมทั่วไปได้แก่ QAM, 16 QAM หรือ 64 QAM เป็นต้น ใน OFDM กลุ่มของข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปขนานกัน โดยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย ดังนั้นจะกลายมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่ในบนแกนเวลาอีกครั้งโดยการแปลงกลับฟาส์ฟูเรียร์ (IFFT) จากนั้นจะสัญลักษณ์บนแกนเวลาจะถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันได้เป็นอนุกรมของสัญญาณ แล้วจึงส่งสัญญาณออกไปทางเสาอากาศ

หลังจากการมอดูเลตแบบ OFDM จะมีการสอดแทรกช่วงแถบป้องกันแคบๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter Symbol Interference : ISI) ที่เกิดจากสัญญาณหลายเส้นทาง (Multi-path) เราเรียกแถบป้องกันแคบๆ นี้ว่า การเสริมไซคลิก (Cyclic prefix) ส่วนใน

เครื่องรับจะดำเนินกระบวนการตรงข้ามกับเครื่องส่งและในเครื่องรับจะใช้การแปลงฟาสท์ฟูเรียร์แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาไปเป็นแถบความถี่สมมูล

สำหรับในระบบมอดูเลตราวด์แบนด์มีการคิดที่จะนำระบบ OFDM เพื่อที่จะสามารถจัดสรรย่านความถี่เพื่อต้องการที่จะใช้ให้เกิดประโยชน์ด้วยเหตุที่ระบบมอดูเลตราวด์แบนด์มีแบนด์วิธที่กว้างทำให้เมื่อมีการแบ่งแบนด์วิธแล้วก็ไม่มีความกระทบมากนัก

ข้อดี ของ OFDM คือสามารถใช้งานแถบความถี่ในระบบที่เคยใช้สัญญาณพาหะเดี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Spectral Efficiency) สามารถป้องกันผลกระทบจากเคลื่อนที่ของสัญญาณหลายเส้นทาง (Immunity to multi-path) และมีความไวต่ำต่อการเลื่อนหายไปของความถี่ที่เลือก (Less sensitivity to frequency selective fading)

2.7 แพรทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น

แพรทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปสโคออดิเนต (Space Coordinate) ส่วนใหญ่แพรทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นนี้มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field) สำหรับคลื่นมอดูเลตราวด์แบนด์ก็คิดในลักษณะแพรทเทิร์นเช่นเดียวกับคลื่นอื่นๆ

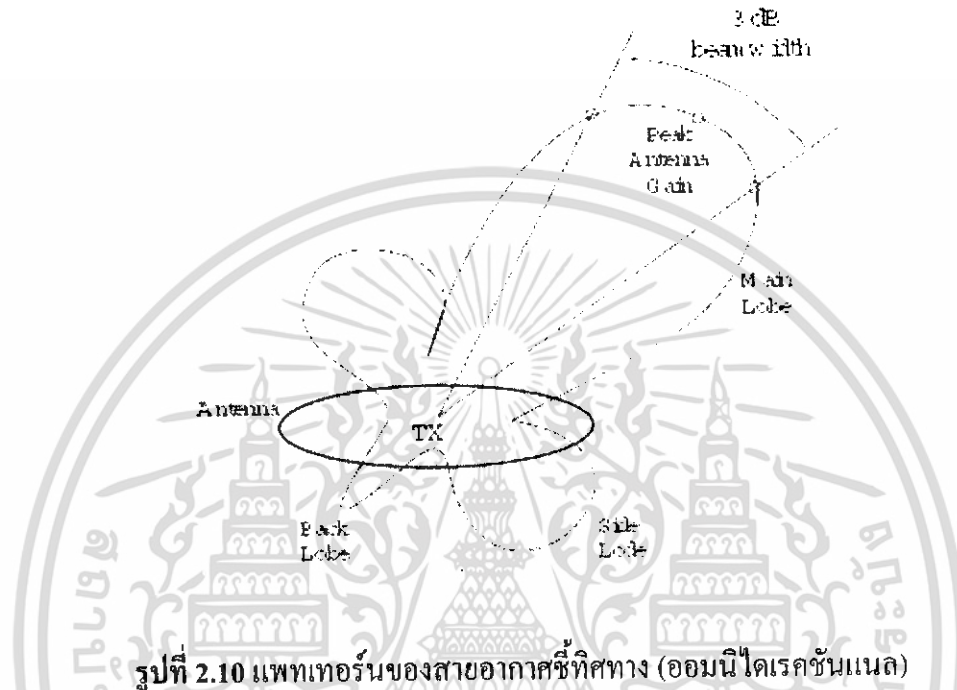
การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงการแจกแจงของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

การแสดงระบบโคออดิเนตที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับการใช้เส้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่ มีชื่อเรียกว่าแพรทเทิร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่ มีชื่อเรียกว่า แพรทเทิร์นสนาม (Field pattern) ของสายอากาศนั้น

2.7.1 แพรทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก ไดเรกชันเนล และออมนิไดเรกชันเนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทาง ยกตัวอย่างเช่น พอยท์ซอร์ส (Point Source) เป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ

สายอากาศชี้ทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี ในเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัตินี้คือ สายอากาศแบบออมนิไดเรกชันแนล (Omni directional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้มีดังแสดงในรูป 2.10



2.7.2 แพทเทอรันหลัก

เรามักจะอธิบายคุณสมบัติของสายอากาศในเทอมของแพทเทอรันหลัก (Principal Pattern) ของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H สำหรับสายอากาศลิเนียร์โพลาไรเซชัน (Linearly Polarization) แพทเทอรันในระนาบ E จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรงที่สุด ส่วนแพทเทอรันในระนาบ H จะเป็นระนาบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นที่แรง

2.7.3 โลบของแพทเทอรันการแพร่กระจายคลื่น

โอบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของแพทเทอรันการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณ โดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำ รูป 2.10 แสดงโพลาร์แพทเทอรัน (Polar Pattern) แบบสามมิติ ซึ่งแบ่งเป็นโอบแบบต่างๆ ดังนี้

โอบหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นโอบของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งอยู่ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ตามรูป 2.10 มีโอบหลักอยู่ในทิศทาง $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางชนิดอาจมีโอบหลักมากกว่าหนึ่งโอบ เช่น สายอากาศแยก빔 (Split beam Antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลบย่อย (Minor Lobe) ได้แก่โลบอื่นๆ นอกเหนือไปจากโลบหลัก

โลบข้างหรือไซด์โลบ (Side Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ติดกับโลบหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโลบ

โลบหลัง (Back Lobe) เป็นโลบย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับโลบหลักปกติแล้วโลบย่อยจะเกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับสายอากาศที่ดีจะต้องกำจัดโลบเหล่านี้ให้น้อยที่สุด ระดับของโลบย่อยมักแสดงเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นของพลังงานในโลบที่กำลังคิดต่อความหนาแน่นของพลังงานในโลบหลัก ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของไซด์โลบ (Side Lobe Ratio) หรือระดับของไซด์โลบ (Side Lobe Level : SLL) ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นมักจะต้องการให้ระดับของไซด์โลบน้อยกว่า -20 dB (เดซิเบล)

2.7.4 บริเวณต่างๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศเป็น 3 ส่วน คือสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ (Reactive-Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating - Near Field) และสนามระยะไกล (Far Field) บริเวณสนามรีแอกทีฟระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด และมีสนามเป็นชนิดรีแอกทีฟเป็นส่วนใหญ่ บริเวณนี้จะมีระยะทาง $R < 0.62 \frac{D_2}{\lambda}$ จากผิวของสายอากาศเมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น และ D เป็นมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้ เป็นบริเวณสนามของสายอากาศที่อยู่ระหว่างบริเวณของสนามรีแอกทีฟระยะใกล้กับบริเวณสนามระยะไกล โดยมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่และการกระจายของสนามตามมุมต่างๆ นั้นแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศเมื่อสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจไม่เกิดขึ้น ในบริเวณนี้จะมีระยะทาง $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R \leq 2D^2/\lambda$ บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่ของสนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีมิติใหญ่ที่สุดเท่ากับ D บริเวณสนามระยะไกลจะเกิดขึ้นที่ระยะทาง R มากกว่า $2D^2/\lambda$ จากสายอากาศ

ในบริเวณนี้สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) และการแพร่กระจายของสนามตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทาง ขอบในของบริเวณดังกล่าวมีค่า R เท่ากับ $2D^2/\lambda$ และขอบนอกเป็นอนันต์

2.8 เกน (Gain)

สิ่งที่แสดงคุณสมบัติของสายอากาศอีกอย่างหนึ่งก็คือ เกน (Gain) เกนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้มาจากไดเรกทิวิตีโดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรกทิวิตีอธิบายคุณสมบัติ ในการชี้ทางของสายอากาศเท่านั้น

เพาเวอร์เกน (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น ในทิศทางนั้นต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่ง เมื่อไม่ได้กำหนดทิศทางไว้ โดยเฉพาะโดยทั่วไปแล้วเราจะคิดเพาเวอร์เกน ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุด ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เกน} &= 4\pi \frac{\text{ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น}}{\text{กำลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้สายอากาศ}} \\ &= 4\pi \frac{U(\phi, \theta)}{P_{in}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพันธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่นๆ ซึ่งคำนวณเกนได้ง่าย หรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้น

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{\text{(ไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย)}} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (2.32)$$

จากรูป 2.10a เราสามารถเขียนได้ว่า กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (Prod) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ (P_{in}) ด้วย

$$\text{Prod} = e_r P_{in} \quad (2.33)$$

เมื่อ เป็นประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ใช้ (2.33) จะทำให้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.32) มีความสัมพันธ์ง่ายเข้าเป็น

$$G_r(\theta, \phi) = e_r \frac{[4\pi U(\theta, \phi)]}{\text{Prod}} \quad (2.34)$$

ซึ่งสัมพันธ์กับไดเรกทีฟเนสใน (2.21) คือ (2.35)

$$G_r(\theta, \phi) = e_r D_r(\theta, \phi)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของเกนจะสัมพันธ์กับไดเรกทีฟเนส (directivity) โดย

$$\begin{aligned} G_0 &= G_r(\theta, \phi) \max = e_r D_r(\theta, \phi) \max \\ &= e_r D \end{aligned} \quad (2.26)$$

ดังนั้นค่าประมาณของเกนจะมีค่าเป็น

$$G_0 \approx \frac{30,000}{\Theta 1d\Theta 2d} \quad (2.36a)$$

ในทางปฏิบัติเมื่อกล่าวถึงเกนมักจะหมายถึง เพาเวอร์เกนที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงใน (2.36)

$$G_0 \text{ (dB)} = 10 \log_{10} [e_r D \text{ (ไม่มีหน่วย)}] \quad (2.37)$$

2.9 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ e_t จะใช้เมื่อเรากำลังถึงการสูญเสียต่างๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วยการสูญเสียต่างๆ เมื่ออ้างอิงตามรูป 2.10b อาจเนื่องมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพจน์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน ($I_2 R$) โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_r = e_r e_c e_d \quad (2.38)$$

เมื่อ e_r = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)
 e_r = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ = $(1 - |r|^2)$ (ไม่มีหน่วย)
 e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)
 e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)
 r = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ

$$r = (Z_{in} - Z) / (Z_{in} + Z)$$

เมื่อ Z_{in} = อิมพีแดนซ์อินพุตของสายอากาศ,

Z = อิมพีแดนซ์คุณสมบัติ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง

ปกติ e_c และ e_d คำนวณหาได้ลำบาก ส่วนมากมักหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก e_c จาก e_d ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวกมักจะเขียน (2.38) ใหม่เป็น

$$e_r = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |r|^2) \quad (2.39)$$

เมื่อ e_{cd} = $e_c e_d$ = ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

2.10 ประสิทธิภาพของบีม

พารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งที่จะใช้ในการตัดสินว่าสายอากาศมีคุณภาพของการส่งหรือรับคลื่นดีเพียงใดนั้น ได้แก่ ประสิทธิภาพของบีม (Beam Efficiency : BE) สำหรับสายอากาศซึ่งมีโอบหลักอยู่ในทิศทางแกน Z ($= 0$) ดังแสดงในรูป 2.40 ประสิทธิภาพของบีมจะกำหนดได้ดังนี้คือ

$$BE = \frac{\text{กำลังที่ส่ง (หรือรับ) ภายในรัศมีซึ่งทำมุม } \theta_1 \text{ (ไม่มีหน่วย)}}{\text{กำลังที่ส่ง (หรือรับ) ทั้งหมดด้วยสายอากาศนั้น}} \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ 0_1 เป็นมุมที่เกิดมีนัล (Null) คือจุดตำแหน่งที่กำลังมีค่าเป็นศูนย์เป็นคู่แรกตั้งนั้น ประสิทธิภาพของบีมจะเป็นปริมาณที่แสดงถึงอัตราส่วนของจำนวนกำลังงานในโลบหลักต่อกำลังงานที่มีทั้งหมด

2.11 แบนด์วิดท์

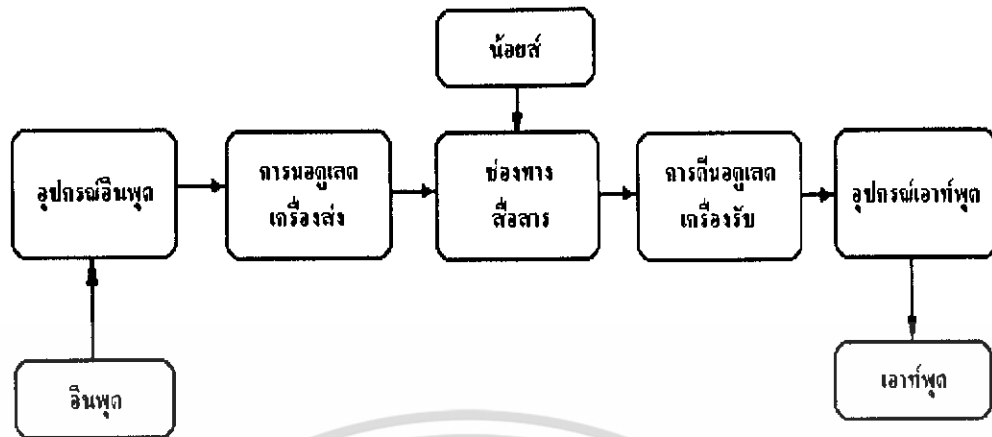
แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุท, อิมพีแดนซ์, แพทเทอรัน, บีมวิดท์, โพลาริเซชัน, ระดับของไซด์โลบ, เกน, ประสิทธิภาพ ของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐาน สำหรับสายอากาศแบบค้ำกว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ ยกตัวอย่างเช่น แบนด์วิดท์ 10 : 1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง มีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำอยู่ 10 เท่าสำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิดท์ที่จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ) หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น เช่น แบนด์วิดท์ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศ เป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์, แพทเทอรัน เกน, โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทอรันกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศนอกจากนี้แบนด์วิดท์ของเกน, ระดับของไซด์โลบ, บีมวิดท์, โพลาริเซชัน จะมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทอรันแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น จะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

2.12 ระบบสื่อสารโดยพื้นฐาน

ในระบบสื่อสารไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม แขนงพื้นฐานมักเหมือนกับรูปที่ 2.11 ซึ่งระบบสื่อสารโดยพื้นฐานประกอบด้วย อุปกรณ์อินพุท (input device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (communication channel) หรือเซนแนล ซึ่งมักจะมียอนส์สามารถควบคุมเครื่องรับ และอุปกรณ์เอาต์พุต (output device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ระบบสื่อสารพื้นฐาน

2.12.1 อุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุต

ความจริงอุปกรณ์อินพุตก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นข่าวสารนั่นเอง มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน เช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุตอาจเป็นไมโครโฟน และอุปกรณ์เอาต์พุตจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

ในทำนองเดียวกัน ในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์ อุปกรณ์อินพุตก็คือกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสง (จากภาพ) ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือหลอดภาพโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคืนเป็นพลังงานแสง

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คั่นเคาะโทรเลข เครื่องโทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร (telemetry) ฯลฯ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตจะต่อเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับหรือส่งระหว่างกัน แบ่งออกเป็น 3 พวกใหญ่ คือ

เสียงหรือออดิโอ (audio) ได้แก่ เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงพูด เสียงเพลง หรือเสียงดนตรี ซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง

ภาพ (picture) ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร (facsimile) และระบบส่งภาพระยะไกล (telephoto) ภาพยนตร์ในระบบโทรทัศน์

ข้อมูล (data) ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ได้แก่ ข้อมูลและคำสั่งที่ใช้ในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์ หรือโทรเลข ข้อมูลทางระบบคอมพิวเตอร์ ในระบบสื่อสารคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 เครื่องส่ง

เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตลงไปยังคลื่นพาหะความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์) กำมอดูเลตเครื่องส่ง ส่วนใหญ่มักมีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกอากาศมีกำลังแรงเพื่อสื่อสารกันได้ในไกลขึ้น สำหรับเครื่องของระบบอุตสาหกรรมไวต์แบนด์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีตัวสร้างสัญญาณ (Generate) ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณที่มีความถี่สูงและปรับให้อยู่ในย่านไวต์แบนด์

2.12.3 ช่องทางสื่อสาร

ช่องทางสื่อสารในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศ อวกาศว่าง (free space) หรือสาย ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะระบบวิทยุเท่านั้น ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไปโดยผ่านบรรยากาศซึ่งเป็นตัวกลาง (medium) ซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

2.12.4 ความถี่และความยาวคลื่น

เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร
 V คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับความเร็วของแสง = 3×10^8 เมตรต่อวินาที
 f คือ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิร์ตซ์ (Hz)

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น ย่านความถี่

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency(LF)	30-300 kHz	10-1 km
Medium Frequency(MF)	300-3000 kHz	1000-100 m
High Frequency (HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 นอยส์ (noise)

เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือรบกวน (interfere) นอยส์ที่รับเข้ามาได้ แบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

นอยส์บรรยากาศ (atmospheric noise) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

นอยส์จากอวกาศ (space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้าน ๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้น ดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมา มีสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่นๆ อีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (sun spot) การลุกโชติช่วง (solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยจักรวาลก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้

นอยส์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น พัดลม ที่เป่าลม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ฯลฯ

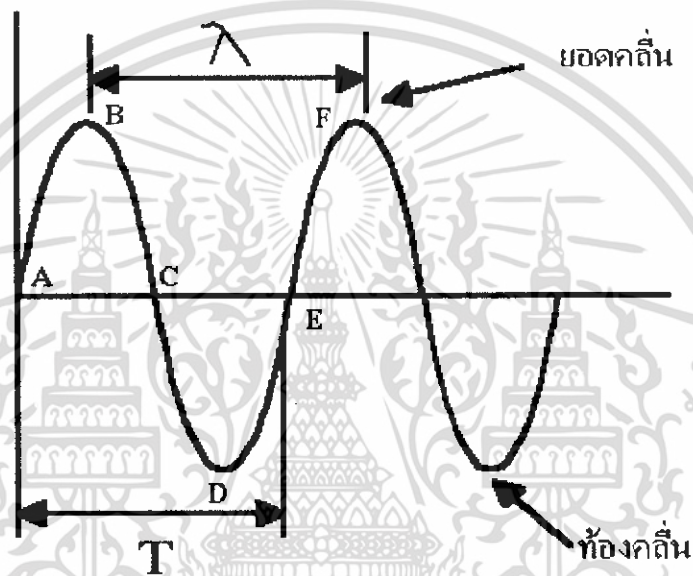
นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ (internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือนอยส์อุณหภูมิ (thermal noise) และช็อตนอยส์ (shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่า จอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอคทีฟ (active device) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล (hole) เช่น ในทรานซิสเตอร์ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.12.6 เครื่องรับ

เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องส่ง สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีนอยส์เข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อนๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดนอยส์หรือต่อสู้เอาชนะนอยส์ที่รบกวน สัญญาณที่รับได้จะผ่านการคิมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่ เข้ามาออกสู่ตัวรับกลับมา กรรมวิธีนี้ค่อนข้างสลับซับซ้อนพอสมควร สำหรับเครื่องรับของสัญญาณอุลตราไวต์แบนด์นั้น สามารถรับสัญญาณ และแสดงคุณลักษณะของรูปแบบคลื่นอุลตราไวต์แบนด์ได้

2.13 ลักษณะการเกิดคลื่น

สมมุติว่าเราโยนก้อนหินลงไปใต้น้ำ ทันทีที่ก้อนหินกระทบผิวน้ำจะเกิดลูกคลื่นของน้ำกระจายไปโดยรอบ เป็นวงกลม สังเกตเห็นว่ารูปคลื่นกระจายกว้างออกไปเรื่อยๆ แต่ผิวน้ำนั้นเพียงกระเพื่อมขึ้นลงเท่านั้น ดังนั้นกล่าวได้ว่า การเดินทางของคลื่นเป็นการเดินทางของพลังงานชนิดหนึ่ง ซึ่งถ้าสังเกตผิวน้ำที่กระเพื่อมขึ้นลง จะเห็นว่ามีลักษณะเป็นลอนคล้ายลอนของสังกะสีหลังคาบ้าน หากดูทางภาคตัดขวางจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (SINE WAVE) ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาคตัดขวางของลูกคลื่น

จุดสูงสุดของคลื่นเรียกว่า ยอดคลื่น และจุดต่ำสุดของคลื่นเรียกว่า ท้องคลื่น ลูกคลื่นแต่ละลูกคลื่นจะแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพครบหนึ่งรอบเวลาพอดีจากรูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงจาก A ถึง E คือ A B C D E จะแทนคลื่น 1 ลูก หลังจากนั้นจะเริ่มรอบใหม่หรือคลื่นลูกใหม่ต่อไป

ถ้าเราปักไม้ไว้ในน้ำแล้วคอยสังเกตดูลูกคลื่นที่ผ่านไม้นั้น จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งกำหนดต่อวินาที เราเรียกว่า ความถี่ ซึ่งหมายถึง จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงต่อวินาที (CYCLE PER SECOND) ซึ่งในปัจจุบันจะใช้หน่วยที่เรียกว่า เฮิร์ตซ์ (HERTZ) ในการใช้งาน การวัดระยะห่างระหว่างยอดคลื่นของคลื่นแต่ละลูก ค่าที่ได้เรียกว่า ความยาวคลื่น (WAVELENGTH) ใช้สัญลักษณ์ λ มีหน่วยเป็นเมตร ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางเป็นระยะทาง 1 ความยาวคลื่น เรียกว่า คาบ (PERIOD) ใช้แทนด้วยตัวอักษร T มีหน่วยเป็นวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นวิทยุก็มีความคล้ายคลึงกันกับคลื่นในน้ำ คลื่นจะเกิดได้จะต้องมีแหล่งกำเนิด ใน กรณีของคลื่นในน้ำนั้นเกิดจากการโยนก้อนหินกระทบผิวน้ำ แต่คลื่นวิทยุ นั้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในอากาศ ซึ่งจะเกิดคลื่นวิทยุกระจายออกไปรอบๆ สายอากาศ

สำหรับคลื่นอุลตราไวต์แบนนั้นลักษณะคลื่นจะต่างกับคลื่นวิทยุตรงที่ลักษณะของคลื่นอุลตราไวต์แบนด์เป็นพัลส์ลักษณะความถี่จึงต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ของคลื่นวิทยุ คือ

$$C = \lambda f$$

หรือ $\lambda = C / f$

และ $f = 1 / T$

โดย $C =$ ความเร็วแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที

$f =$ ความถี่

$\lambda =$ ความยาวคลื่น

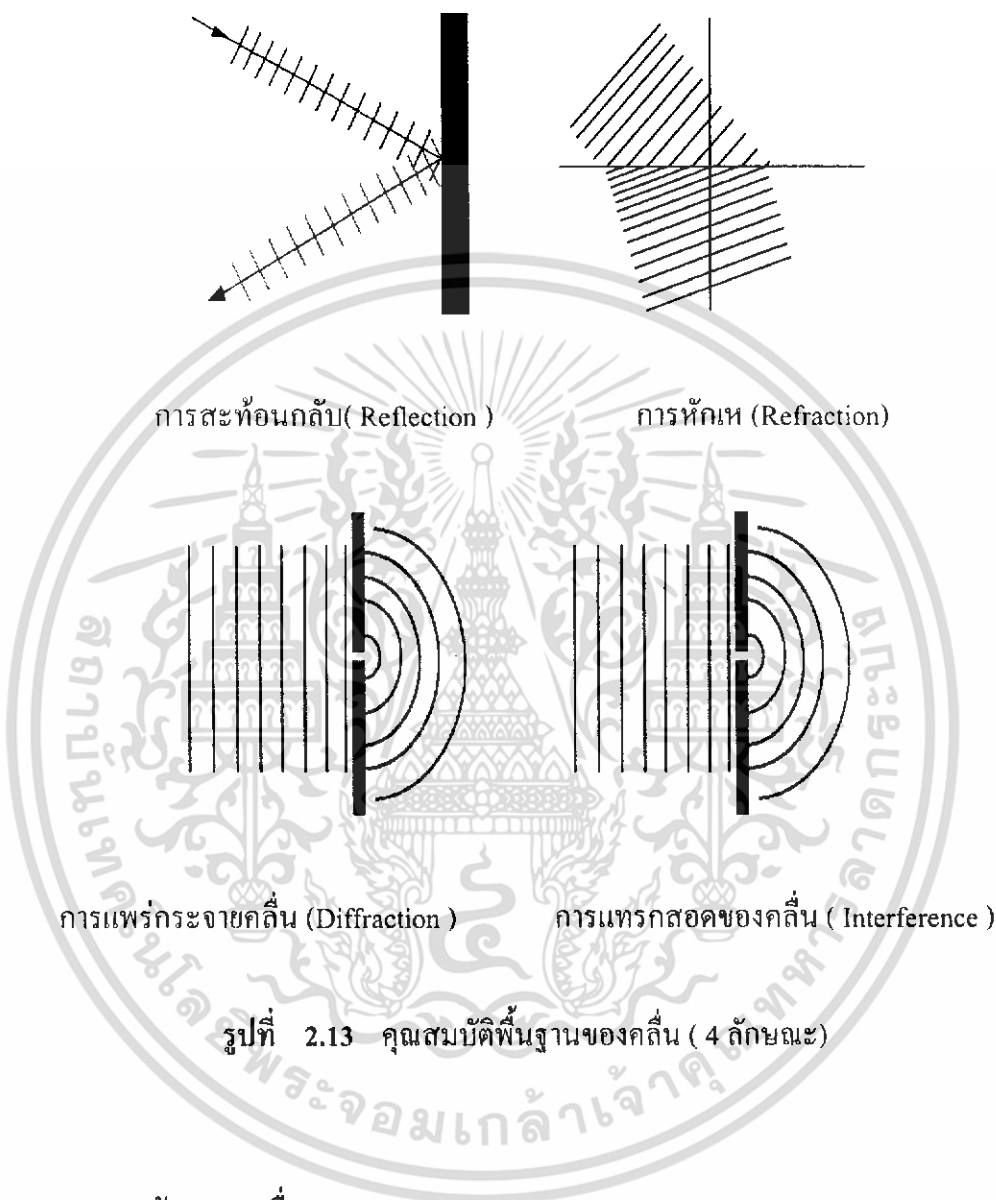
$T =$ คาบ

2.14 คุณสมบัติของคลื่น

สำหรับคลื่นอุลตราไวต์แบนนั้นคุณสมบัติของคลื่นจะมีลักษณะเหมือนคลื่นชนิดอื่นๆซึ่งไม่ได้แตกต่างแม้คลื่นอุลตราไวต์แบนจะส่งคลื่นเป็นแบบอิมพัลส์ซึ่งคุณสมบัติที่จะแสดงต่อไปล้วนเป็นพื้นฐานของคลื่นที่เกิดกับคลื่นทั่วไปและคลื่นอุลตราไวต์แบน

คุณสมบัติพื้นฐานของ คลื่น ต่างๆ สามารถ พิจารณา ได้ 4 ประการ ซึ่ง

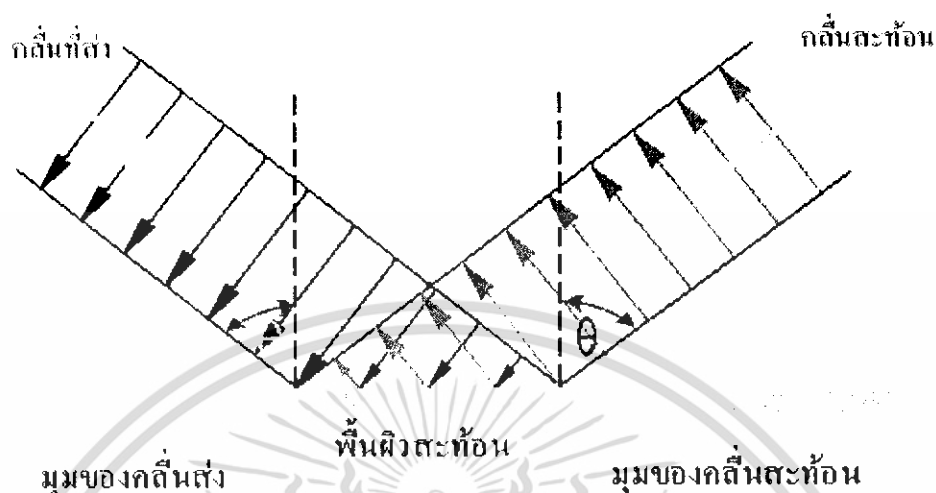
1. การสะท้อนกลับ (Reflection)
2. การหักเห (Refraction)
3. การแพร่กระจายคลื่น (Diffraction)
4. การแทรกสอดของคลื่น (Interference)



2.14.1 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่นหมายถึง การเปลี่ยนทิศทางการเดินทางของคลื่นโดยทันทีทันใดเมื่อคลื่นนั้นเดินทาง ตกกระทบบที่ผิวของตัวกลางแล้วไม่สามารถผ่านไปได้นั่นคือ คลื่นนั้นจะกระดอนออกจากผิวสะท้อนของตัวกลาง ในลักษณะเดียวกับแสงสะท้อนจากกระจกเงา แต่คลื่นอุลตราไวด์แบนด์จะมีส่วนที่ทะลุผ่านวัตถุไปส่วนหนึ่ง จากรูปที่ 2.14 แสดงปรากฏการณ์ของการสะท้อนของคลื่นวิทยุ สังเกตได้ว่ามุมตกกระทบบเท่ากับมุมสะท้อน

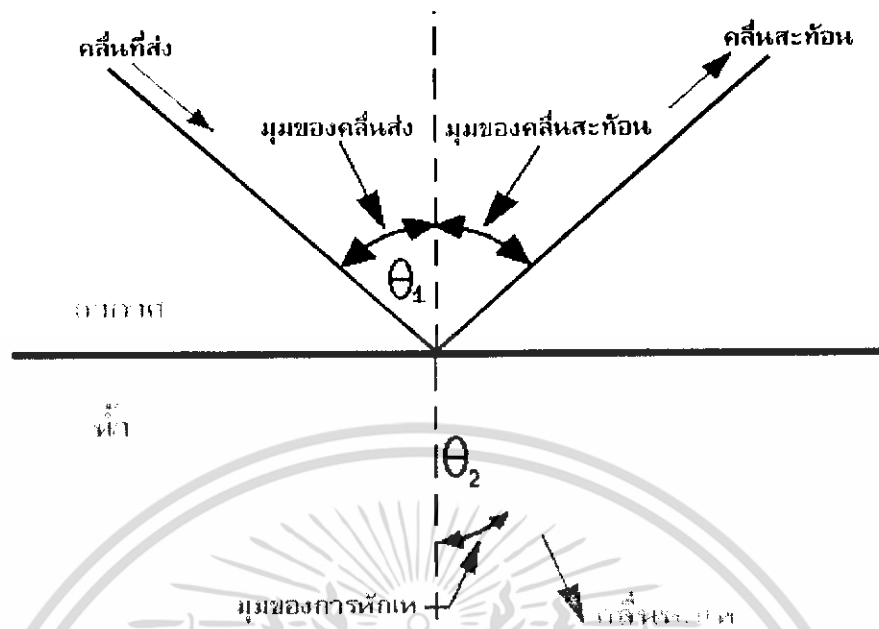
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การสะท้อนของคลื่นวิทยุ

2.14.2 การหักเหของคลื่น (Refraction)

การหักเหของคลื่นวิทยุเกิดขึ้นเมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากตัวกลางหนึ่ง ไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เหมือนกัน โดยที่มุมตกกระทบ ณ ตัวกลางที่สองไม่เป็นมุมฉาก พลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับเข้าไปยังตัวกลางที่หนึ่ง โดยมีมุมตกเท่ากับมุมสะท้อน แต่ยังมีส่วนของพลังงานคลื่นอีกส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สอง การเดินทางเข้าไปยังตัวกลางที่สองนี้ จะไม่เป็นแนวเส้นตรงต่อไปจากแนวทางเดินในด้านตัวกลางแรก แต่จะหักเหออกไปเล็กน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางทั้งสอง สาเหตุที่เกิดการหักเหของทางเดินของคลื่นวิทยุ เนื่องจาก ความเร็วของคลื่นวิทยุในตัวกลาง ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกันจะไม่เท่ากัน เช่น คลื่นวิทยุจะเดินทางในน้ำบริสุทธิ์จะช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า เป็นต้น



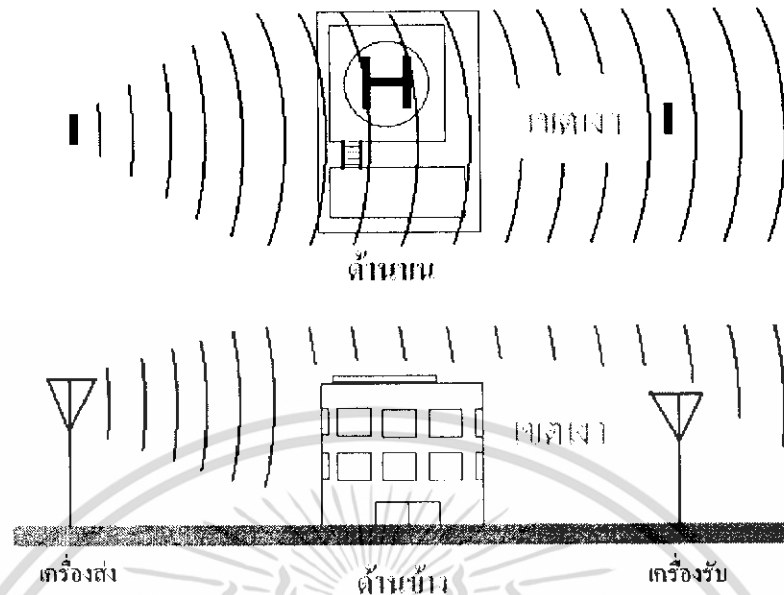
รูปที่ 2.15 การหักเหของคลื่นวิทยุ

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อหน้าคลื่น (wave front) ตกกระทบพื้นผิวระหว่าง ตัวกลางทั้งสองนั้น ส่วนของคลื่นที่สัมผัสผิวน้ำ ก็จะเริ่มเดินทางเข้าไปในน้ำ ด้วยความเร็วช้าลง ในขณะที่หน้าคลื่นอีกส่วนหนึ่งยังคงอยู่ในอากาศ จะเดินทางเร็วกว่า ตัวอย่างคลื่นที่ใช้ติดต่อสื่อสารที่อาศัยการหักเหของคลื่น คือ การสื่อสารในย่านความถี่สูง (HF) ซึ่งอาศัยพลาสมาไฟฟ้า IONOSPHERE เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางจากพื้น โลกผ่านเข้าไปยังพลาสมาไฟฟ้า ลำคลื่นจะค่อยๆ หักเหไปเรื่อยๆ จนในที่สุดคลื่นก็จะกลับออกมาจากพลาสมา ไฟฟ้าและกลับมาถึง พื้น โลกอีก

2.14.3 การแพร่กระจายคลื่น

การแพร่กระจายคลื่นมีชื่อเรียกได้ต่างๆกันไป เช่น การเลี้ยวเบนของคลื่นหรือการเบี่ยงเบนของคลื่นการเบี่ยงเบนของคลื่นเกิดขึ้น เมื่อคลื่นเดินทางผ่านมุมหรือขอบของตัวกลางที่ที่คลื่นนั้นไม่สามารถผ่านได้เช่นคลื่นวิทยุความถี่สูงมากเดินทางผ่านยอดเขาคลื่นนี้มีคุณสมบัติเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้น ถ้าเรา ลาก เส้นตรง จาก สายอากาศไปยังยอดเขาส่วนที่อยู่หลังยอดเขาและต่ำกว่าเส้นนี้ ลงมา ไม่ควรที่จะได้รับคลื่น ได้เลยแต่บางส่วนของที่อยู่หลังยอดเขาสามารถรับคลื่นวิทยุย่านความถี่ สูง ได้เนื่องจาก ความถี่สูง ขึ้น การ เบี่ยงเบนของคลื่นก็ยังลดลงกล่าวคือ คลื่นจะ เดินทางเป็นแนวเส้นตรงแต่บางส่วนของคลื่นเกิดการกระทบกับสลิทแคบๆ (ยอดเขา) ทำให้คลื่นเกิดการแตกกระจายออกไป โคจรอบเสมือนกับ เป็น แหล่ง กำเนิด คลื่น ใหม่ นั่นเอง ดังรูป ที่ แสดง คลื่นผ่าน ช่องสลิท ที่แคบ โดยมี หลักการ ดังที่ ได้ กล่าวไป ข้างต้น

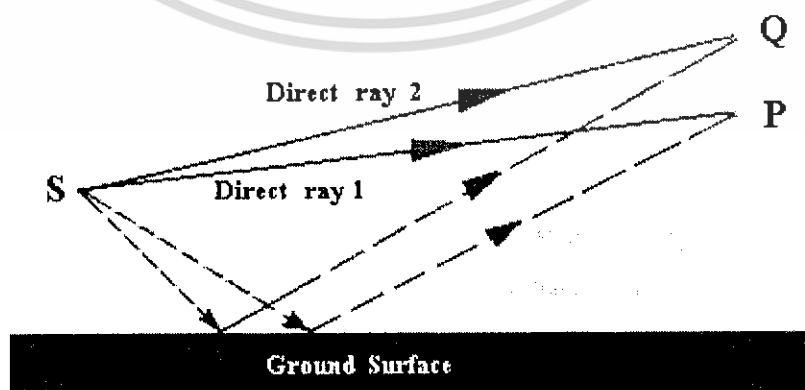
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเบี่ยงเบนของคลื่นวิทยุ

2.14.4 การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

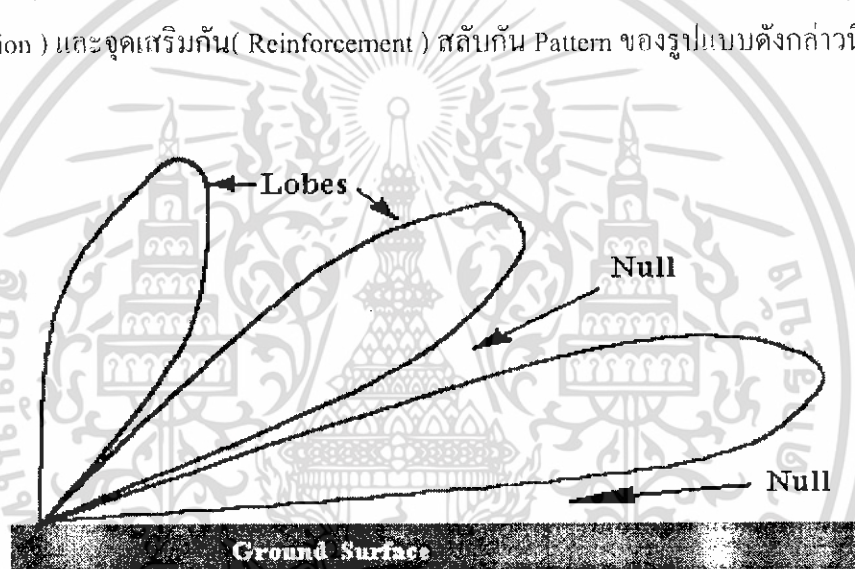
การแทรกสอดของคลื่น เรื่องนี้จะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติที่สามารถมองเห็นได้ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราพิจารณาเรื่องการแทรกสอดของคลื่นที่เกิดขึ้นได้ เมื่อคลื่น 2 คลื่น ที่ออกจากแหล่งจ่าย อันเดียวกันและเดินทางมาด้วยเส้นทาง ที่ต่างกันมาถึงจุดหนึ่งพร้อมกัน สิ่งนี้เกิดขึ้นบ่อยมากในการเดินทางของ High - frequency Sky - Wave propagation และใน Microwave space - wave propagation มันเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศของไมโครเวฟ ถูกตั้งอยู่ใกล้กับพื้นดินและคลื่นที่ มาถึงจุดรับไม่ใช่เพียงจากทิศทางตรง แต่เป็นคลื่นที่ได้รับหลังจากสะท้อนจากพื้นดินแล้ว แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การแทรกสอดของคลื่นในทางตรงและหลังจากสะท้อนจากพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่า เส้นทางของคลื่นตรง (Direct ray) สั้นกว่า เส้นทางจากการสะท้อน (Reflected ray) สำหรับบางครั้งการรวมกันของความถี่และความสูงของสายอากาศที่ติดตั้งเหนือพื้นโลก ความแตกต่างระหว่าง เส้นทาง Direct ray 1 กับ Reflected ray 1 เท่ากับ ประมาณครึ่ง ความยาวคลื่น สิ่งนี้ จะเป็นการหักล้าง อย่าง สมบูรณ์ ณ จุดรับ P ถ้า พื้นโลก เป็นตัวสะท้อนที่สมบูรณ์ และหักล้างกันบางส่วนสำหรับพื้นโลกที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนจุดรับอื่นๆ (P) ด้วยเหตุที่เส้นทางแตกต่างระหว่าง Direct ray 2 กับ Reflected ray 2 มีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่นพอดี ในกรณีนี้การเสริมกันของคลื่นที่รับได้จะเกิดขึ้น ณ จุดนี้ และจะเป็นเฉพาะบางส่วนหรือทั้งหมด ขึ้นอยู่กับความสามารถการสะท้อนของพื้นโลก การเกิดอย่างต่อเนื่องของจุดนี้มากกว่าหนึ่งอัน ที่จุดอื่นๆ อาจพบได้อีก จะได้เป็น Interference Pattern ขึ้น ซึ่งประกอบด้วยจุดหักล้างกัน (cancellation) และจุดเสริมกัน (Reinforcement) สลับกัน Pattern ของรูปแบบดังกล่าวนี้



รูปที่ 2.18 Radiation Pattern with interference

กราฟจากรูปที่ 2.18 คือ จุดต่อกันของ Electric intensity ที่เท่าๆ กัน pattern นี้เกิดขึ้นโดยสายอากาศ ณ จุดความสูงจากพื้นโลกประมาณ 1 ความยาวคลื่น ด้วยการสะท้อนจากพื้นโลก (ถือว่าเป็นแผ่นระนาบและตัวนำที่สมบูรณ์) ทำให้เกิดการสอดแทรก Pattern ดังแสดง อาจคำนวณหรือพล็อตได้จากการวัด Field Strength อย่างถูกต้อง "Flower petals" (กลีบดอกไม้) ของ pattern นี้เรียกว่า Lobes ซึ่งตรงจุดที่เสริมกัน ดังเช่นจุด q ของรูปที่ผ่านมา ขณะที่ Nulls ระหว่าง Lobes ตรงกับจุดที่หักล้างกัน

2.15 คุณสมบัติอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับคลื่น

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นที่กล่าวมายังมีคุณสมบัติอื่นที่เกิดขึ้นอย่างคลื่น อุลตราไวด์ แบนด์ ซึ่งลักษณะคลื่นที่กล่าวต่อไปนี้จะป็นลักษณะของคลื่นทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบใช้ได้กับคลื่นอุลตราไวด์แบนด์ได้ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

2.15.1 การดูดกลืน (ABSORPTION) เมื่อคลื่นวิทยุเดินทางผ่านตัวกลาง พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในลักษณะที่กลายเป็นความร้อนเรียกว่า คลื่นวิทยุถูกดูดกลืนโดยตัวกลางตัวกลางนั้นไม่ว่าจะเป็นตัวนำ หรือมีภาพเป็นตัวต้านทานต่อคลื่นวิทยุ อาคารตึก และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ บนพื้นโลก อุณหภูมิของอากาศ น้ำ และฝุ่นละออง ซึ่งประกอบกันเป็นชั้นบรรยากาศ สามารถเป็นตัวดูดกลืนพลังงานได้ทั้งสิ้น

2.15.2 การกระจัดกระจาย (SCATTERING) เมื่อคลื่นเดินทางตกกระทบบนตัวกลางที่รวมกันเป็นกลุ่ม พลังงานส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกมา และบางส่วนเดินทางหักเหเข้าไปในตัวกลาง ส่วนหนึ่งของพลังงานที่เข้าไปในตัวกลางจะถูกดูดกลืนแปลงรูปเป็นความร้อน และมีอีกส่วนหนึ่งถูกตัวกลางคายออกมาอีกในรูปของการกระจายพลังงานคลื่น เนื่องจากคลื่นที่กระจายออกมานี้ไม่ค่อยเป็นระเบียบเราจึงเรียกว่า คลื่นกระจัดกระจาย การกระจัดกระจายของคลื่นนี้ บางครั้งก็นำมาใช้ประโยชน์ได้เช่น ในระบบการสื่อสารที่เรียกว่า TROPOSPHERIC SCATTER ซึ่งอาศัยการกระจัดกระจายของคลื่นจากกลุ่มอากาศที่หนาแน่นในชั้นบรรยากาศ TROPOSPHERE ซึ่งอยู่ห่างจากผิวโลกประมาณ 10 กิโลเมตร ในบางครั้งการกระจัดกระจายของคลื่นก็มีผลเสียเช่น การสื่อสารย่านความถี่ไมโครเวฟ เมื่อคลื่นตกกระทบเมฆฝนจะทำให้คลื่นเกิดการสูญเสียเป็นผลจากการกระจัดกระจาย และการหักเหทำให้คลื่นไม่สามารถเดินทางไปยังปลายทางได้หมด

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการของการสื่อสารระบบอูตร้าไวด์แบนด์

3.1 การวิเคราะห์สัญญาณอูตร้าไวด์แบนด์

ในการที่จะทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ทำการวัดได้นั้น จะต้องทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในครั้งนี โดยที่การวิเคราะห์ในการทดลองนี้จะเป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบอวกาศว่าง (Free Space) ซึ่งตัวแปรในการที่จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณย่อมต่างย่อมมีน้อย เนื่องจากการที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเข้ามาบดบัง

สำหรับรูปคลื่นของอูตร้าไวด์แบนด์มีลักษณะเป็นพัลส์ รูปคลื่นในช่วงเวลานั้นจะแสดงค่าโดยค่า v , และค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของสเปกตรัม V , ตามสมการที่ (1) และ (2)

$$v_i(t) = \frac{1}{f_b} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \text{Sinc}(2f_{\max}t) - f_{\min} \text{Sinc}(2f_{\min}t) \quad (1)$$

$$V_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v_i(t) e^{-j2\pi ft} dt$$
$$V_i(f) = \begin{cases} 1 & \|f| - f_c| \leq \frac{f_b}{2} \\ 2f_b & \\ 0 & \|f| - f_c| > \frac{f_b}{2} \end{cases} \quad (2)$$

t คือ ค่าเวลา (time)

f คือ ค่าความถี่ (frequency)

f_c คือ ความถี่กลาง (Center frequency)

f_b คือ สเปกตรัมของสัญญาณ (Spectral bandwidth)

$f_{\min} = (f_c - f_b)/2$ คือ ค่าความถี่ต่ำสุด (Minimum frequency)

$f_{\max} = (f_c + f_b)/2$ คือ ค่าความถี่สูงสุด (Maximum frequency)

ในการทดลองนี้เราได้ใช้ทฤษฎีของการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางในการวิเคราะห์โดยสามารถอธิบายถึงหลักการและเหตุผลได้ดังนี้

การลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือระยะทางระหว่างภาครับสัญญาณและภาคส่งสัญญาณ ส่วน n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป ตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน โดยในการวิเคราะห์การสูญเสียของกำลังงานใน UWB การทดลองนี้ได้พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งออกเป็น 3 จุดที่มุมที่ต่างกันและห่างกันออกไปจุดละ 1 เมตร ดังแสดงในรูปแบบการทดลอง โดยในการวิเคราะห์จะใช้สมการ [1] จาก $v_r(t)$ คือ สัญญาณที่ถูกส่งออกไป โดยที่จะแสดงในรูปของ โดเมนเวลา (Time Domain)

จากสมการที่ (1) เมื่อผ่านการอินทิเกรต [2] จะได้สมการที่ (2) ซึ่งจะเป็นการพิจารณา ด้านโดเมนความถี่ในด้านของการส่ง

เมื่อต้องการสัญญาณทางด้านรับจะได้เป็น สัญญาณทางด้านส่งคูณกับส่วนที่วัดได้ [2] ดังที่ จะเห็นในสมการที่ (3)

$$V_r(f) = V_t(f)H_r(f) \quad (3)$$

เมื่อต้องการพิจารณาสัญญาณทางด้านรับในรูปแบบของโดเมนเวลาจะแสดงในสมการที่ (4)

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4)$$

เมื่อต้องการพิจารณาการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางสามารถทำได้โดยการ พิจารณาที่ค่าสูงสุดของสัญญาณด้านส่งและด้านรับ [2] ดังจะเห็นได้จากสมการที่ (5)

$$PL(d)[dB] = 20 \text{Log} \left[\frac{\max |v_r(t)|}{\max |v_t(t)|} \right] \quad (5)$$

สมการที่(5) เป็นการหาค่าการลดทอน โดยที่เมื่อทางทฤษฎี ในการส่งสัญญาณ เมื่อระยะ ทางไกลขึ้นค่าของ V_r ก็น่าจะน้อยลงซึ่งในความเป็นจริงจะเป็นอย่างนั้นหรือไม่ต้องดูผลของการ ทดลอง

3.2 รูปแบบการส่งผ่านของฟรีส (Friis' Transmission Formular)

เป็นสมการที่ใช้หาฟังก์ชันการส่งผ่านความถี่ในอวกาศ (free space) โดยพิจารณาจากฟังก์ชันการส่งผ่าน H_{fms} ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ (6)

$$H_{fms}(f, d) = \frac{V_r(f)}{V_t(f, d)} = H_f(f, d) H_r(f) H_t(f) \quad (6)$$

V_r คือสัญญาณที่รับได้

V_t คือสัญญาณที่ใช้ส่ง

$$H_f(f, d) = \frac{c}{4\pi df} e^{-j2\pi d f / c} \quad (7)$$

H_f = ฟังก์ชันการส่งผ่านของอวกาศ (free space)

H_r = ฟังก์ชันการส่งผ่านของสายอากาศด้านรับ

H_t = ฟังก์ชันการส่งผ่านสายอากาศด้านส่ง

d = ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับ

ทางด้านรับรูปแบบสัญญาณ $V_r(t, d)$ ทางรับหาได้จากสมการ

$$V_r(t, d) = V_t(t) \otimes h_{fms}(t, d)$$

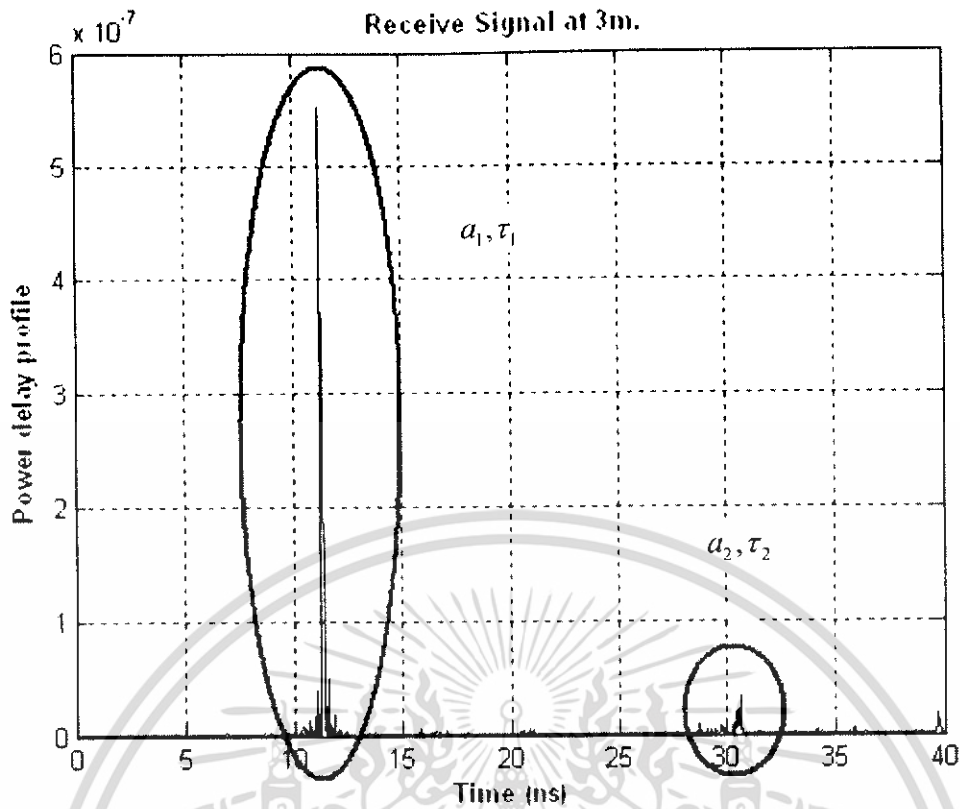
โดยที่ V_t คือรูปแบบสัญญาณด้านส่ง

\otimes คือคอนโวลูชัน

3.3 ดีเลย์สเปรด(Delay spread)

ที่สัญญาณลำดับที่ k เป็นค่าดีเลย์ และมีแอมพลิจูด a_k และขนาดกำลังงาน r_k ค่าอิมพัลส์ที่เข้ามาเป็นคุณลักษณะของฟังก์ชันของความหนาแน่นที่น่าจะเป็น ดีเลย์สเปรดจะมีความสอดคล้องกับมาตรฐานการเบี่ยงเบน เขียนอยู่ในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\sigma_{\gamma} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2}$$

$$\overline{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2}$$

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2}$$

เมื่อ

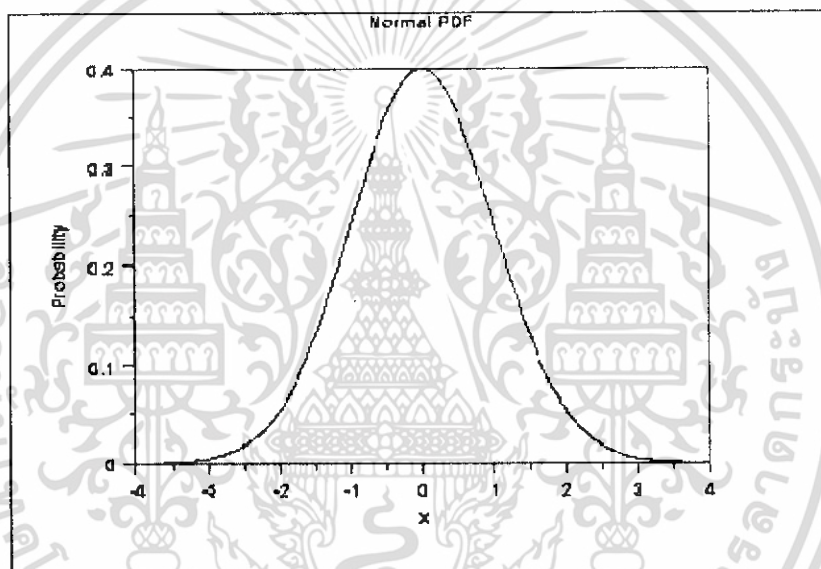
ค่า RMS คิเล็คสเปรดนั้นจะเป็นค่าที่ได้จากค่าเวลาที่ล่าช้าของสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นที่เป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของกำลังสะท้อนจากพื้น โดยลักษณะการเกิดจะเป็นการเกิดอยู่หลังสัญญาณจริงมาถึง ค่าคิเล็คจะบอกถึงประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)

เป็นการแสดงค่าความน่าจะเป็นในเชิงสถิติของการที่จะเกิดของสัญญาณ โดยที่ดูจากความหนาแน่นที่เกิด โดยที่จุดที่มีความหนาแน่นสูงจะกำหนดให้มีค่าความน่าจะเป็นสูง โดยที่ค่าสูงสุดจะไม่เกิน 1 สำหรับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสามารถหาได้จาก

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r < \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases}$$



รูปที่ 3.1 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในทางทฤษฎี

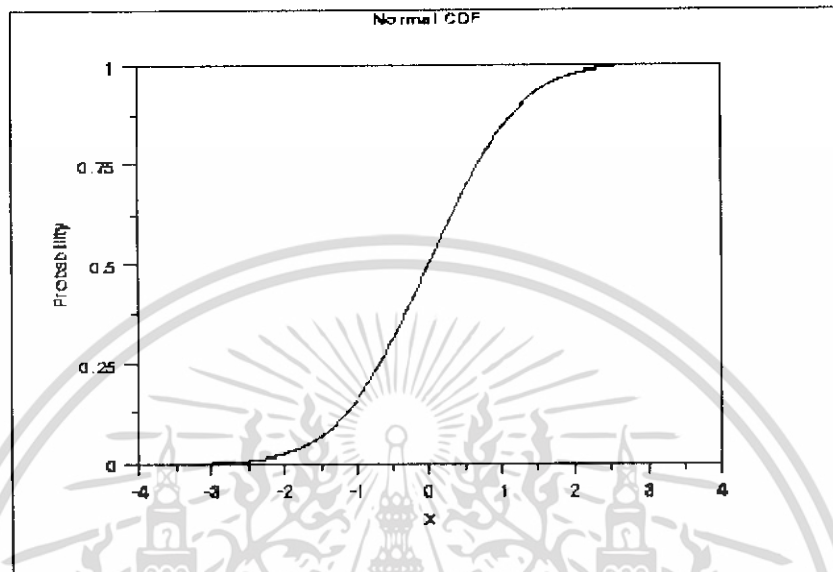
3.5 ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน (Cumulative Distribution Function)

ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันเป็นการแสดงการกระจายที่มารวมกัน โดยจะดูที่ความชันของเส้นกราฟซึ่งในทางทฤษฎีเส้นกราฟจะมีความลื่นไวย (Linear) แต่ในความเป็นจริงจะเป็นอย่างไรนั้นต้องดูจากผลการทดลองซึ่งค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันสามารถหาได้จาก

$$P(R) = \Pr(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั้นเป็นส่วนกลับกันซึ่งเมื่อทราบตัวใดตัวหนึ่งก็จะสามารถอีกตัวหนึ่งได้อย่างเช่นเมื่อเราทราบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเมื่อทำการอินทิกรัลสมการของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นก็จะได้ค่าของฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน



รูปที่ 3.2 แสดงฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันในทางทฤษฎี

ซึ่งจะใช้สมการเหล่านี้มาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณ สำหรับหลักการในการวิเคราะห์นั้นเมื่อทำการวัดสัญญาณ นำค่าสัญญาณที่ได้จากการทดลอง ไปหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งที่ดีที่สุด และเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นกับทฤษฎีเพื่อดูค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของปริณยานิพนธ์นี้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง

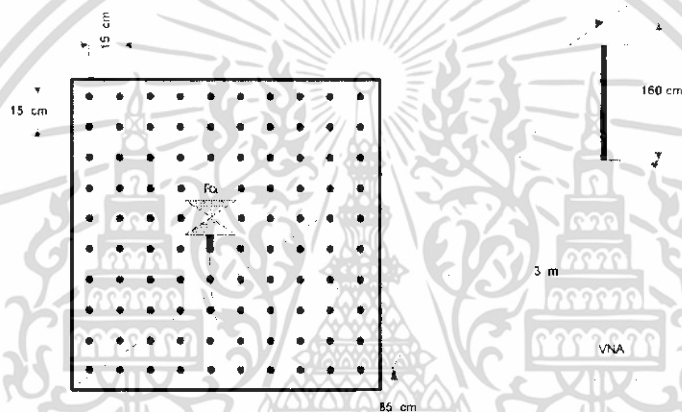
สำหรับรูปแบบการที่จะทำวัดสัญญาณ โดยเมื่อเราทำการศึกษาทฤษฎีเป็นที่เรียบร้อยแล้วต่อไปจะเป็นการทดลองเกี่ยวกับการหาตำแหน่ง (Position detection) ที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณเพื่อที่จะสามารถนำผลการทดลองมาใช้ในทางทฤษฎี เพราะต้องการที่จะพิจารณาถึงตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณว่าแต่ละจุดที่ทำการทดลองนั้น มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบหาตำแหน่งในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง อย่างในระบบ WPAN ที่เราให้ความสนใจในการศึกษาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยหากมีการนำเอาอุปกรณ์ต่างๆ ไปใช้งานจริงๆ ในระบบนั้น ควรที่จะจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ให้เหมาะสมในการรับสัญญาณ เพื่อที่ดีเทคสัญญาณได้ดีที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุผลที่ให้ความสนใจในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ โดยที่ต้องทำการสร้างแบบจำลองการทดลอง ในการออกแบบจำลองนี้จะเป็นการสร้าง โดยดูจากลักษณะการใช้ของอุปกรณ์ที่ใช้งานทั่วไปในระบบ WPAN เพื่อที่นำไปเป็นข้อมูลอ้างอิงในการที่จะนำไปใช้ สำหรับการออกแบบนั้นตำแหน่งที่ต่ำสุดของการพิจารณาในครั้งนี้จะเป็นการดูจากที่ทำงานต่างๆ ไป โดยที่ความสูงของสายอากาศจะใกล้เคียงกับเครื่องใช้สำนักงาน อย่างเช่น โต๊ะหรือระดับการวางของอุปกรณ์เชื่อมต่อ เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ใกล้เคียงที่สุด

4.1 แบบจำลองการทดลอง (Model)

สำหรับแบบจำลองการทดลองนี้จะเป็นการออกแบบ โดยที่พิจารณาถึงตำแหน่ง 100 จุด ที่จะใช้ติดตั้งสายอากาศเพื่อทำการทดลอง โดยแบบจำลองการทดลองนั้นจะไม่สร้างจากวัสดุที่เป็นโลหะหรือวัสดุที่มีขนาดใหญ่เนื่องด้วยวัสดุที่เป็นโลหะนั้นจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการสะท้อน ซึ่งจะมีผลต่อสัญญาณอาจทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ด้วยเหตุนี้แบบจำลองการทดลองจึงควรทำจากวัสดุที่ไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและใหญ่เกินไป อย่างเช่น ไม้ พลาสติก เป็นต้น สำหรับจำลองที่ใช้ในการทดลองนี้ทำมาจากวัสดุที่เป็นพลาสติกและไม้จากเหตุผลดังกล่าว

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

Vector network analyzer	1	ชุด
สายอากาศ แบบ ไบ โคนิกคอล	2	ตัว
แบบจำลองการทดลอง	1	ชุด
สายโคแอกเซียล	1	ชุด
คอนเนคเตอร์	1	ชุด
คอมพิวเตอร์	1	ชุด



รูปที่ 1 แบบจำลองการทดลอง

จากรูปเป็นแบบจำลองการทดลอง โดยจุดแต่ละจุดจะเป็นที่ตั้งของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. สร้างแบบจำลองการทดลองทางด้านรับสัญญาณ โดยที่ระยะห่างระหว่างจุดแต่ละจุดกำหนดให้ห่างกัน 15 ซม. จุดที่อยู่ต่ำสุดกำหนดให้สูงจากพื้นขึ้นมา 85 ซม. และวางสายอากาศทางด้านส่งกำหนดให้มีความสูงจากพื้นขึ้นมา 160 ซม. ซึ่งจะเป็นจุดกึ่งกลางของแบบจำลองทดลอง
2. เริ่มทำการเชื่อมต่อแบบจำลองการทดลอง สำหรับการทดลองนี้จะทำการวัด 3 ระยะด้วยกัน เพื่อนำค่าผลการทดลองที่ได้รับในแต่ละระยะ แต่ละตำแหน่งไปเปรียบเทียบวิเคราะห์
3. การวัดครั้งแรกทำการวัดที่ระยะ 3 เมตร โดยเลื่อนสายอากาศด้านรับ จากจุดล่างสุดด้านซ้ายมือ ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดที่ 1 ย้ายระดับขึ้นด้านบนจนครบ 10 จุด แล้วมาเริ่มทำการวัดจากจุดด้านล่างแถวถัดไปจนครบโดยทำอย่างนี้จนครบ 100 จุด
4. ทำการวัด และบันทึกผล โดยการวัดและบันทึกผลนั้นเราจะบันทึกผลจุดละ 3 ค่า
5. ทำการทดลองวัดสัญญาณที่ระยะ 5 เมตร และระยะ 7 เมตร โดยขั้นตอนการทดลองทำเหมือนกับ ที่ระยะ 3 เมตร
6. นำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
7. ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่วัดได้ โดยเปรียบเทียบค่าที่ตำแหน่งต่างๆ และระยะห่าง ตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สำหรับการทดลองนี้เราจะทำการวิเคราะห์ในหลายๆ ส่วนประกอบกันเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้ ซึ่งผลที่ได้จะจากการประมวลแล้วนั้นจะสามารถทำให้ทราบถึงคุณลักษณะต่างๆ ของการทดลองนี้ โดยของการทดลองที่ต้องการทราบจะเป็นดังต่อไปนี้

5.1 พาสลอส (path loss)

ซึ่งจะทำให้เราทราบความสูญเสียของการส่งสัญญาณที่ได้จากการส่งสัญญาณในการทดลองนี้ซึ่งผลของพาสลอสจะทำให้ทราบว่าค่าการสูญเสียมีมากหรือน้อยอย่างไร ซึ่งค่าของพาสลอสจะแปรผันกับค่าของค่าที่รับได้ นั่นคือถ้าหากพาสลอสมีค่ามากค่าที่รับได้ก็จะมีค่าน้อย ทำให้เราไม่จำเป็นที่จะต้องหาค่าที่รับได้ สำหรับผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าของพาสลอสทุกตำแหน่งที่ช่วงระยะ 3 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าพาสลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาสลอส (dB)
1	59.655	16	60.405
2	60.663	17	60.461
3	60.315	18	62.093
4	60.626	19	60.273
5	60.296	20	60.517
6	60.363	21	60.551
7	59.918	22	60.701
8	60.287	23	61.035
9	60.39	24	60.564
10	60.636	25	62.437
11	60.35	26	60.513
12	60.189	27	60.507
13	60.719	28	60.603
14	60.79	29	60.9
15	60.564	30	60.455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

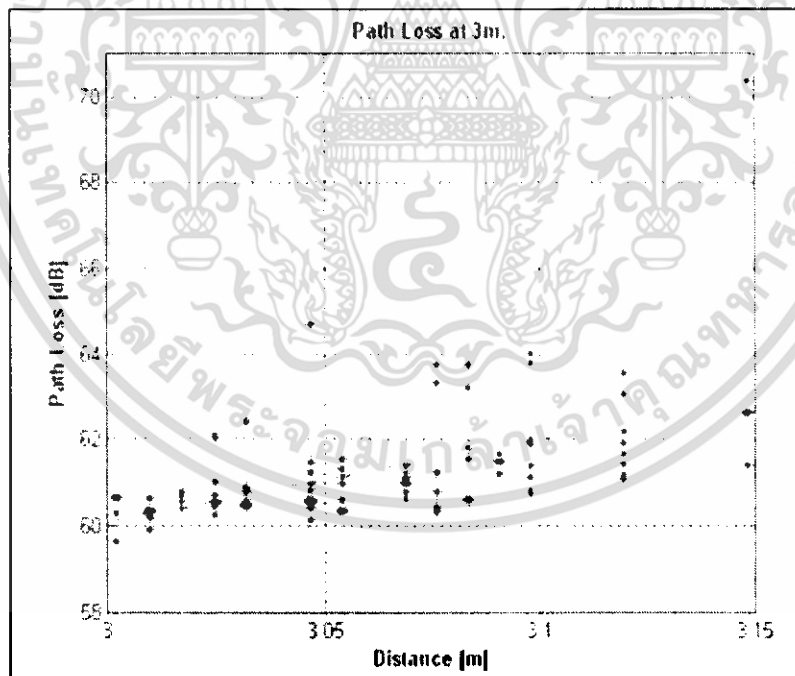
ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าพารอลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพารอลอส (dB)
31	60.797	57	61.035
32	60.926	58	60.634
33	61.465	59	61.123
34	61.269	60	61.386
35	60.82	61	63.763
36	64.71	62	63.33
37	60.153	63	60.353
38	60.406	64	60.458
39	60.537	65	60.793
40	60.563	66	60.781
41	60.997	67	61.258
42	60.825	68	61.251
43	60.656	69	63.748
44	60.6	70	63.227
45	61.323	71	60.612
46	61.145	72	60.619
47	60.354	73	60.626
48	60.6	74	60.654
49	60.973	75	61.81
50	60.357	76	61.567
51	61.569	77	61.471
52	61.149	78	61.649
53	61.002	79	61.526
54	61.207	80	61.205
55	61.201	81	64.04
56	60.791	82	63.809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
83	61.415	92	61.656
84	60.831	93	61.924
85	61.12	94	61.104
86	60.738	95	62.202
87	61.89	96	61.425
88	62.022	97	70.384
89	63.558	98	62.662
90	63.057	99	62.622
91	61.163	100	61.396



รูปที่ 5.1 ผลการเกิด path loss ที่ช่วงระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกราฟรูปที่ 5.1 เป็นการอธิบายการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ ระยะ 3 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าของการสูญเสียอยู่ที่ประมาณ 60-62 dB ตำแหน่งของพาราลอสจะถูกนำมาเสนอในรูปแบบของกราฟเพื่อที่จะแสดงให้เห็นความชัดเจนยิ่งขึ้น หากต้องการทราบค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดสามารถดูได้จากตารางของพาราลอส ตำแหน่งใดมีค่าการสูญเสียน้อยสุดคือตำแหน่งที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.2 ค่าของพาราลอสทุกตำแหน่งในช่วงระยะ 5 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
1	64.952	22	65.414
2	64.806	23	64.657
3	65.15	24	65.183
4	65.608	25	65.559
5	65.223	26	65.382
6	65.16	27	65.442
7	64.946	28	65.341
8	64.266	29	65.262
9	65.494	30	64.953
10	66.011	31	65.083
11	65.005	32	64.816
12	65.206	33	65.05
13	64.75	34	64.917
14	64.967	35	64.981
15	65.014	36	64.954
16	65.369	37	64.739
17	65.118	38	64.631
18	65.224	39	65.033
19	64.762	40	65.702
20	64.437	41	64.988
21	65.346	42	64.928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

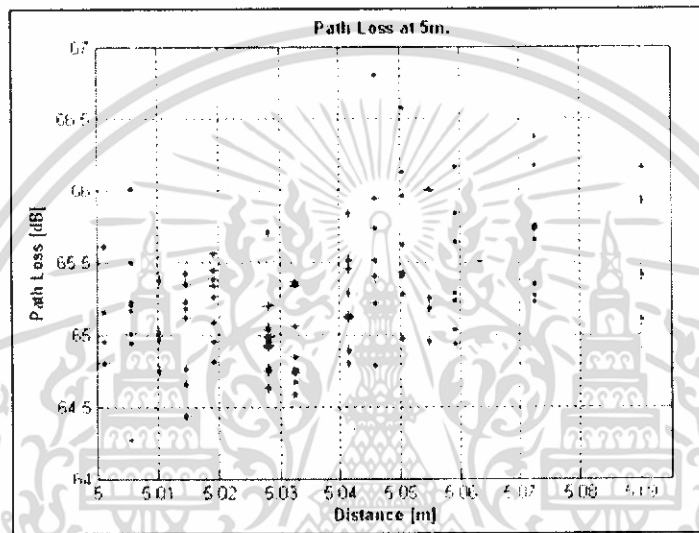
ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
43	65.195	69	65.964
44	64.77	70	66.576
45	65.342	71	65.427
46	64.85	72	65.273
47	64.759	73	65.62
48	64.674	74	64.968
49	64.584	75	66.123
50	65.365	76	65.399
51	64.735	77	66.005
52	65.056	78	65.251
53	65.117	79	65.176
54	65.839	80	64.952
55	64.889	81	66.159
56	64.806	82	65.838
57	65.289	83	65.237
58	65.45	84	65.235
59	65.515	85	65.637
60	65.127	86	65.03
61	65.939	87	65.281
62	66.802	88	64.933
63	64.784	89	66.17
64	64.789	90	66.376
65	65.214	91	65.749
66	65.515	92	65.654
67	65.515	93	65.726
68	65.735	94	65.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
95	65.268	98	65.406
96	65.226	99	65.406
97	66.154	100	65.1



รูปที่ 5.2 ผลการเกิด path loss ที่ช่วงระยะ 5 เมตร

เป็นการอธิบายการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ ระยะ 5 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าของการสูญเสียอยู่ที่ประมาณ 64-66 dB ซึ่งลักษณะของสัญญาณค่อนข้างจะกระจายเมื่อเทียบกับระยะ 3 เมตร อาจจะเนื่องมาจากระยะทางที่ไกลกว่า

ตารางที่ 5.3 ค่าของพาราลอสทุกตำแหน่งที่ช่วงระยะ 7 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
1	67.881	5	67.883
2	68.065	6	68.244
3	68.412	7	68.821
4	69.001	8	68.439

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

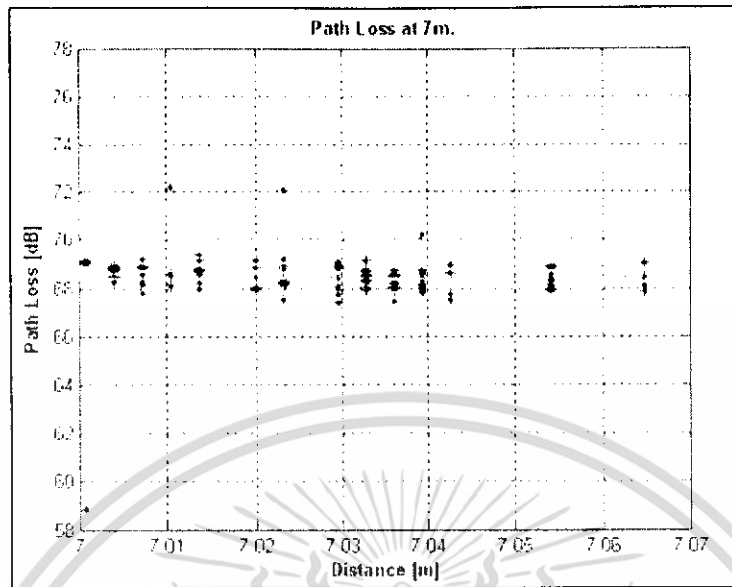
ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
9	67.961	35	68.293
10	68.908	36	67.908
11	68.563	37	68.72
12	68.123	38	68.746
13	68.611	39	68.486
14	67.493	40	68.286
15	68.994	41	68.431
16	67.751	42	68.556
17	68.259	43	68.556
18	70.171	44	68.701
19	68.249	45	69.064
20	67.779	46	68.082
21	67.943	47	68.435
22	68.757	48	67.993
23	68.138	49	68.896
24	68.564	50	67.39
25	68.003	51	67.759
26	67.44	52	68.793
27	68.484	53	68.882
28	68.745	54	72.061
29	68.151	55	68.145
30	67.99	56	67.483
31	68.196	57	68.795
32	68.568	58	68.252
33	68.019	59	69.219
34	69.142	60	68.176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)	ตำแหน่ง	ค่าพาราลอส (dB)
61	68.827	81	69.211
62	68.865	82	68.869
63	68.426	83	68.141
64	68.867	84	68.245
65	67.921	85	68.134
66	69.119	86	68.568
67	68.031	87	68.88
68	68.833	88	67.78
69	68.712	89	68.826
70	69.164	90	68.829
71	68.783	91	68.802
72	68.545	92	68.769
73	68.231	93	68.486
74	67.982	94	68.928
75	69.402	95	68.283
76	68.644	96	68.727
77	68.553	97	69.169
78	72.152	98	69.087
79	68.06	99	69.026
80	68.116	100	58.863

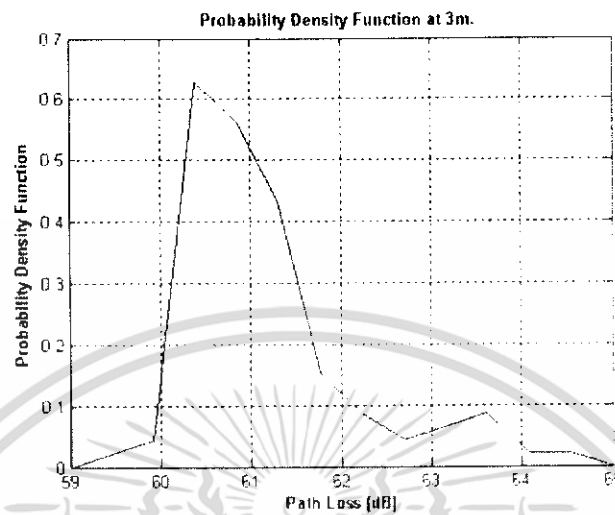
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ผลการเกิด path loss ที่ช่วงระยะ 7 เมตร

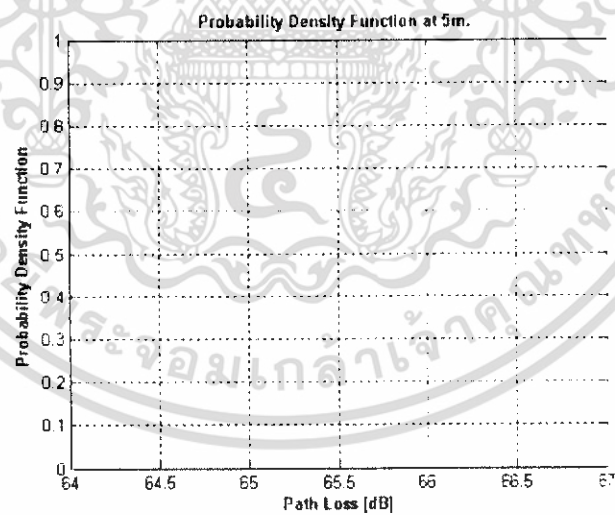
เป็นการอธิบายการสูญเสียเชิงวิถีของสัญญาณที่ ระยะ 7 เมตร จากรูปจะเห็นว่าค่าของการสูญเสียอยู่ที่ประมาณ 68 dB ซึ่งเฉลี่ยแล้วมีค่ามากที่สุดจากการวัด โดยที่เมื่อทำการเปรียบเทียบกราฟทั้ง 3 ของการเกิด พาราลอสจะเห็นว่าระยะทางข้อมมีผลต่อการส่งสัญญาณ อันเนื่องมาจากการสูญเสียเชิงวิถีเป็นการสูญเสียที่ขึ้นอยู่กับระยะทางระยะทางที่มากข้อมทำให้เกิดการสูญเสียมาก กำลังงานที่สายอากาศด้านรับๆ ได้ก็จะลดลงตามระยะทาง โดยเมื่อดูจากกราฟทั้ง 3 จะเห็นว่ากราฟที่ระยะ 3 เมตรมีค่าของพาราลอสน้อยที่สุด เราจึงไปพิจารณาจากตารางที่ 5.1 เพื่อที่สามารถหาค่าแท้จริงที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้

5.2 ผลของการทดลองของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชัน ฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกัน



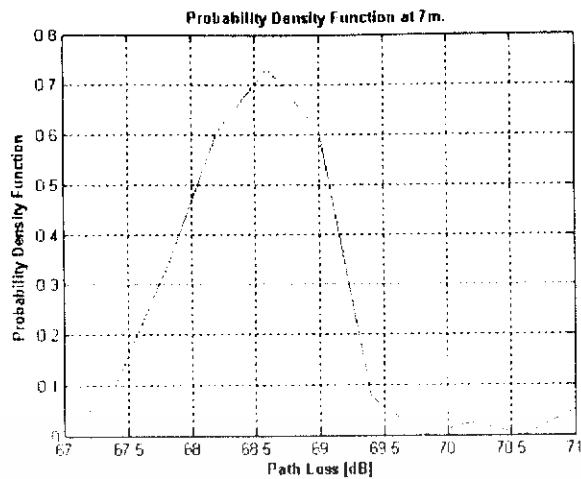
รูปที่ 5.4 ความน่าจะเป็นที่จะเกิด Path loss ที่ช่วงระยะ 3 เมตร

รูปที่ 5.14 RMS คีเลย์สเปรตที่ช่วงระยะ 5 เมตร



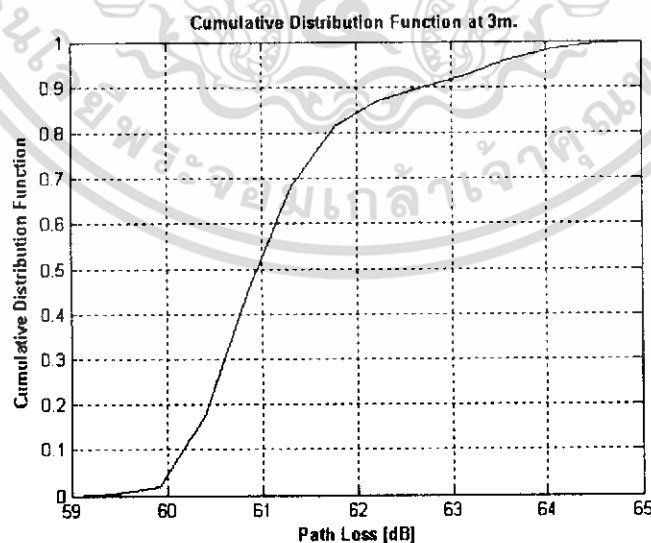
รูปที่ 5.5 ความน่าจะเป็นที่จะเกิด Path loss ที่ช่วงระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



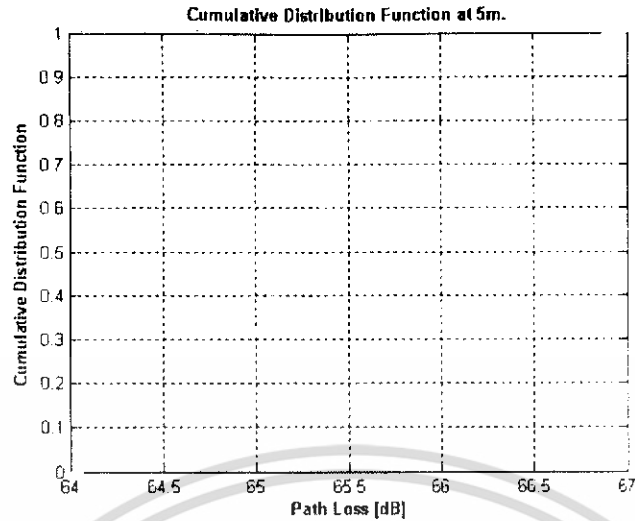
รูปที่ 5.6 ความน่าจะเป็นที่จะเกิด Path loss ที่ช่วงระยะ 7 เมตร

สรุปเกี่ยวกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น สำหรับค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น คือ การที่นำเสนอในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการเกิด โดยที่ดูการกระจายของสัญญาณแต่ละจุด เมื่อดูจากรูปก็จะเห็นว่าการเกิดของของการวัดที่ระยะ 3 เมตร จะมีการสัญญาณ พาสลอสอยู่ที่ประมาณ 60-64 dB จุดที่มีสัญญาณสูงสุด คือ จุดที่มีสัญญาณที่รับได้มากที่สุด ซึ่งที่ระยะ 5 เมตรและระยะ 7 เมตรก็จะเป็นในลักษณะเดียวกันจากการได้ทำการศึกษาผลของการทดลองนี้เป็นดังรูปข้างต้น ซึ่งผลที่ได้จะแตกต่างกับแนวทฤษฎีที่มีความโค้งที่ไม่ได้รูป มีการบิดเบี้ยวซึ่งอาจเกิดจากการผลกระทบของสภาพแวดล้อมของการวัด อย่างเช่นมีเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ เป็นต้น

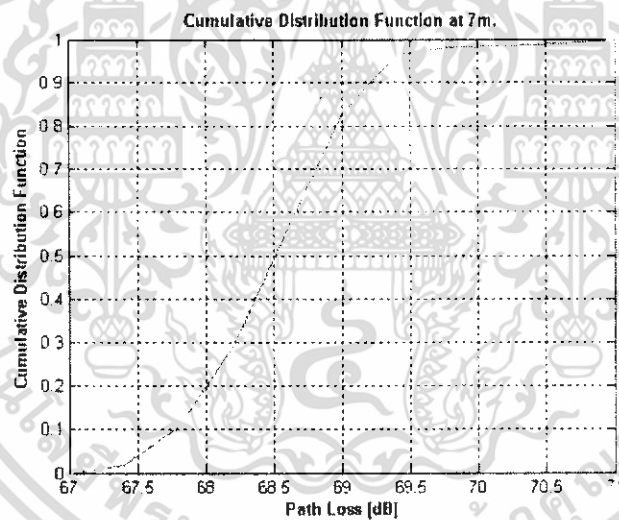


รูปที่ 5.7 ความหนาแน่นสะสมของ Path loss ที่ช่วงระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ความหนาแน่นสะสมของ Path loss ที่ช่วงระยะ 5 เมตร



รูปที่ 5.9 ความหนาแน่นสะสมของ Path loss ที่ช่วงระยะ 7 เมตร

ส่วนการรวมกันของการกระจาย(CDF) คือการแสดงในเชิงสถิติเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นในลักษณะการรวมตัวกันของจุดต่างซึ่งจะเป็นเส้นชั้น ลักษณะการเกิดอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (PDF) แต่จะดูที่ความชันของเส้นกราฟจากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่ากราฟที่ระยะ 5 เมตรจะมีความชันที่มากที่สุดตามหลักทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 เกนของสัญญาณ (Transmission Gain)

ตารางที่ 5.4 ค่าเกนของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 3 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าเกนของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกนของสัญญาณ (dB)
1	-59.655	24	-60.564
2	-60.663	25	-62.437
3	-60.315	26	-60.513
4	-60.626	27	-60.507
5	-60.296	28	-60.603
6	-60.363	29	-60.9
7	-59.918	30	-60.455
8	-60.287	31	-60.797
9	-60.39	32	-60.926
10	-60.636	33	-61.465
11	-60.35	34	-61.269
12	-60.189	35	-60.82
13	-60.719	36	-64.71
14	-60.79	37	-60.153
15	-60.564	38	-60.406
16	-60.405	39	-60.537
17	-60.461	40	-60.563
18	-62.093	41	-60.997
19	-60.273	42	-60.825
20	-60.517	43	-60.656
21	-60.551	44	-60.6
22	-60.701	45	-61.323
23	-61.035	46	-61.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

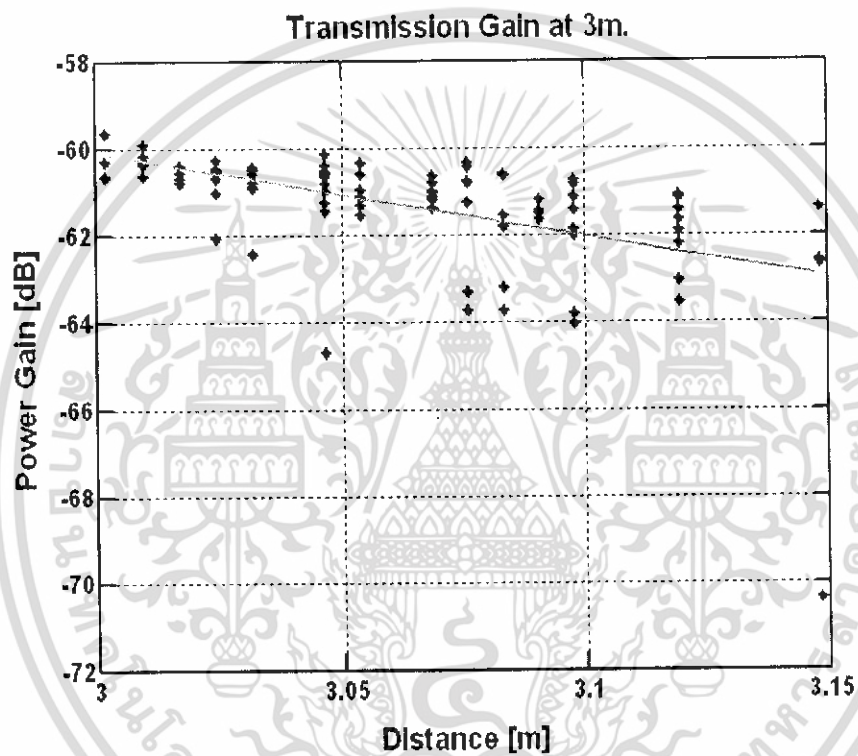
ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
47	-60.354	72	-60.619
48	-60.6	73	-60.626
49	-60.973	74	-60.654
50	-60.357	75	-61.81
51	-61.569	76	-61.567
52	-61.149	77	-61.471
53	-61.002	78	-61.649
54	-61.207	79	-61.526
55	-61.201	80	-61.205
56	-60.791	81	-64.04
57	-61.035	82	-63.809
58	-60.634	83	-61.415
59	-61.123	84	-60.831
60	-61.386	85	-61.12
61	-63.763	86	-60.738
62	-63.33	87	-61.89
63	-60.353	88	-62.022
64	-60.458	89	-63.558
65	-60.793	90	-63.057
66	-60.781	91	-61.163
67	-61.258	92	-61.656
68	-61.251	93	-61.924
69	-63.748	94	-61.104
70	-63.227	95	-62.202
71	-60.612	96	-61.425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
97	-70.384	99	-62.622
98	-62.662	100	-61.396



รูปที่ 5.10 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 5 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
1	-64.952	25	-65.559
2	-64.806	26	-65.382
3	-65.15	27	-65.442
4	-65.608	28	-65.341
5	-65.223	29	-65.262
6	-65.16	30	-64.953
7	-64.946	31	-65.083
8	-64.266	32	-64.816
9	-65.494	33	-65.05
10	-66.011	34	-64.917
11	-65.005	35	-64.981
12	-65.206	36	-64.954
13	-64.75	37	-64.739
14	-64.967	38	-64.631
15	-65.014	39	-65.033
16	-61.369	40	-65.702
17	-65.118	41	-64.988
18	-65.224	42	-64.928
19	-64.762	43	-65.195
20	-64.437	44	-64.77
21	-65.346	45	-65.342
22	-65.414	46	-64.85
23	-64.657	47	-64.759
24	-65.183	48	-64.674

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

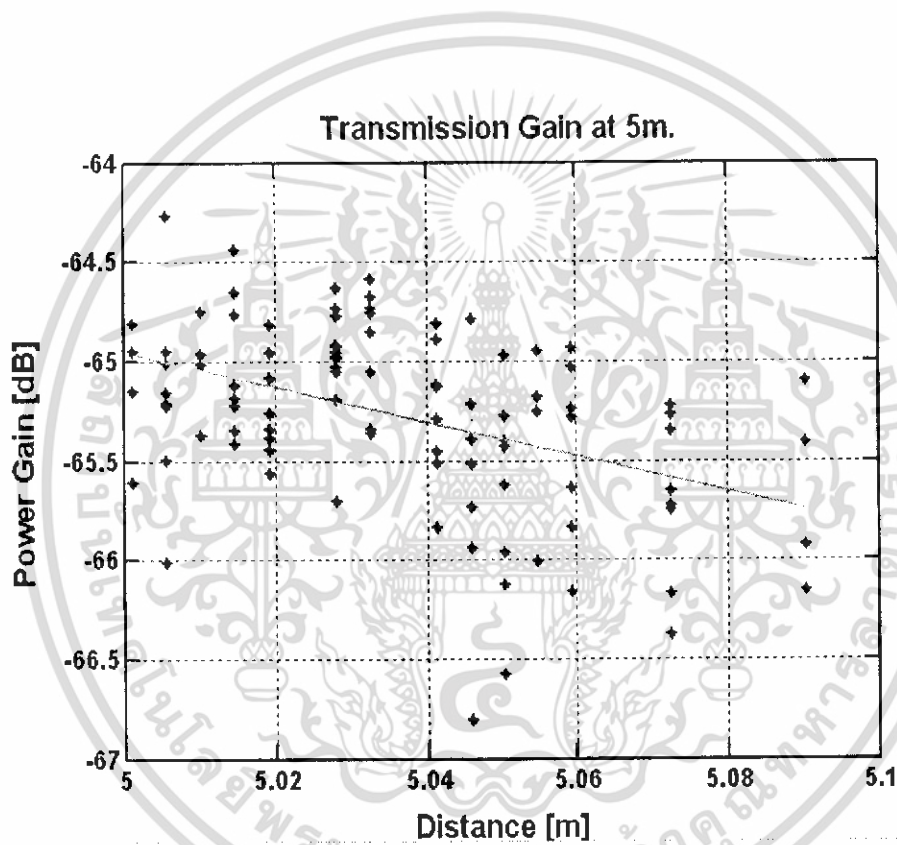
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
49	-64.584	72	-65.273
50	-65.365	73	-65.62
51	-64.735	74	-64.968
52	-65.056	75	-66.123
53	-65.117	76	-65.399
54	-65.839	77	-66.005
55	-64.889	78	-65.251
56	-64.806	79	-65.176
57	-65.289	80	-64.952
58	-65.45	81	-66.159
59	-65.515	82	-65.838
60	-65.127	83	-65.237
61	-65.939	84	-65.235
62	-66.802	85	-65.637
63	-64.784	86	-65.03
64	-64.789	87	-65.281
65	-65.214	88	-64.933
66	-65.515	89	-66.17
67	-65.396	90	-66.376
68	-65.735	91	-65.749
69	-65.964	92	-65.654
70	-66.576	93	-65.726
71	-65.427	94	-65.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
95	-65.268	98	-65.406
96	-65.226	99	-65.923
97	-66.154	100	-65.1



รูปที่ 5.11 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 5 เมตร

ตารางที่ 5.6 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 7 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
1	-67.881	3	-68.412
2	-68.065	4	-69.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

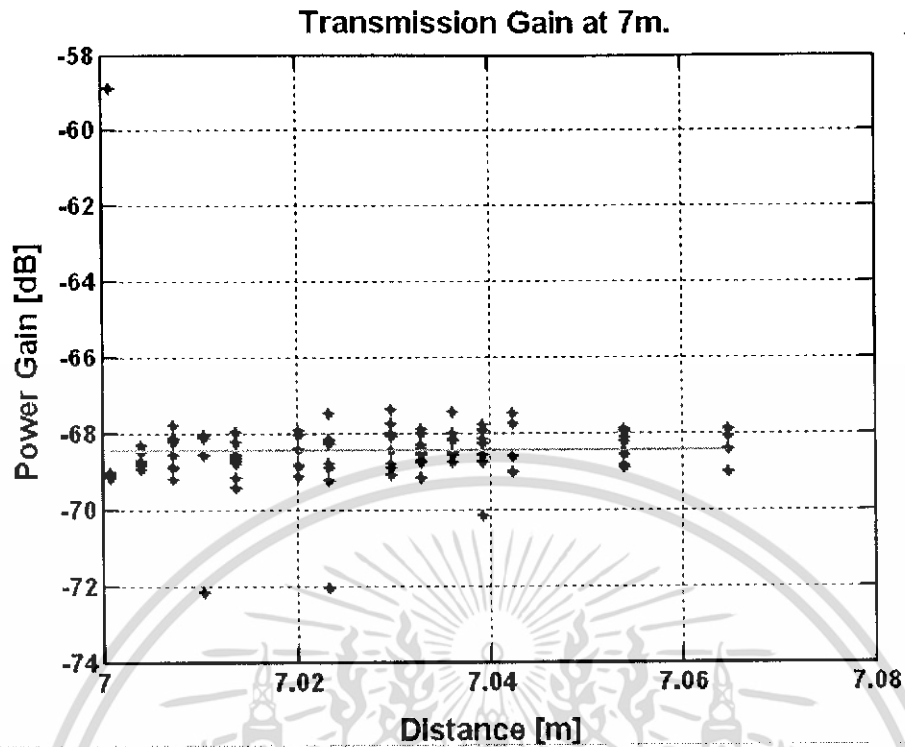
ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
5	-67.883	29	-68.151
6	-68.244	30	-67.99
7	-68.821	31	-68.196
8	-68.439	32	-68.568
9	-67.961	33	-68.019
10	-68.908	34	-69.142
11	-68.563	35	-68.293
12	-68.123	36	-67.908
13	-68.611	37	-68.72
14	-67.493	38	-68.746
15	-68.994	39	-68.486
16	-67.751	40	-68.286
17	-68.259	41	-68.431
18	-70.171	42	-68.556
19	-68.249	43	-68.531
20	-67.779	44	-68.701
21	-67.943	45	-69.064
22	-68.757	46	-68.082
23	-68.138	47	-68.435
24	-68.564	48	-67.993
25	-68.003	49	-68.896
26	-67.44	50	-67.39
27	-68.484	51	-67.759
28	-68.745	52	-68.793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)	ตำแหน่ง	ค่าเกณฑ์ของสัญญาณ (dB)
53	-68.882	77	-68.553
54	-72.061	78	-72.152
55	-68.145	79	-68.06
56	-67.483	80	-68.116
57	-68.795	81	-69.211
58	-68.252	82	-68.869
59	-69.219	83	-68.141
60	-68.178	84	-68.245
61	-68.176	85	-68.134
62	-68.865	86	-68.568
63	-68.426	87	-68.88
64	-68.867	88	-67.78
65	-67.921	89	-68.826
66	-69.119	90	-68.829
67	-68.031	91	-68.802
68	-68.833	92	-68.769
69	-68.712	93	-68.486
70	-69.164	94	-68.928
71	-68.783	95	-68.283
72	-68.545	96	-68.727
73	-68.231	97	-69.169
74	-67.982	98	-69.087
75	-69.402	99	-69.026
76	-68.644	100	-58.863

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ที่ช่วงระยะ 7 เมตร

สรุปเกี่ยวกับค่าเกณฑ์ของสัญญาณที่รับได้ สำหรับค่าเกณฑ์นั้นเป็นค่าที่แปรผันกลับกับค่าของพาราลอส เมื่อค่าเกณฑ์มีค่าลดลงแสดงว่ามีค่าพาราลอสเพิ่มขึ้นและเมื่อดูจากกราฟจะเห็นว่าค่าเกณฑ์ที่ดีที่สุดอยู่ที่ระยะ 3 เมตร ซึ่งค่าเกณฑ์นั้นสามารถบอกถึงตำแหน่งที่สามารถรับสัญญาณได้ดีที่สุดด้วย โดยดูจากค่าเกณฑ์ที่มีค่ามากที่สุด และค่าเกณฑ์ของระบบอุลตราไวด์แบนด์จะมีค่าสูงสุดที่ -43.1 dB

5.4 ผลทดลองของ อาร์เอ็มเอสดีเลย์สเปรด (RMS Delay Spread)

เป็นการดูถึงดีเลย์ของตัวรูปคลื่นสัญญาณ โดยที่เป็นการเทียบกับเวลา ในการวิเคราะห์นั้น เพื่อต้องการทราบว่าจะระยะทางกับเวลาเป็นอย่างไรเพื่อที่จะทราบถึงคุณลักษณะของคลื่นอุลตราไวด์แบนด์

ตารางที่ 5.7 RMS ดิเลย์สเปรตที่ช่วงระยะ 3 เมตร

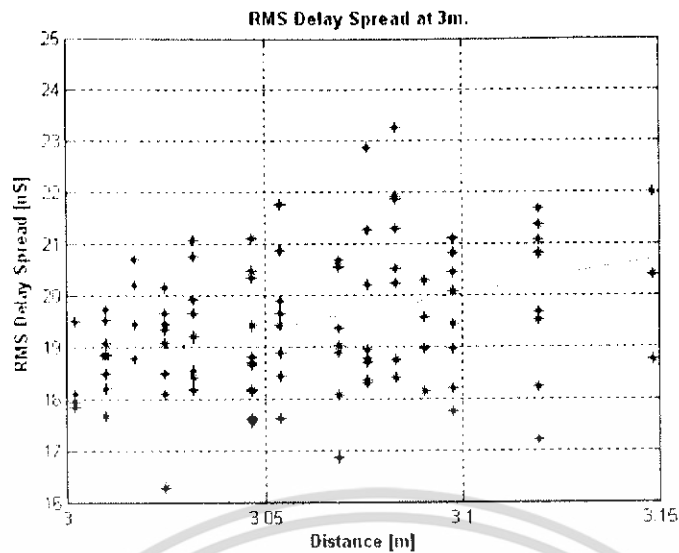
ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
1	18.079	26	18.544
2	17.933	27	20.738
3	19.478	28	18.398
4	17.822	29	19.643
5	19.068	30	19.187
6	18.191	31	19.914
7	17.663	24	19.645
8	18.837	32	18.172
9	18.493	25	21.063
10	19.526	33	18.8
11	18.845	34	18.157
12	19.712	35	17.579
13	20.686	36	21.091
14	20.203	37	17.611
15	19.439	38	18.651
16	18.782	39	17.536
17	20.142	40	20.326
18	19.438	41	18.17
19	16.268	42	20.453
20	18.098	43	19.399
21	18.486	44	18.691
22	19.053	45	19.655
23	19.34	46	17.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
51	18.878	76	21.859
52	19.403	77	18.135
53	19.364	78	20.267
54	19.026	79	18.964
55	16.854	80	19.571
56	18.058	81	20.426
57	18.875	82	21.091
58	20.547	83	18.96
59	19.352	84	18.195
60	20.68	85	17.76
61	20.185	86	19.445
62	18.768	87	20.067
63	18.358	88	20.799
64	18.936	89	20.814
65	18.698	90	19.664
66	18.316	91	17.193
67	21.237	92	18.232
68	22.851	93	19.51
69	20.212	94	21.666
70	21.283	95	21.35
71	23.249	96	21.078
72	18.412	97	25.246
73	20.501	98	18.747
74	18.743	99	20.393
75	21.909	100	21.988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 RMS ดีเลย์สเปรดที่ช่วงระยะ 3 เมตร

เวลาเฉลี่ยของการส่งสัญญาณที่ช่วงระยะ 3 เมตร อยู่ในช่วงประมาณ 18.6-20.8 nS

ตารางที่ 5.7 RMS ดีเลย์สเปรดที่ช่วงระยะ 5 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณ (nS)
1	24.319	11	26.168
2	25.431	12	24.568
3	25.618	13	26.363
4	25.259	14	26.414
5	26.175	15	25.178
6	23.791	16	24.069
7	24.491	17	23.753
8	23.934	18	24.293
9	24.919	19	24.03
10	23.806	20	22.918

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

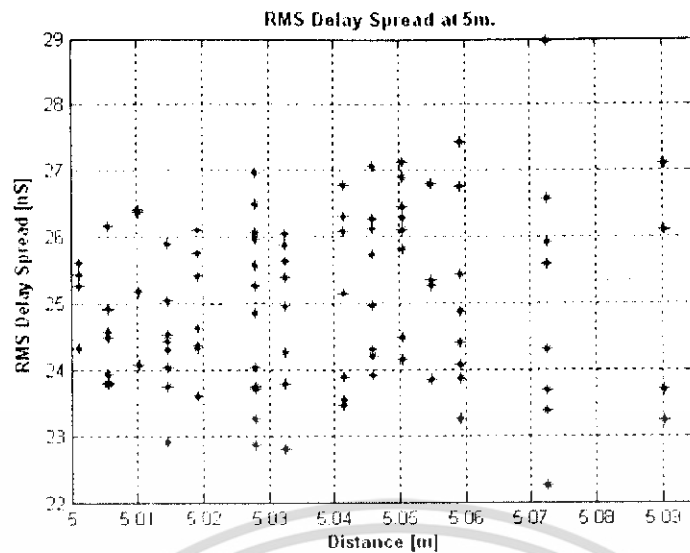
ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
21	25.038	46	22.801
22	24.523	47	24.953
23	24.421	48	23.791
24	25.898	49	25.889
25	26.098	50	25.64
26	23.614	51	24.269
27	24.355	52	26.044
28	26.096	53	25.142
29	25.399	54	23.899
30	25.746	55	26.304
31	24.627	56	23.546
32	24.322	57	26.772
33	26.959	58	26.306
34	23.254	59	26.083
35	23.713	60	23.455
36	22.88	61	25.74
37	25.268	62	27.075
38	25.565	63	24.296
39	26.494	64	23.917
40	25.968	65	26.276
41	23.751	66	24.194
42	24.044	67	26.128
43	26.064	68	24.956
44	24.852	69	26.449
45	25.381	70	24.492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
71	26.903	86	26.761
72	25.814	87	23.262
73	26.095	88	23.865
74	26.284	89	28.965
75	27.123	90	23.376
76	24.168	91	25.929
77	25.268	92	22.25
78	23.845	93	26.565
79	26.799	94	23.686
80	25.347	95	24.298
81	27.427	96	25.591
82	25.424	97	23.71
83	24.399	98	26.098
84	24.068	99	27.103
85	24.88	100	23.229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 RMS คีเลย์สแปรดที่ช่วงระยะ 5 เมตร

เวลาเฉลี่ยของการส่งสัญญาณที่ระยะ 5 เมตร อยู่ในช่วงประมาณ 24.8-25.4 nS

ตารางที่ 5.8 RMS คีเลย์สแปรดที่ช่วงระยะ 7 เมตร

ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของสัญญาณ (nS)
1	29.118	10	29.629
2	26.088	11	29.166
3	26.921	12	27.233
4	27.674	13	29.68
5	26.317	14	28.146
6	29.964	15	29.966
7	28.284	16	27.727
8	27.964	17	28.515
9	27.76	18	28.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

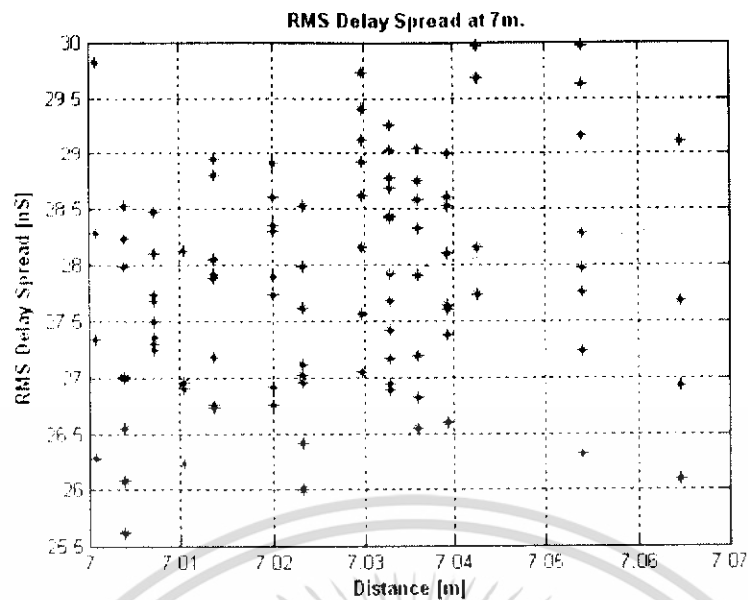
ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
19	28.992	44	27.158
20	28.094	45	29.401
21	27.639	46	28.158
22	26.596	47	28.612
23	27.381	48	27.05
24	27.593	49	28.919
25	28.579	50	29.127
26	28.326	51	27.559
27	27.19	52	29.732
28	28.749	53	26.95
29	29.048	54	26.412
30	26.541	55	28.519
31	27.896	56	27.014
32	26.822	57	27.109
33	26.947	58	27.983
34	28.681	59	27.609
35	29.254	60	25.993
36	29.039	61	26.755
37	28.411	62	28.291
38	27.678	63	27.729
39	27.91	64	27.894
40	28.775	65	26.914
41	26.884	66	28.351
42	27.408	67	28.902
43	28.426	68	28.601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)	ตำแหน่ง	ค่าอาร์เอ็มเอสของ สัญญาณ (nS)
69	28.041	85	27.295
70	26.729	86	27.355
71	28.947	87	27.492
72	27.911	88	27.725
73	27.174	89	27.986
74	26.757	90	26.552
75	28.794	91	26.076
76	27.874	92	28.226
77	26.23	93	28.524
78	26.9	94	27.004
79	28.131	95	26.996
80	26.953	96	25.612
81	27.68	97	29.828
82	27.241	98	27.333
83	28.467	99	28.284
84	28.467	100	26.281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 RMS ดีเลย์สเปิร์ดที่ช่วงระยะ 7 เมตร

เวลาเฉลี่ยของการส่งสัญญาณที่ระยะ 3 เมตร อยู่ในช่วงประมาณ 27.5-28.4 nS

สรุปเกี่ยวกับ RMS ดีเลย์สเปิร์ด

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการวัดโดยที่เทียบจากระยะทาง อย่างเช่นที่ระยะ 3 เมตร กับระยะ 7 เมตร ก็เห็นว่าในการที่ระยะทางไกลขึ้น ดีเลย์สเปิร์ดก็จะเพิ่มมากขึ้น และช่วงเวลาการเกิดดีเลย์นั้นก็ยังมีการที่เพิ่มขึ้นตามระยะทาง ที่ไกลขึ้นนั้น การที่เกิดดีเลย์นั้นจะทำให้มีความล่าช้าในการส่งสัญญาณ

5.5 สรุปการทดลองบทที่ 5

สำหรับการทดลองเป็นการหาดำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณ ซึ่งผลการทดลองต่างๆ จะทำให้เราได้ทราบถึงสิ่งที่ต้องการหาได้ โดยดูจากค่าเหล่านั้นอย่างเช่น ค่าพาธลอส และค่าแกนของสัญญาณที่รับได้จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่ดีที่สุดในการรับสัญญาณเพราะเมื่อทราบถึงการสูญเสียก็จะคาดคะเนได้ว่าค่าที่รับได้จะเป็นอย่างไรแม้ไม่ได้ทำการวัดค่าที่รับได้ก็ตาม เช่นเดียวกันกับค่าแกนสัญญาณที่รับได้เมื่อทราบค่าแกนก็จะคาดคะเนค่าการสูญเสียได้เช่นกัน ในส่วนฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันแสดงการกระจายที่รวมกันเป็นกราฟที่แสดงในเชิงสถิติ เนื่องจากในการที่จะเขียนกราฟมาทำการเปรียบเทียบกันนั้นจะต้องเขียนในปริมาณมากจึงมาเขียนรวมอยู่ในกราฟๆ เดียวเพื่อที่จะดูลักษณะการเกิดโดยรวม ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทฤษฎี โดยเมื่อดูจากผลการทดลองแล้วจะเห็นว่ามีความแตกต่างกับทฤษฎีแต่มีแนวโน้มการเกิดคล้ายกัน ความแตกต่างนั้นอาจจะเกิดจากสภาพแวดล้อมหรือความผิดพลาดจากการวัด จึงทำให้เกิดขึ้น สำหรับค่าอาร์เอ็มเอสดีเลขสี่แปรคนั้นเป็นการดูค่าเฉลี่ยของสัญญาณเทียบกับเวลา การที่ระยะทางที่ไกลเวลาในการเกิดคลื่นนั้นจะมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อดูจากทุกๆ ข้อมูลแล้วจะเห็นว่าที่ระยะ 3 เมตรจะมีค่าพาราลอสน้อยสุด ค่าเกินของสัญญาณที่รับได้มากที่สุดและค่าอาร์เอ็มเอสดีเลขสี่แปรคน้อยสุด ดังนั้นจุดที่ดีที่สุดจึงน่าจะอยู่ที่ระยะ 3 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปการทดลองโครงการ

6.1 สรุปการทำโครงการ

การทดลองในโครงการนี้ เป็นการทดลองเกี่ยวกับคลื่นวิทยุอัลตราไวด์แบนด์ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบ WPAN ที่กำลังมีการใช้อยู่ในขณะนี้ โครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบได้ โดยที่จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งของการติดตั้งสัญญาณที่ดีที่สุด ซึ่งต่อไปการที่จะวางตำแหน่งของอุปกรณ์ในระบบ WPAN นั้นสามารถนำข้อมูลในปฏิยานิพนธ์ชุดนี้ในการอ้างอิงและเป็นข้อมูลให้แก่ผู้ที่ศึกษาในด้านนี้

6.2 ปัญหาที่พบจากการดำเนินงาน

1. เทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์นั้นเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่มากยังไม่มีอุปกรณ์ที่ผลิตมาใช้อย่างเป็นทางการ เทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในแนวทางการวิจัย ซึ่งข้อมูลนั้นยังมีจำกัด การวิเคราะห์ที่ได้ นั้นยังไม่สามารถเทียบกับแนวทางจากข้อมูลที่มีอยู่ก่อนได้ แต่สามารถเทียบเคียงกับแนวทฤษฎีได้
2. จากการที่ทำการศึกษาโครงการนี้พบว่ายังมีหลายส่วนๆ ที่ยากต่อความเข้าใจ ในการที่จะทำการวิเคราะห์จึงค่อนข้างจะทำได้ช้า และการที่พัฒนาต่อต้องศึกษาให้มากขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้งานจริง
3. ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทฤษฎีของเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์และโปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาในการศึกษานาน
4. ยังขาดความชำนาญในการใช้อุปกรณ์เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ใหม่ที่ยังไม่มีการใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน

6.3 แนวทางการแก้ไข

1. ค้นคว้าข้อมูลเพื่อศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีอัลตราไวด์แบนด์ให้มากยิ่งขึ้นและสอบถามสิ่งที่ไม่เข้าใจจากอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจมากยิ่งขึ้น
2. ดำเนินโครงการให้เร็วขึ้นเพื่อให้ทันต่อเวลาการดำเนินงาน
3. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการที่นำมาใช้ในโครงการนี้และสอบถามจากผู้ที่มีความเข้าใจเพื่อที่จะสามารถทำได้ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น

6.4 แนวทางการพัฒนาโครงการ

1. พัฒนาโดยการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อที่ได้ความสมบูรณ์ในการที่ดำเนินโครงการนี้
2. นำข้อมูลจากการทดลองนี้ ไปประกอบกับข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. THEODORE S. RAPPAPORT, Wireless Communication :Principle and Practice, Second Edition, Prentice Hall 2002
2. Kazimierz Siwiak, Debra McKeown, Ultra-Wideband radio technology, John Wiley & Sons, Ltd 2004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



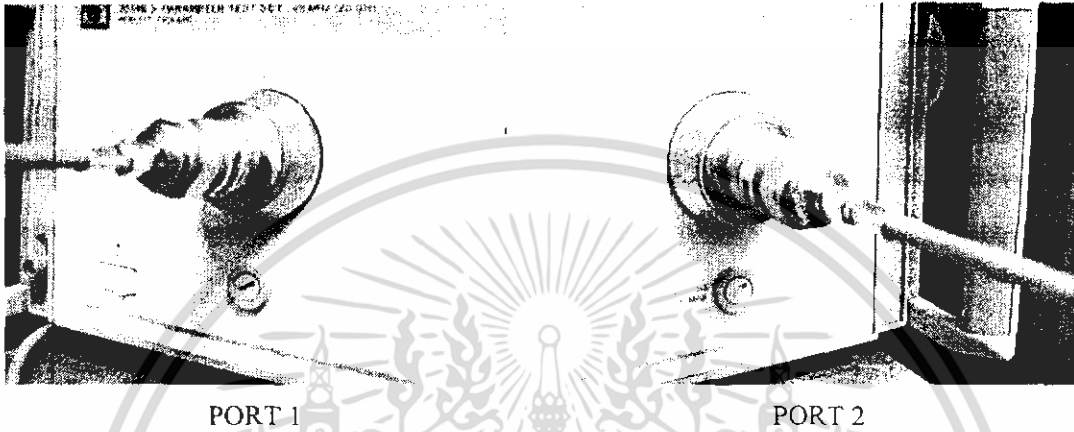
ภาคผนวก ก.
ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการ CAL ก่อนทำการวัดโดยใช้เครื่อง Vector Network Analyzer

1. ทำการต่อ Connector ที่หัวต่อ PORT 1 และที่หัวต่อ PORT 2 โดยใช้สายแบบ Coaxial Cable Semirigid



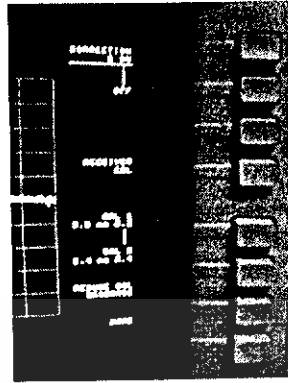
2. กด MANU ในโหมด STIMULUS



- กด START ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF
- กด STOP ตามด้วย กดเลขตามความถี่ที่เราต้องการใช้ และกด ENTRY OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด CAL ที่ MENU



- เลือกกดที่ CAL 1 (3.5 mm, B.3)
- เลือกกดที่ FULL (2-PORT)
- เลือกกดที่ REFLECT'N

4. ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำชุด CAL มาใช้ในการ CAL ทำดังนี้ ที่หัวต่อ PORT 1 (S11)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD
- เลือกกดที่ BROADBAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD

ที่หัวต่อ PORT 2 (S22)

- นำชุด CAL แบบ OPEN มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด OPEN
- นำชุด CAL แบบ SHORT มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด SHORT
- นำชุด CAL แบบ BROADBAND LOAD มาใส่ที่สาย Coaxial Cable (ด้านที่ไม่ได้ต่อเข้ากับเครื่อง VNA) จากนั้นกด LOAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกกดที่ BROUND BAND
- เลือกกดที่ DONE LOAD
- เลือกกดที่ REFLECT'N DONE

5. ทำการต่อหัวต่อ ISORATOR เข้ากับสาย Coaxial Cable ทั้งสองด้าน จากนั้นจึงทำการกด TRANSMISSION และกดเลื่อนลงมาตามลำดับคือ

- กด FWD.TRANS.THRU
- กด FWD.MATCH.THRU
- กด REV.TRANS.THRU
- กด REV.MATCH.THRU

6. กด TRANS DONE

7. กด ISOLATION

- เลือกกดที่ OMIT ISOLATION

8. กด ISOLATION DONE

9. กด SAVE (2-PORT CAL)

10. ทำการเลือกตำแหน่ง CAL SET ที่มีตั้งแต่ 1-8 ให้เลือกเก็บค่าที่ได้ทำการ CAL ไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของสายอากาศแบบ 2 ทรงกรวย

สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวย (Biconical Antennas)

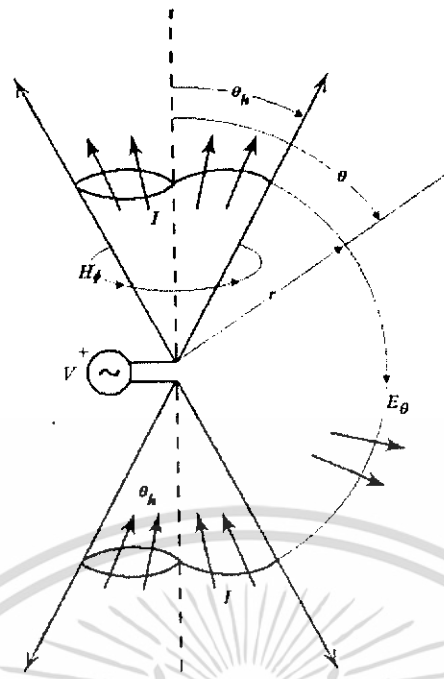
เราสามารถที่จะทำการเพิ่มขนาดของความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth) ของสายอากาศไดโพล แบบง่ายๆ (Simple Dipole Antenna) โดยการเพิ่มขนาดความหนาของสาย (Wire) ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการที่จะขยายความกว้างของช่องสัญญาณนี้สามารถที่จะทำได้อีกวิธี โดยการส่งผ่านตัวนำกระจายคลื่นที่มีรูปร่างแบบทรงกรวย โดยเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสายส่งที่มีค่าคงที่ (Fixed Wire Diameter) ถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางแบบช้าๆ และให้มุมของผิวทรงกรวยมีค่าคงที่ ในบทนี้ สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวย ในอุดมคติจะถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก ตามด้วยตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ สายอากาศโครงสร้างแบบ 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) และสายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone)

1. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Biconical Antenna)

ถ้าแบ่งครึ่งตัวนำของสายอากาศเป็น 2 ส่วน ที่มีพื้นที่ผิวหน้าตัดของทรงกรวยของตัวนำจากด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง (End-to-End) ของแผ่นตัวนำรูปทรงกรวย 2 อัน มีพื้นที่ที่ไม่จำกัด (Infinite Conical Conducting) แต่มีช่องว่างจำกัด (Finite Gap) ที่จุดจ่าย (Feed Point) ดังแสดงในภาพที่ ข.1

เพราะการที่มีโครงสร้างที่ไม่จำกัดนี้เอง ทำให้สามารถที่จะทำการวิเคราะห์ให้เสมือนกับเป็นสายส่ง (Transmission line) ด้วยแรงดันในค่าของเวลาที่เปลี่ยนแปลง (Time-Varying Voltage) ที่อยู่ข้ามช่องว่าง และมีกระแสไหลกระจายออกจากช่องว่างไปทั่วผิวของตัวนำ ซึ่งกระแสนี้จะทำการสร้างพื้นสนามแม่เหล็กโดยรอบ $H\phi$ ถ้าสมมติว่ารูปแบบสายส่ง TEM ทุกสนาม (Filed) จะทำมุมฉากกับทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลง (Propagation) สนามไฟฟ้า จะทำมุมกับพื้นผิวของสนามแม่เหล็กในทิศทาง θ

เมื่อเงื่อนไขที่เป็นไปได้บนส่วนยอดของรูปทรงกรวยเป็นบวก และ ส่วนท้ายของรูปทรงกรวย เป็นค่าลบ เส้นสนามไฟฟ้าจะขยายจากส่วนบนสู่ส่วนล่างของรูปทรงกรวย ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ ข.1

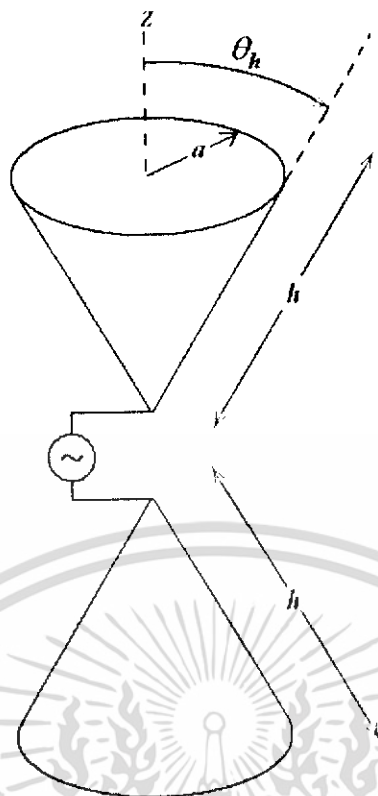


รูป ข.1 สายอากาศกรวยแบบไม่จำกัด แสดงส่วนประกอบของพื้นผิว และกระแส (I)

ถ้ารูปทรงกรวยอันหนึ่งถูกกระจายไปทั่วทุกทิศทางจากแผ่นพื้นสมบูรณ์แบบ (Perfect Ground Plane) และทรงกรวยอีกอันหนึ่งที่อยู่เหนือพื้นนั้นมีค่าแบบไม่จำกัด ก็จะได้รูปแบบที่เป็น ขั้วเดี่ยว (Monopole) นี้เมื่อมี อินพุทอิมพีแดนซ์แบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ที่มีรูปทรงกรวยที่ไม่จำกัดเพียงครั้งเดียว

2. สายอากาศแบบโครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna)

ตัวอย่างของสายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวย สามารถที่จะทำได้โดยการสร้าง จุดสิ้นสุดให้กับทรงกรวยทั้ง 2 ของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) ซึ่งก็คือ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ ข.2 ด้านในของรูปทรงของรัศมี h รอบสายอากาศ โดยมี คลื่น TEM อยู่ด้วยกันกับ Higher-Order mode สร้างขึ้นที่ปลายของทรงกรวย ซึ่ง Higher-Order mode นี้เป็นตัวกระจายหลักให้กับ สายอากาศ Reactance สาเหตุการสะท้อน (Cause Reflection) ที่ปลายของทรงกรวยที่ทำให้เกิดคลื่น แนวตั้ง (Standing wave) ที่นำไปสู่ อินพุทอิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อนขึ้น (Complex Input Impedance)



รูป ข.2 สายอากาศกรวยแบบจำกัด

ส่วนที่มีปฏิกิริยาตอบสนอง (Reactive Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์สามารถที่จะมีค่าจากน้อยที่สุดไปจนถึงความกว้างของช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Progressively Wider Bandwidth) โดยการเพิ่มค่าของมุม θ_h ในรูปที่ ข.2 ณ. เวลาเดียวกันส่วนแท้จริง (Real Part) ของอินพุตอิมพีแดนซ์จะกลายเป็นว่ามีการรับรู้ถึงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยลง (หรือการเปลี่ยน h ในรูปที่ ข.2 สำหรับรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) ที่สายอากาศอิมพีแดนซ์ถูกบันทึกค่าลงกราฟเทียบกับความสูงของขั้วเดียว (Monopole) Lh ข้อมูลที่ชัดเจนเหล่านี้ถูกแสดงให้เห็นว่า การที่จะสามารถทำให้ได้อัตราส่วนที่ 2 : 1 ของอิมพีแดนซ์ของความกว้างของช่องสัญญาณ (Impedance Bandwidth) มีความจำเป็นสำหรับส่วนหนึ่งของนิยามของสายอากาศแบบกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) นี่เป็นตัวอย่างแรกที่สามารถแสดงให้เห็นการขึ้นกับมุมมองของสายอากาศที่ทำมุมกับสภาพพื้นผิวบริเวณนั้นๆว่ามีรายละเอียดอย่างไรมากกว่าความยาวของสายอากาศเอง สายอากาศแบบความถี่อิสระ (Frequency-Independent Antenna) จะนำมาพิจารณาภายหลังในบทนี้ การใช้ปัจจัยให้ได้ประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ โดย ปัจจัยอื่นที่เราจะทำการสังเกตจากหลายรูปแบบของสายอากาศแบบการกระจายสัญญาณ (Broadband Antenna) และ สายอากาศแบบความถี่อิสระ (Frequency-Independent Antenna) คือ ความสำคัญของขนาดอย่างน้อยที่สุดที่ $\lambda/4$ ให้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาอย่างง่าย เริ่มต้นเมื่อ ความสูงของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) มีค่าประมาณ $\lambda/4$ และขยายออกไปเป็น $\lambda/2$

รูปแบบของรูปทรงกรวยแบบขั้วเดียว (Conical Monopole) หรือ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical) ที่มีมุมของทรงกรวยมีขนาดเล็ก จะเหมือนกับ สายอากาศขั้วเดียวแบบดั้งเดิม (Ordinary Monopole) หรือ ไดโพล (Dipole) ที่มีขนาดของความยาวเท่ากัน

รูปแบบธรรมดาที่สุดของ สายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite biconical antenna) คือ สายอากาศร่วมแบบ โบว์ไทด์ (Common "bow-tie" Antenna)

6.3.3 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna)

ถ้าทรงกรวยข้างหนึ่งของสายอากาศแบบ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบจำกัด (Finite Biconical Antenna) ถูกแทนที่ด้วยตัวนำแบนรูปทรงเป็นแผ่น (Disk-Shaped Ground Plane) โครงสร้างก็จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบ แผ่นกับทรงกรวย (Disk-Cone) หรือเรียกว่า สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) จากรูปที่ 6-19 สายอากาศแบบแผ่นกรวย (Discone Antenna) นี้ ถูกค้นพบโดย Kandoian [16] ในปี ค.ศ. 1945 ภายหลังจากการศึกษาการออกแบบการทดลอง [17, 18] หลายปี มันใช้สำหรับ Vertical Polarization (แบบเดียวกับ Vertical dipole) และคล้ายกับรูปแบบการครอบคลุมกลมพื้นที่แบบ azimuth (คือ รูปแบบ Omnidirectional) รูปแบบแผ่นกรวยนี้ช่วยให้ความพึงพอใจในการใช้งานบนช่วงความถี่กว้าง (Wide frequency range) คือ Octave ทั่วไป (Several Octave) ขณะที่พยายามที่จะรักษารูปแบบที่ยอมรับได้และ พื้นที่บริเวณของอิมพีแดนซ์ (Impedance Property)

รูปแบบแผ่นกรวย จะมีตัวเก็บประจุภายนอก (Outer Conductor) ของสายส่ง Coaxial ที่ถูกเชื่อมต่อกับทรงกรวยด้านหนึ่ง และ ตัวเก็บประจุภายใน (Inner Conductor) ที่สัมผัสกับแผ่น (Ground Plane) ทั้งทรงกรวยและแผ่นนี้จะสามารถที่จะเป็นโลหะแข็ง (Solid Metal) หรือ Radial Wire โดยอุดมคติ รูปแบบระหว่าง Ground Plane และ ทรงกรวย เป็นของ โครงสร้าง 2 ทรงกรวยแบบไม่จำกัด (Infinite Bicone) รูปแบบ Omnidirectional นี้จะเหมาะสมกับการประยุกต์การกระจายสัญญาณ (Broadcast Application)